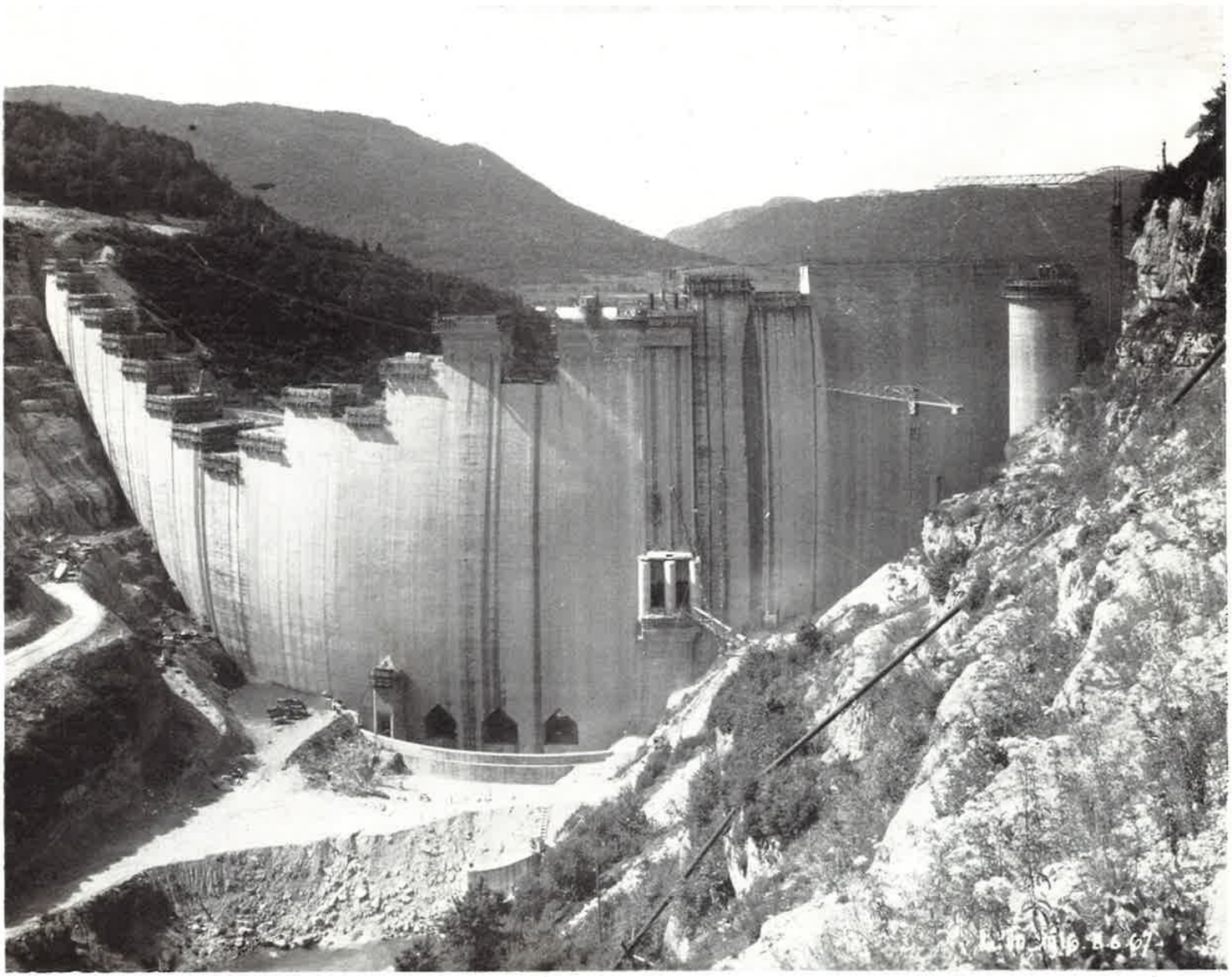
E.D.F. - RÉGION D'ÉQUIPEMENT HYDRAULIQUE ALPES-NORD

Ejirod
Monique
GIROD

l'aménagement hydro-électrique de la chute de VOUGLANS



l'aménagement hydro-électrique de la chute de VOUGLANS

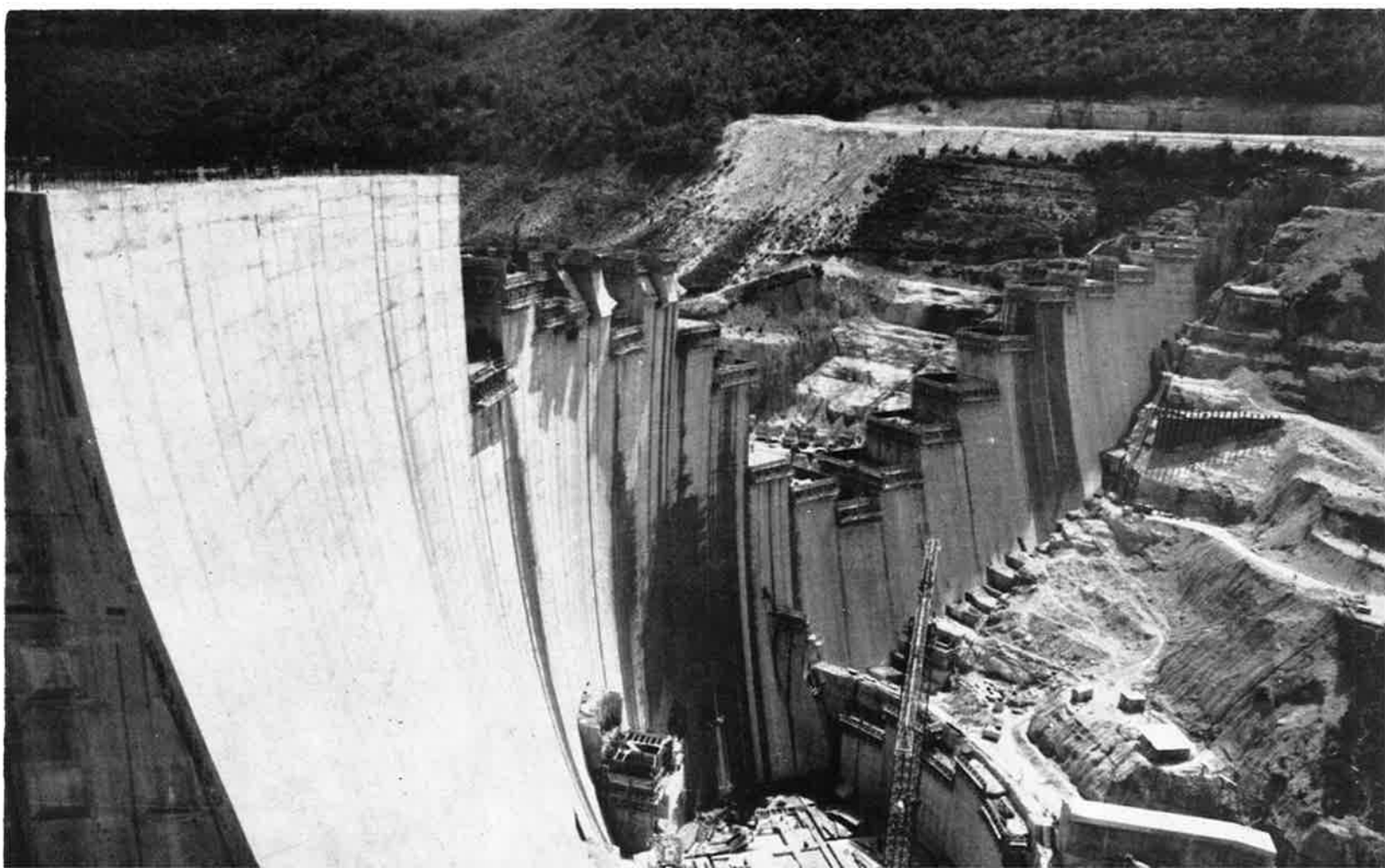
II - Construction du barrage et de l'usine

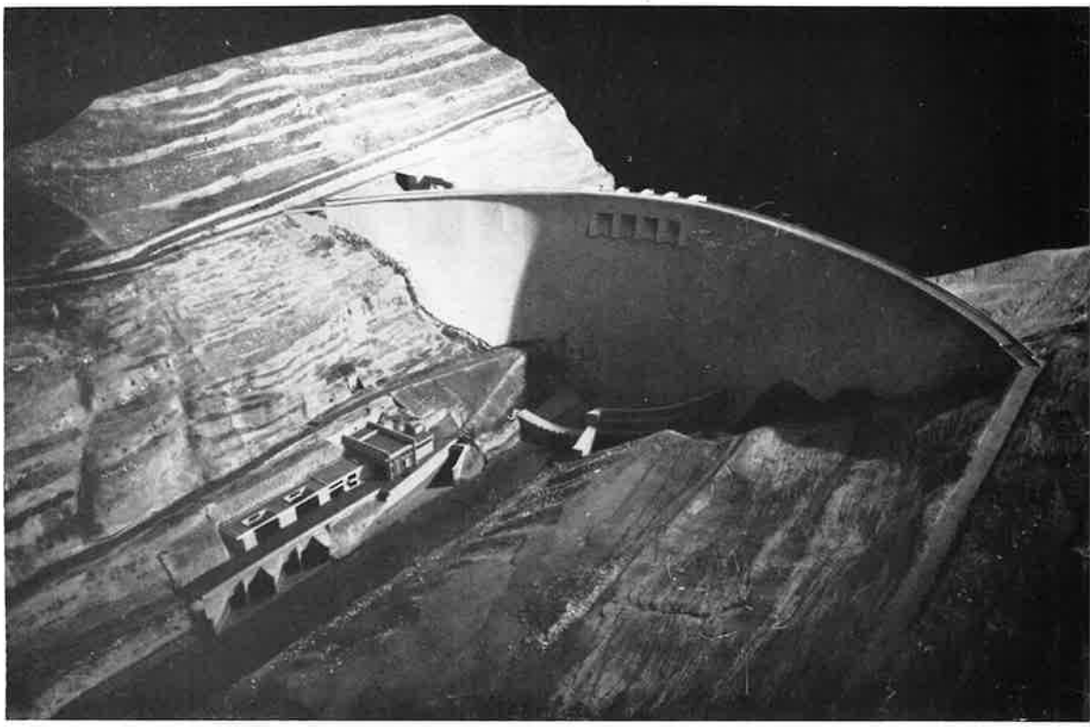
DES les premiers jours du prochain mois de décembre, commenceront, au cœur du Jura, les opérations de mise en eau de l'Aménagement hydro-électrique de Vouglans, sur le cours supérieur de la rivière d'Ain. Formée dans une gorge de 200 m de profondeur, pouvant atteindre une largeur de 800 m, derrière un barrage, du type « voûte », de 100 m de hauteur au-dessus du niveau actuel de la rivière, la retenue constituera, entre le confluent de la Bienne, principal affluent de l'Ain, et Pont-de-Poitte, soit sur une longueur de 35 km, un réservoir de six cent cinq millions de mètres cubes, qui en feront, après Serre-Ponçon, le second lac artificiel de France. Le plan d'eau, calé à la cote de retenue normale de (429 N.G.F.), n'aura, en effet, pas moins de 1 600 ha, ce qui correspond aux deux tiers de la superficie du lac d'Annecy.

Nous avons déjà présenté à nos lecteurs l'Aménagement de Vouglans, réalisé par la Région Hydraulique « Alpes-Nord » d'E.D.F., à l'époque où s'achevaient les travaux de terrassement (1). L'étude que nous leur proposons présentement sera donc plus particulièrement consacrée aux phases de bétonnage du barrage, de la prise d'eau, de l'usine et du canal de fuite, aux problèmes posés par l'étanchéité de la retenue et au rétablissement des communications.

(1) Voir Rhône-Alpes-Méditerrannée, N° 9 (juillet 1963).

Le barrage de Vouglans vu de la rive droite, par l'aval. (Photo R.A.M.)





Maquette des ouvrages équipant la chute de Vouglans. A l'aval du barrage et en rive droite, l'usine. A rapprocher du schéma général publié à la page suivante.

(Photo R.A.M.)

L'AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE DE VOUGLANS

IL est, cependant, nécessaire de rappeler ici le rôle de l'aménagement de Vouglans dans la régularisation du régime de l'Ain, en vue de la production d'énergie électrique de pointe et d'une meilleure exploitation du débit de la rivière par les ouvrages équipant les chutes de l'aval, de remettre en mémoire ses principales caractéristiques et de résumer les méthodes mises en œuvre pour la réalisation de la première phase des travaux.

LE ROLE DE L'AMÉNAGEMENT DE VOUGLANS

COMPARABLE, par les dimensions de sa retenue, à l'Aménagement de Serre-Ponçon, sur la Durance, l'Aménagement de Vouglans l'est également par le rôle de régularisation des débits de l'Ain qui lui est imparti.

Bien qu'issus de montagne de moyenne altitude, les apports de l'Ain et de ses affluents sont particulièrement abondants. Pour un bassin total de 8 300 km², le débit moyen au confluent avec le Rhône atteint, en effet, 130 m³/s, soit une lame d'eau annuelle moyenne d'environ 1,00 m. Les hautes eaux ont lieu, en général, de l'automne au début du printemps, en concordance avec les besoins énergétiques. Le régime de la rivière est très irrégulier ; des crues courtes et soudaines succèdent à de profonds étiages. Il importait donc de créer de grandes accumulations pour régulariser le débit et pour compenser la faible pente par une meilleure utilisation des eaux.

La seule réserve existante était celle du lac de Chalain, dont la retenue utile de 20 millions de mètres cubes n'avait qu'une influence négligeable vis-à-vis des crues.

La constitution d'un réservoir de tête, d'une capacité très importante, permettait une refonte de l'équipement hydro-électrique de l'Ain, dont les neuf centrales — construites entre 1901 et 1932, sauf une, l'usine-barrage d'Allement mise en service en 1960 — produisent une moyenne de 300 millions de kWh auxquels s'ajoutent 120 millions de kWh provenant d'usines privées installées soit sur l'Ain soit sur l'un de ses deux principaux affluents, la Bienne et l'Oignin.

La mise en service de l'Aménagement de Vouglans va profondément modifier l'équipement énergétique de l'Ain et porter, dans l'hypothèse optimale des projets d'aménagements, la capacité de production hydro-électrique à plus de 900 millions de kWh, par le réaménagement de la chute de Saut-Mortier (déjà réalisé) qui fonctionnera en compensation de la chute de Vouglans, la construction de l'Aménagement de Coiselet dont les travaux préliminaires sont en cours, et l'équipement projeté des chutes d'Oussiat, à la hauteur de Pont-d'Ain, et de Proulieu, court-circuitant le confluent naturel de l'Ain et du Rhône à travers le plateau du Bugey. Ces équipements compléteront ceux des chutes de Cize-Bolozon et d'Allement qui produisent actuellement près des deux tiers de l'énergie tirée du débit de l'Ain.

LES OUVRAGES ÉQUIPANT LA CHUTE DE VOUGLANS

LE site dans lequel a été aménagée la chute de Vouglans se prête admirablement à l'établissement d'une importante accumulation. Bien situé géographiquement en tête des gorges de l'Ain, il présente des caractéristiques géologiques convenant parfaitement à la fonction de réservoir dévolue à la retenue.

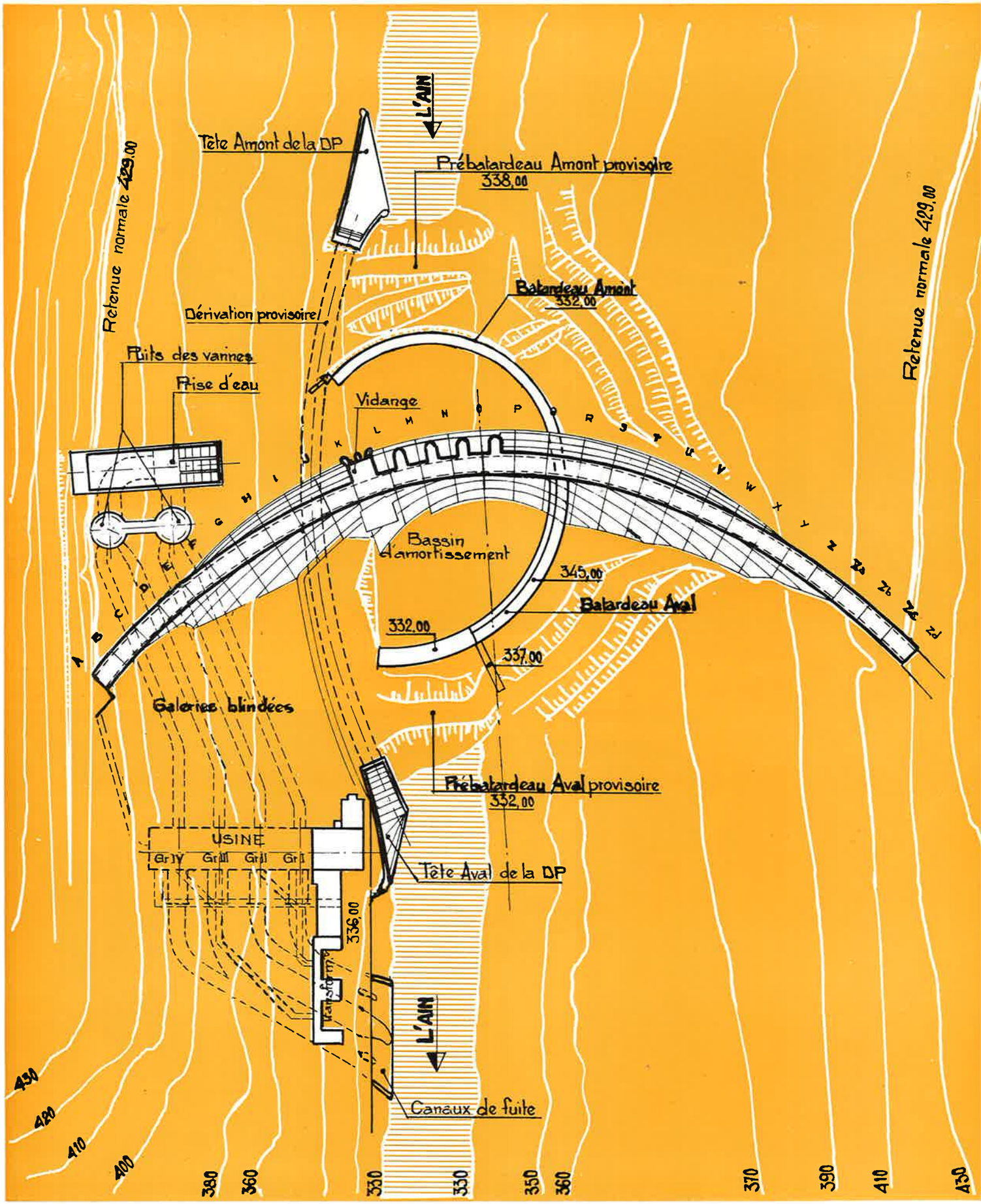
La roche des appuis du barrage constituée de bancs massifs horizontaux a une excellente résistance mécanique. L'étanchéité générale est satisfaisante.

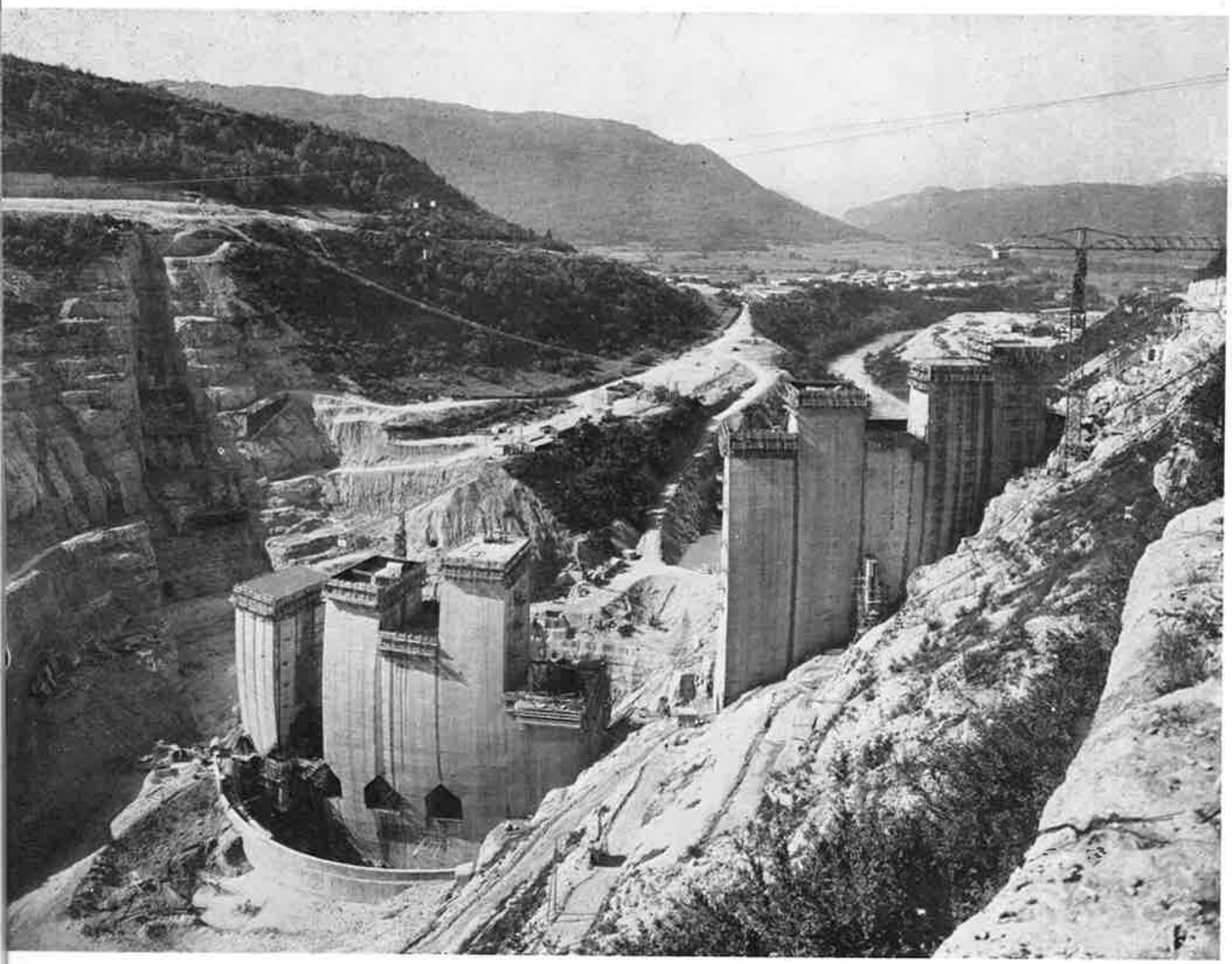
L'Ain a, en effet, creusé sa gorge dans les roches compactes du Rauracien (calcaires du Jurassique supérieur) ; mais, située au milieu d'un large synclinal, elle est enveloppée à 100 m de profondeur par la couche étanche de l'Oxfordien marno-calcaire.

Il existe, néanmoins, des circulations karstiques qui empruntent, en général, les fractures de la roche. Nous verrons comment a été envisagée la coupure éventuelle de ces cheminements, dont l'importance apparaît limitée.

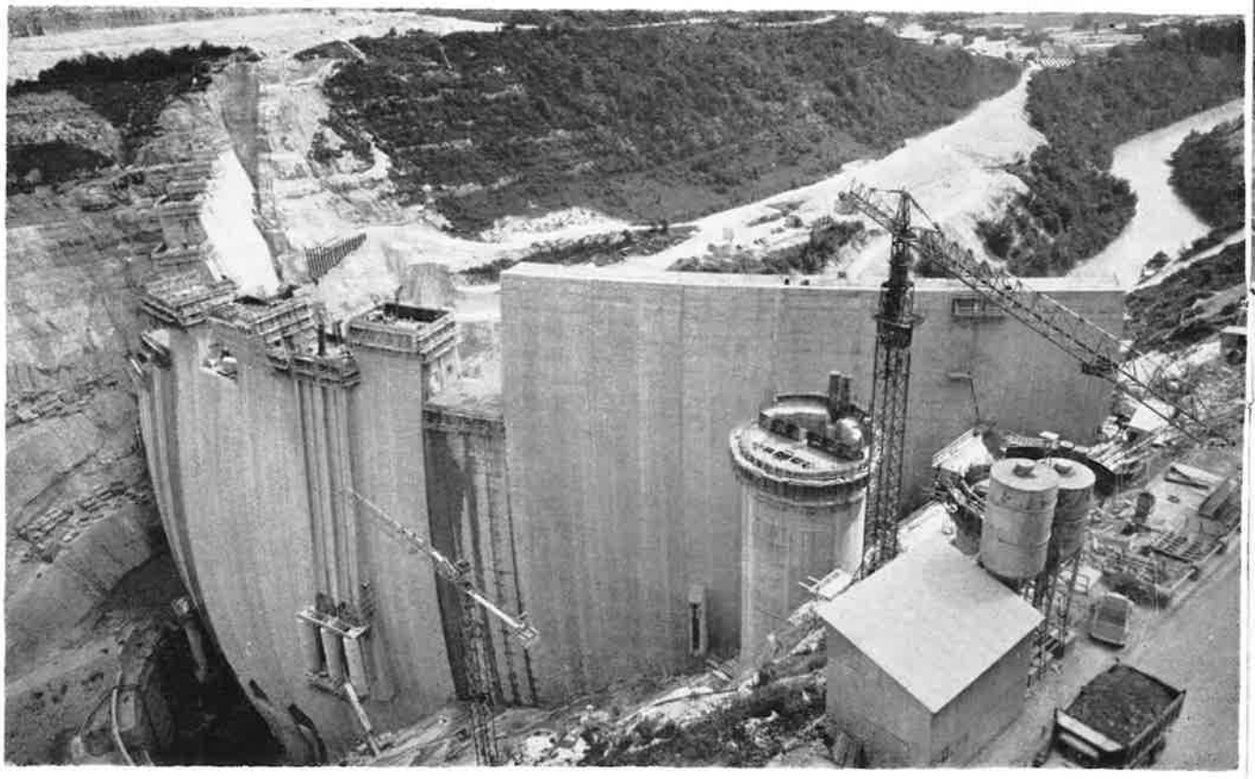
LA RETENUE

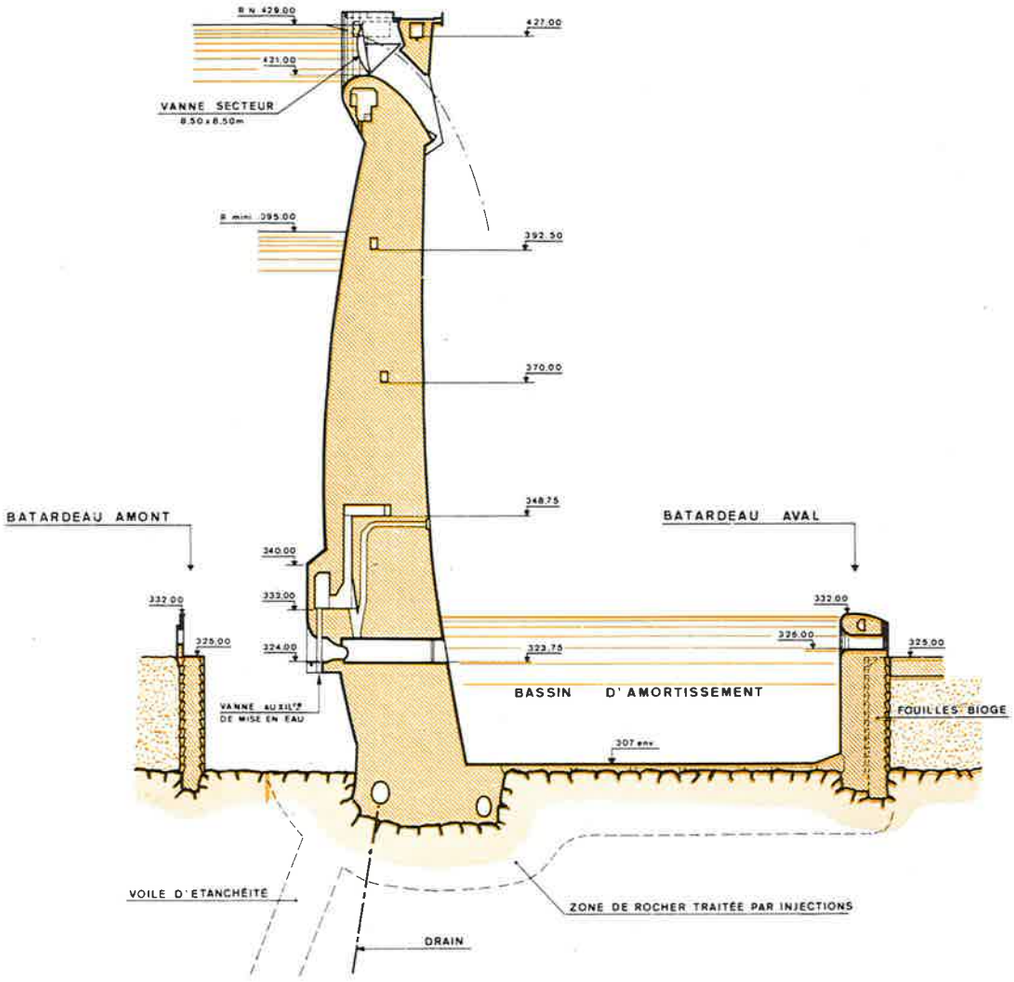
NOUS avons, en préambule, rappelé les caractéristiques géographiques de la retenue. Elle recevra les apports d'un bassin versant d'une superficie de 1 120 km², représentant un volume moyen de 1 200 mil-


L'AIN
Tête Amont de la DP
Prébatardeau Amont provisoire
338,00
Retenue normale 429,00
Batardeau Amont
332,00
Dérivation provisoire
Puits des vannes
Prise d'eau
Vidange
Retenue normale 429,00
Bassin d'amortissement
345,00
Batardeau Aval
332,00
337,00
Galeries blindées
Prébatardeau Aval provisoire
332,00
USINE
Grille
Grille
Grille
Grille
Tête Aval de la DP
336,00
Transformateurs
L'AIN
Canaux de fuite
450
420
410
400
380
360
330
330
350
360
370
390
410
430



Ces deux documents montrent la construction du barrage, vue par l'amont, en juillet 1966 et en juillet 1967.
(Photos R.A.M. et Entreprise Industrielle)





Coupe transversale du barrage sur un évacuateur de surface et au droit de la vidange basse de mise en eau.

lions de m³ annuels, pour un débit moyen de la rivière de 38 m³/s. La crue maximale envisagée est de 1 800 m³/s.

Le volume total de la retenue sera donc de 605 millions de m³, à la cote normale du plan d'eau (429 N.G.F.). La hauteur de la tranche utile sera de 34 m, correspondant, en exploitation normale, à un volume de 425 millions de m³.

La retenue submergera 1 600 ha de terrains répartis sur treize communes dont 400 seulement sont productifs. Elle entraînera la disparition du village du Bourget avec son hameau de Bellecin (120 habitants) et du hameau de Brillat (30 habitants) et noiera les centrales hydro-électriques de Saut de la Saisse (40 m³/s, 13 m, 13 millions de kWh/an) et de la Chartreuse de Vaucluse (60 m³/s, 25 m, 40 millions de kWh/an).

Deux routes reliant Saint-Claude à Lons-le-Saunier par Moirans et Orgelet et franchissant l'Ain à Brillat et au Pont de la Pyle seront coupées. Les communications seront rétablies par une nouvelle route partant d'Orgelet, passant l'Ain par un nouveau pont, construit légèrement à l'aval de l'ancien pont de la Pyle, et recoupant à Meussia la route départementale N° 27, Clairvaux-les-Lacs-Moirans.

LE BARRAGE

Le barrage est implanté à l'amont des deux hameaux de Vouglans (RG) et de Menouille (RD), la largeur de la gorge au niveau de la crête étant de 350 m.

L'ouvrage est du type « voûte pure », à double courbure. Le tracé des arcs, non circulaire, est défini par des spirales qui permettent d'avoir des incidences de la voûte sur le terrain de l'ordre de 45 °. La contrainte maximale dans l'ouvrage n'atteint pas 70 bars, au tiers inférieur de l'appui. Le barrage est entièrement fondé au rocher.

L'étude, comme celle de la prise d'eau, en a été confiée par E.D.F. au Bureau Coyne et Bellier.

Les caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes :

— hauteur au-dessus du lit de l'Ain .. .. 103 m
— hauteur au-dessus des fondations .. .. 130 m
— épaisseur moyenne à la base 25 m
— épaisseur en crête .. .. .. 6 m
— crête du barrage à la cote .. 430 N.G.F.
— développement en crête .. .. 425 m

Le barrage est divisé en 29 plots de 13,50 m chacun de largeur et deux massifs d'extrémité. La forme triangulaire de la vallée rocheuse donne aux plots situés près des rives une hauteur relativement faible, leur permettant de travailler à la fois en voûte et en console.

Une chaussée de 5 m de largeur, encadrée par deux trottoirs de 1 m, en encorbellement, est aménagée sur le couronnement.

Le barrage forme bloc avec les évacuateurs de surface et les vidanges mais il se trouve nettement séparé de la prise d'eau et de l'usine implantées directement sur la rive droite.

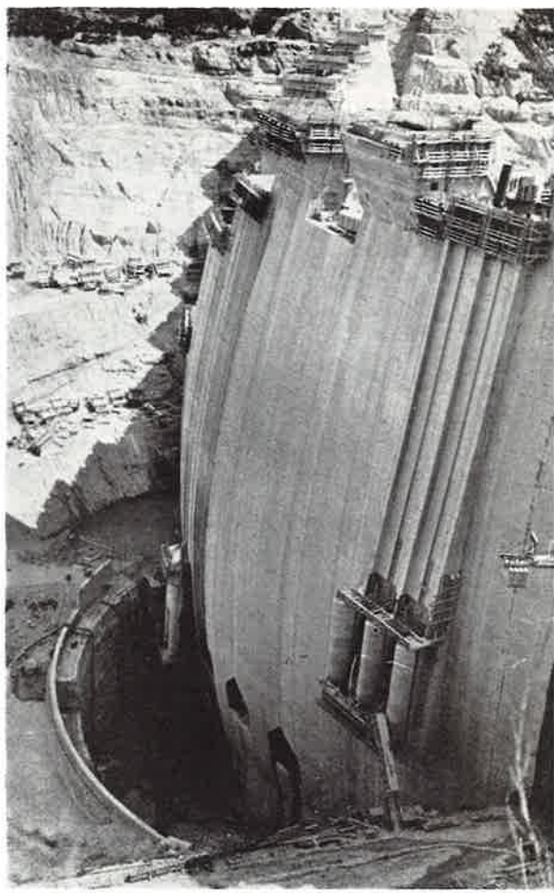
Les évacuateurs de crues

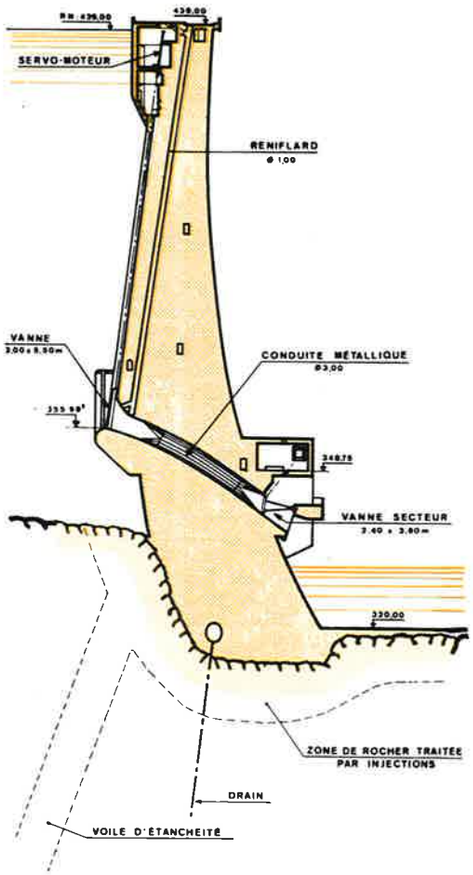
Ils sont constitués par quatre passes déversantes à nappe liquide implantées au centre et à la partie supérieure de l'ouvrage. Leurs seuils déversants, à profil « Créager » sont arasés à la cote (421). La capacité d'évacuation des passes est de 1 600 m³/s pour le plan d'eau à la cote de retenue normale de (429 N.G.F.) et de 2 000 m³/s lorsque le niveau de la retenue est à (430).

Les pertuis sont disposés en porte-à-faux par rapport au parement du barrage. Les passes, larges de 8,50 m, sont séparées par des piles dans lesquelles sont ménagés les locaux de manœuvres des vannes « segment » (Neyrpic) de 8,50 × 8,50 m, commandées par servo-moteur à huile équipant chacune d'elles.

Le jet tombera verticalement à l'aval immédiat du barrage dans un bassin d'amortissement.

Vue amont du barrage : à droite, les entrées d'eau des vidanges de fond, à gauche la vidange basse de mise en eau.
(Photo R.A.M.)





Coupe transversale du barrage sur une vidange de fond.

Les vidanges de fond

Deux conduites blindées de Ø 3 m, situées dans la partie basse du barrage et dont le seuil est à la cote (355,99) constituent les vidanges de fond. Elles permettent d'évacuer un débit de 450 m³/s pour la retenue au niveau (429).

Chacune des conduites est fermée par deux vannes :

— à l'amont, par une vanne de garde « chenille » (Dingler) de 5,50 m de hauteur et de 3 m de largeur, dont le seuil est à (355,89) et qui est manœuvrée depuis le couronnement par servo-moteur à huile ;

— à l'aval, par une vanne de réglage « segment » (Dingler), haute de 3,40 m et large de 2,40 m, dont le seuil est à (340,15) et qui est commandée par treuil et crémaillère.

Chaque conduite est munie d'un reniflard de Ø 1 m, ménagé entre l'aval immédiat de la vanne de garde amont et le couronnement du barrage, dans la masse de celui-ci.

Une vanne auxiliaire de mise en eau pouvant servir éventuellement dans l'avenir de vidange basse, est disposée dans l'axe de la dernière passe de rive gauche de l'évacuateur. Le seuil en est calé à (324). Elle est munie d'une vanne à glissières (Jeumont - Schneider - Calzoni) de 4 m de hauteur et 2,50 m de largeur, commandée par servo-moteur à huile à double effet.

Le jet des vidanges est dirigé vers le bas par une partie blindée du bassin d'amortissement.

Les batardeaux et le bassin d'amortissement

Comme nous le verrons par la suite, les fondations du barrage ont été construites à l'abri d'un batardeau amont et d'un batardeau aval, constitués par deux voûtes en béton et formant une enceinte réduite susceptible d'être noyée pendant la période des travaux par des crues supérieures à 600 m³/s.

Le batardeau amont, arasé à la cote (332), a pour objet :

— de retenir pendant la période des travaux, en cas de crues supérieures à 600 m³/s, les matériaux du pré-batardeau amont qui pourraient remplir l'enceinte dans laquelle sont exécutées les fouilles du barrage en-dessous du lit de la rivière ;

— de permettre, grâce à ses six passes sautables, arasées à la cote (327) et de 2,50 × 2,00 m, d'abaisser le niveau de l'Ain à l'amont lors de l'exécution du bouchon de la dérivation provisoire ;

— de protéger de l'engravement la vidange secondaire de fond et les pertuis provisoires calés à la cote (324).

Il est fondé au rocher et son infrastructure est réalisée en fouille « Bioge ». Il développe en crête 62 m, son épaisseur étant de 4 m en-dessous de la cote (325) et de 1,20 m au-dessus de cette cote.

Le batardeau aval est arasé à la cote (345). Il est fondé au rocher, son infrastructure étant réalisée, en-dessous de la cote (330), en fouille « Bioge » sur la moitié de son épaisseur.

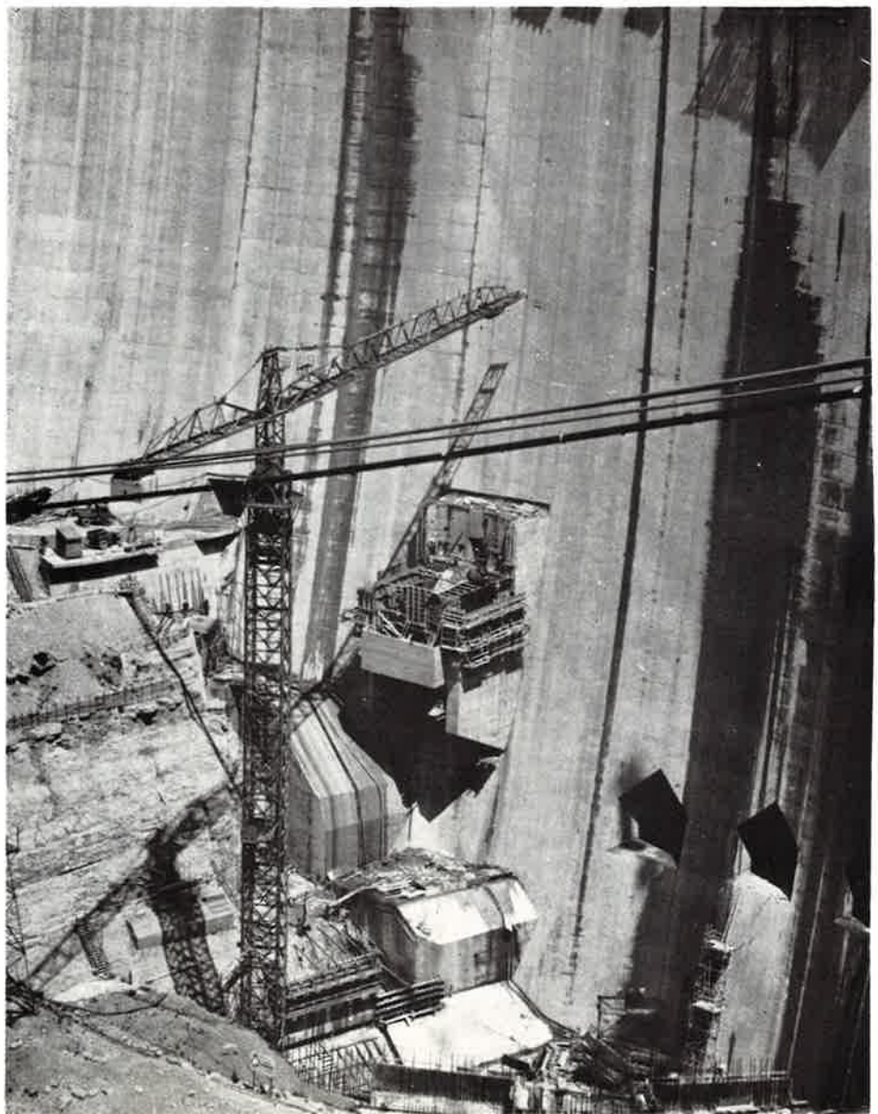
Sa hauteur maximum au-dessus des fondations est de 45 m, le développement en crête est de 132 m, l'épaisseur à la base de 8 m et au couronnement de 2,50 m. Il comprend six pertuis, dont les seuils déversants à profil « Creager » sont à la cote (332) et dont les passes batardables ont une largeur de 2 m.

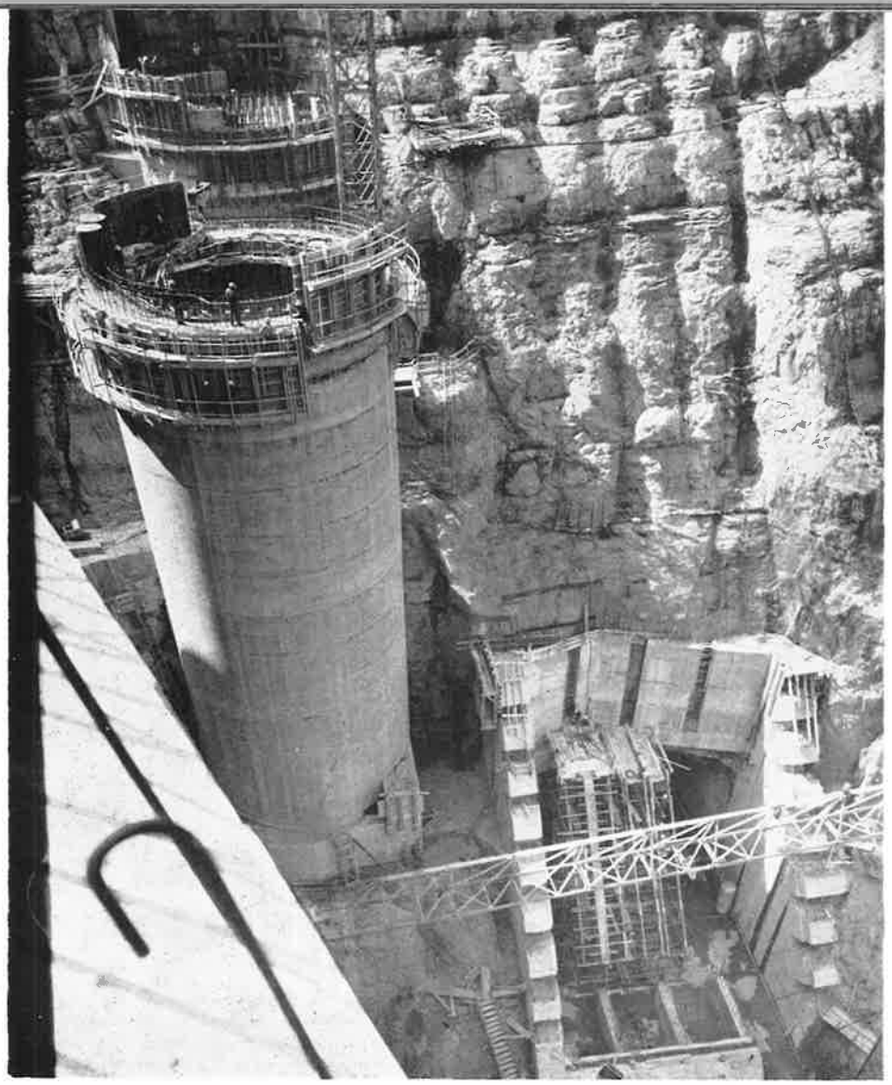
L'enceinte formée entre le barrage et le batardeau aval a été déblayée jusqu'au rocher et constitue le **bassin d'amortissement**. Il s'agissait, en effet, de dissiper l'énergie considérable correspondant à un débit de crue de 2 000 m³/s tombant en nappe libre d'une hauteur de 100 m de façon à restituer à la rivière une eau suffisamment calmée pour éviter tout désordre que provoquerait une érosion massive du remplissage fluvio-glaciaire garnissant le fond de la vallée rocheuse.

A l'intérieur du bassin d'amortissement, le rocher est entièrement protégé par un revêtement de surface en béton armé, fortement ancré. La zone d'impact du jet des vidanges principales est, en outre, blindée par des plaques d'acier spécial « Creusabro 32 » (B.V.S.) sur une superficie de 140 m².

L'étude du bassin d'amortissement a été faite sur modèle réduit au laboratoire de SOGREAH à Grenoble.

Vue aval du barrage, à la hauteur des déversoirs des vidanges de fond. Les pertuis que l'on aperçoit à droite seront obturés à la mise en eau. Ils avaient pour objet de permettre l'écoulement des eaux de l'Ain en cas de crue supérieure à la capacité de la dérivation provisoire. (Photo R.A.M.)





Ces vannes sont équipées de clapets d'équilibrage et sont commandées, depuis le sommet des tours, par servo-moteurs.

— quatre galeries d'amenée horizontales, creusées dans le rocher au diamètre intérieur de 4,50 m et dont la longueur moyenne est de 120 m. Ces galeries sont blindées par des viroles d'acier de 20 à 22 mm d'épaisseur avec renforts en chevrons (B.V.S.). Elle passent sous les fondations du barrage à une profondeur variant de 30 à 70 m. La pression moyenne de service dans les conduites forcées sera de l'ordre de 9 bars.

L'USINE

L'USINE est équipée pour fonctionner sous une chute nette moyenne de 90,4 m (chute brute maximale 100 m, chute brute moyenne 91 m), pour un débit de 170 m^3/s en première phase et de 324 m^3/s en deuxième phase d'équipement.

La puissance installée y sera de 136 MW en première phase et de 262 MW en seconde phase, soit, respectivement, une puissance maximale disponible de 135 MW et 258 MW, une puissance de garantie équivalente de 111,5 MW, une puissance de pointe équivalente de 125,5 MW et 237,7 MW.

Sa capacité de production annuelle sera de 234 GWh, en première phase et de 235,5 GWh en deuxième phase, soit, compte tenu de la suppression des usines de Chartreuse de Vaucluse et de Saut de la Saisse, un apport supplémentaire au réseau de 181 GWh par an, en première phase, et de 182,5 GWh/an, en seconde phase.

LA PRISE D'EAU

LA prise d'eau est implantée sur la rive droite de l'Ain, à une cinquantaine de mètres à l'amont du barrage, dont elle est distincte. Elle est construite pour quatre groupes et constituée, de l'amont vers l'aval par :

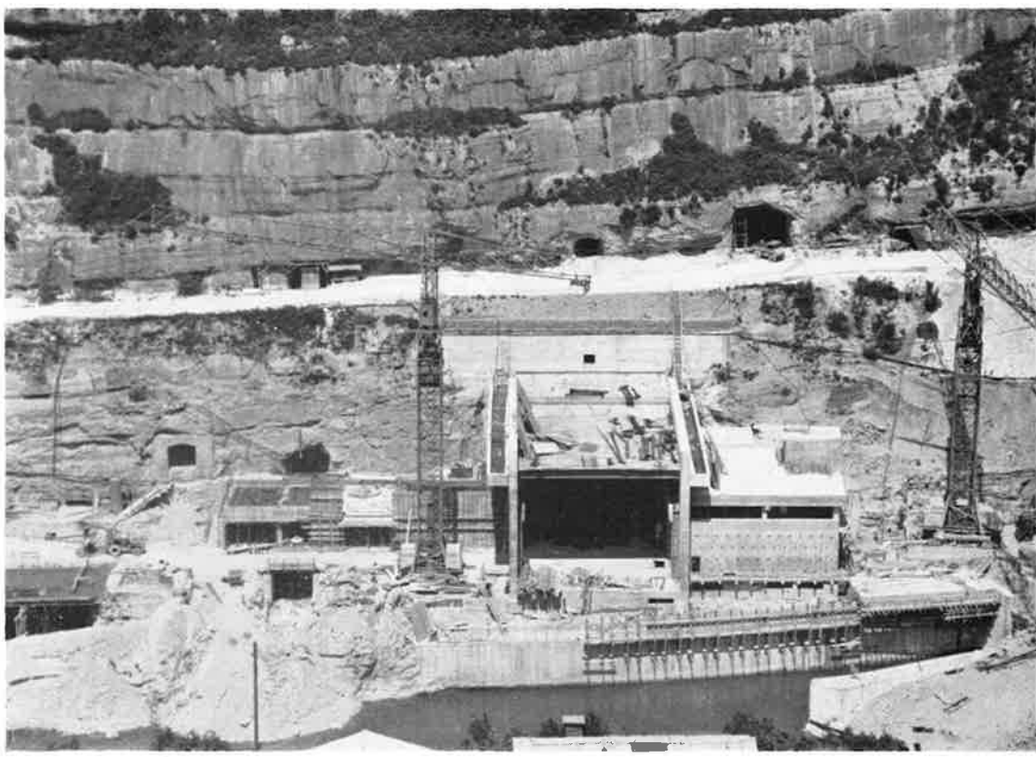
— un ouvrage de prise, dont le seuil est à la cote (372) et qui est équipé d''une grille inclinée (Neyrpic) de 27 × 18 m, d'une surface utile de 300 m^2, dont les barreaux sont écartés de 85 mm. Un plan incliné en béton permettra l'installation éventuelle d'un dégrilleur, manœuvré depuis la berge à la cote (431,30).

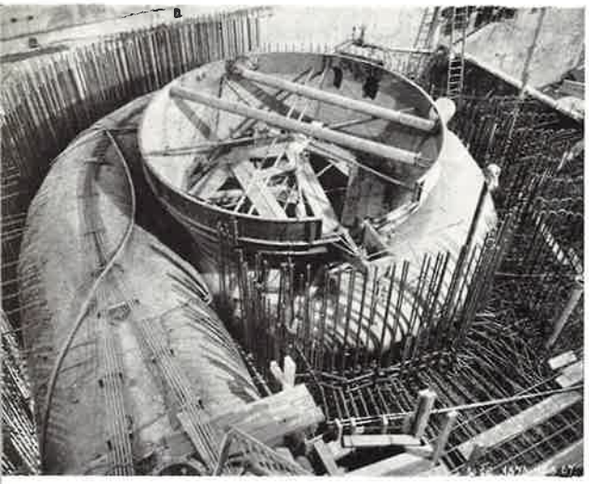
— deux courtes galeries horizontales de 72 m^2 de section utile qui relient l'ouvrage de prise à deux puits verticaux. Les galeries peuvent être obturées chacune par une vanne batardeau « chenille » (Neyrpic) de 9 m × 6 m, dont le seuil est à la cote (365) et qui est manœuvrée par servo-moteur depuis le sommet du puits.

— deux puits, creusés dans le rocher et prolongés hors sol, jusqu'à la cote (431), par deux tours en béton en tête desquelles sont installés les servo-moteurs et les organes de manœuvre des vannes. Les puits ont une hauteur de 108 m et un diamètre intérieur de 12 m. Ils alimentent chacun deux galeries d'amenée, dont ils peuvent être coupés par deux vannes de tête de conduites forcées « chenille » (Neyrpic), dont le seuil est à la cote (323,50) et qui ont 6,50 m × 3 m.

La prise d'eau et les tours des puits d'alimentation des conduites forcées.
(Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

La partie extérieure de l'usine et les bâtiments annexes.
(Photo R.A.M.)





Ferraillage, avant bétonnage du massif de la bâche d'amenée d'eau d'une turbine. (Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

L'incidence de l'Aménagement de Vouglans sur la production des usines aval de l'Ain et du Rhône permettra une augmentation de la production de 40 GWh.

L'usine comprend quatre parties : le bâtiment des machines, la galerie des batardeaux, les bâtiments annexes et les cellules des transformateurs.

Le bâtiment des machines

Il est conçu pour abriter quatre groupes Francis à axe vertical et disposé sur la rive droite, perpendiculairement à la rive. La partie abritant les machines a été construite dans une cavité creusée dans le rocher. Le reste à l'extérieur, côté rivière, où se trouvent l'entrée de la centrale et le hall de démontage à la cote (336).

Les services auxiliaires et hydrauliques sont disposés en sous-sol, sous le hall de démontage et entre les groupes.

Deux ponts roulants (C.H.S.L.) de 105 t avec un palan de 3 t desservent l'usine. Ils circulent sur deux poutres de roulement partiellement suspendues à la voûte et reposant également sur 13 piliers en béton armé disposés en avant des longs-pans.

Une galerie d'aération et de drainage a été forée à quelques mètres au-dessus de la voûte de la salle des machines et parallèlement à l'axe de celle-ci. Un accès direct est ménagé depuis le couronnement du barrage par une galerie et un puits, ce dernier étant équipé d'un ascenseur (Gervais-Schlindler) de 600 kg (8 personnes). Dans la centrale, les différents niveaux sont desservis par un autre ascenseur (Gervais-Schlindler) de 600 kg (8 personnes) et par un monte-charge (Gervais-Schlinder) de 1 500 kg.

L'assèchement des sous-sols est assuré par une pompe d'épuisement d'une capacité de 400 m³/h et par deux pompes d'exhaure de 140 m³/h (A.L.T.A., Annecy).

La **cavité** a une longueur de 70 m, une largeur de 15 m et une hauteur de 35 m. Elle représente un volume de 60 000 m³ de déblais rocheux.

L'équipement de l'usine

L'usine sera équipée en deux phases, correspondant chacune à la moitié de la puissance installée. Elle disposera, au terme de son équipement, de quatre groupes à axe vertical, dont l'un sera un groupe réversible et pourra fonctionner en pompe, afin de « remonter » dans la retenue, pendant les heures creuses, une partie des eaux disponibles contenues dans la retenue de la chute de Saut-Mortier, jouant le rôle de premier bassin de compensation.

Les trois premiers groupes comprendront chacun :

— une turbine Francis à axe vertical (C.A.F.L.-Vevey), d'une puissance nominale de 62 500 kW à 214 tr/mn sous la chute moyenne de 90,40 m absorbant 75 m³/s. En fonctionnement de surpuissance, le débit peut être porté à 85 m³/s et la puissance à 68 000 kW ;

— un alternateur (Alsthom) de 80 000 kVA sous 10,3 kV.

Le groupe réversible, encore à l'étude, comprendra :

— une turbine-pompe à axe vertical d'une puissance nominale approximative en turbine de 58 000 kW pour 69 m³/s.

— un alternateur-moteur de 70 000 kVA sous 10,3 kV.

Les groupes seront branchés, par deux, sur un transformateur (Alsthom-Savoisienne) triphasé de 160 000 kVA à trois enroulements 10,3/226 kV qui recevra sur chacun de ses deux primaires le débit d'un groupe.

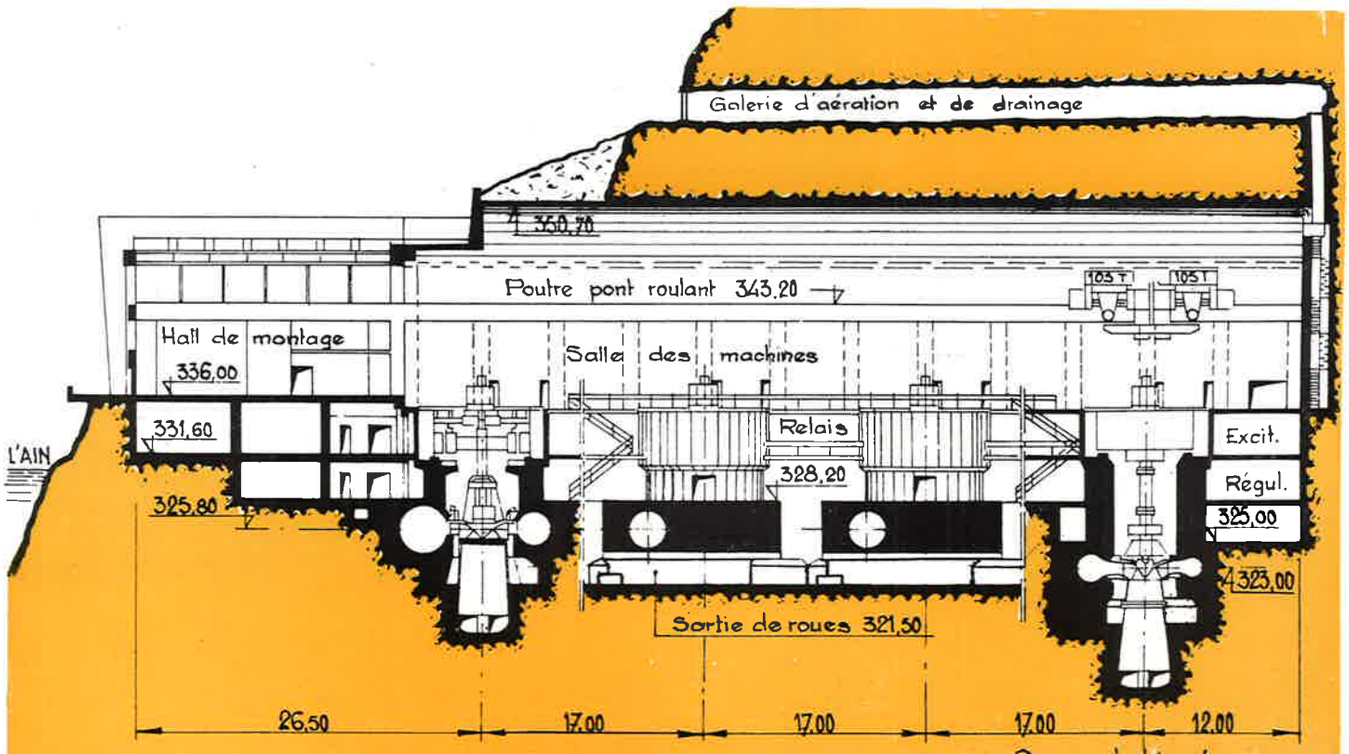
LA GALERIE DES BATARDEAUX

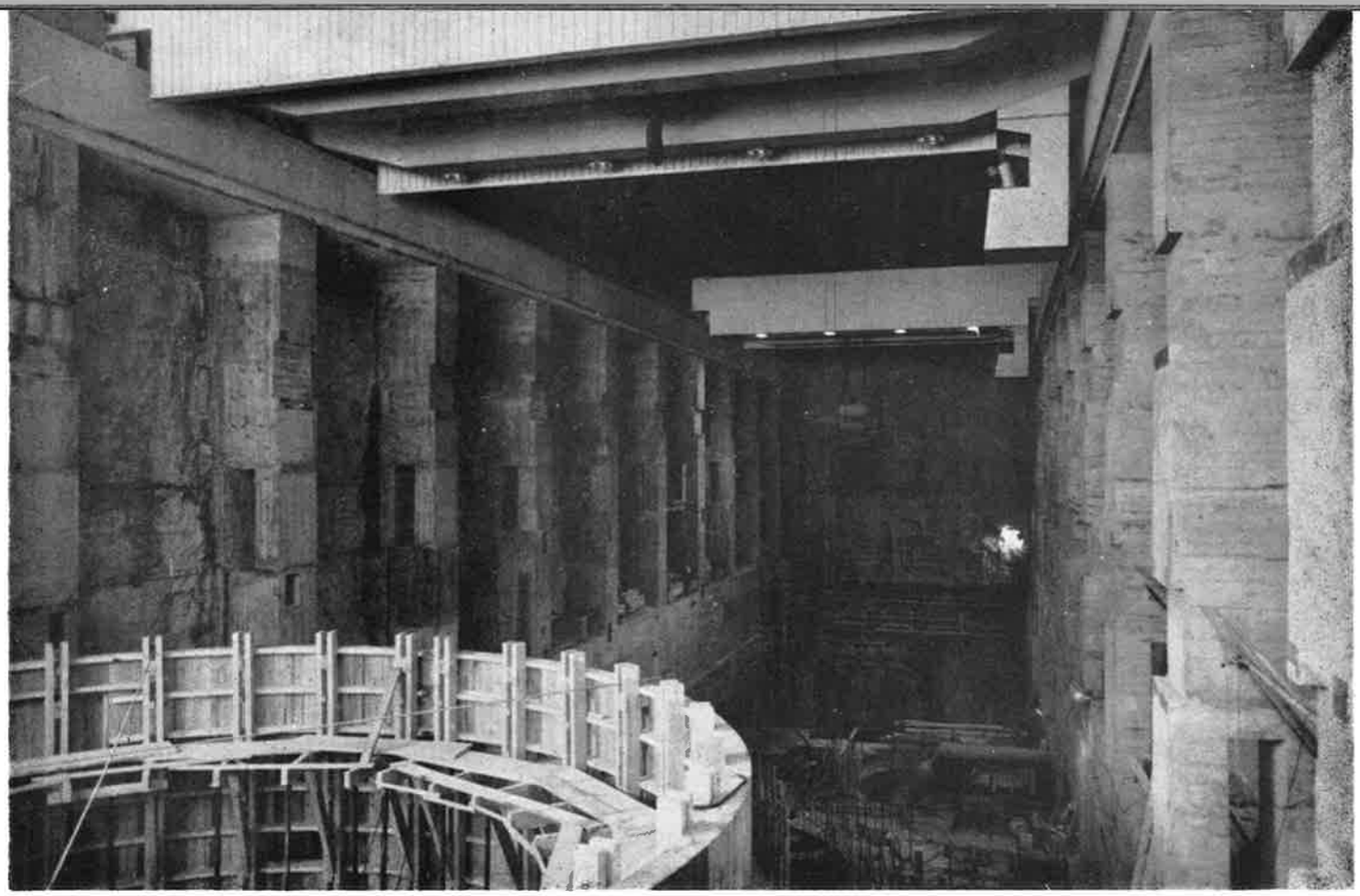
ELLE est parallèle au bâtiment des machines et renferme les organes de manœuvre des batardeaux de sortie des diffuseurs. Un accès est ménagé à chaque extrémité, l'un donnant directement à l'extérieur, l'autre dans la salle des machines.

LES BATIMENTS ANNEXES

ILS comprennent les bureaux, ainsi que divers locaux : tableau général, entretien, atelier, magasin, etc... répartis sur deux niveaux. Ils sont disposés sur la rive droite, parallèlement à l'axe de la rivière, fondés au rocher en place et implantés, un bâtiment à l'amont et l'autre à l'aval de l'usine.

Coupe en long de l'usine. On remarquera l'importance de la partie souterraine par rapport à l'ensemble de l'ouvrage. En première phase seuls seront montés les deux premiers groupes.





Ci-dessus : **Vue générale de l'usine souterraine. Au premier plan, le coffrage du berceau de l'alternateur d'un groupe.** — Ci-contre : **Montage d'une des turbines Francis.**

(Photos R.A.M.)

LES CELLULES DES TRANSFORMATEURS

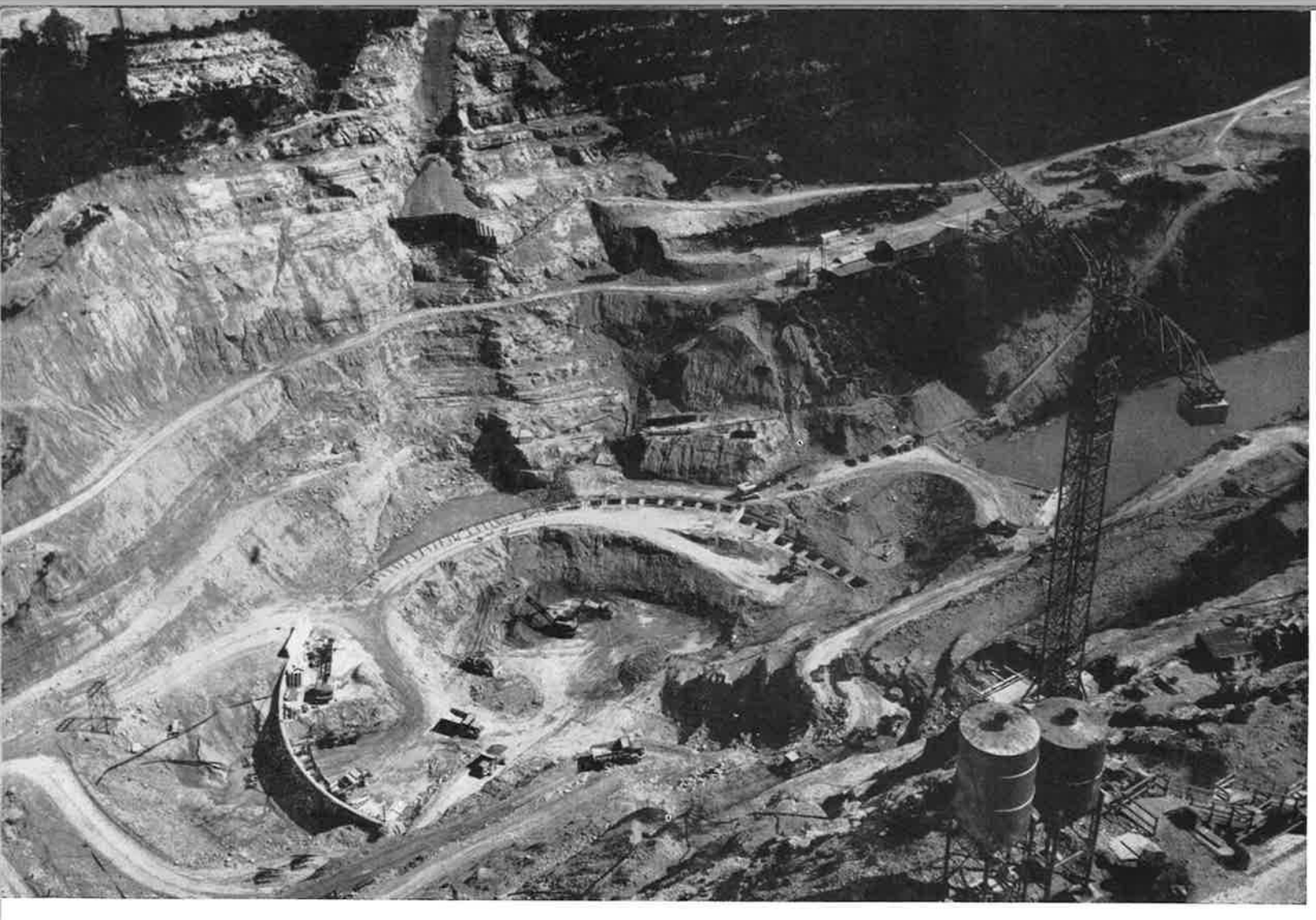
LES transformateurs seront logés dans deux cellules, placées à la suite du bâtiment annexe aval. L'énergie produite par les groupes parviendra par des jeux de barres (S.L.E. ENTI) circulant dans des galeries de barres creusées dans le rocher. Les groupes pourront être disjonctés par quatre disjoncteurs à air comprimé (C.E.M.) dont le pouvoir de coupure est de 2 000 MVA.

Pour éviter tous désordres que pourraient provoquer, dans cette gorge étroite, les embruns intenses consécutifs au déversement des crues, l'évacuation de l'énergie se fera par câbles à huile 225 kV jusqu'au poste d'où partiront, vers la ligne HT 225 kV Génissiat-Champvans, les lignes aériennes.

LA RESTITUTION

LA restitution des groupes dans la rivière se fait à la cote (325) par deux galeries de fuite creusées dans le rocher, chacune d'elles collectant les eaux turbinées par deux groupes.

Les galeries de fuite ont une longueur totale de 400 m. une section variable de 16 à 100 m^2. Elles ont nécessité le déroctage d'un volume de 23 000 m^3 de rocher.



Ci-dessus : **Les fouilles des assises et des appuis du barrage. On reconnaît au fond de la vallée la fouille Bioge utilisée en batardeau.** — Ci-dessous : **Vue intérieure de la fouille Bioge.** (Photos R.A.M.)

LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

NOUS avons très largement évoqué, dans la première étude que nous avons réalisée sur l'Aménagement de Vouglans, les travaux de terrassement des fouilles du barrage, et ceux de creusement de la cavité de l'usine et des puits de la prise d'eau (1). Nous nous bornerons, ici, à en résumer l'essentiel.

L'étude préliminaire du site fut entreprise entre 1957 et 1960 et comporta deux campagnes de sondages conduites par la Société Solétanche et la Société Intrafor. Dans le même temps, l'Entreprise Collet, de Lyon, était chargée de rechercher, par puits, des ballastières.

L'Entreprise Industrielle, à laquelle fut confiée par la R.E.H. Alpes Nord la construction de l'ensemble des ouvrages équipant l'aménagement, ouvrit son chantier le 1er juin 1963. Elle fit appel pour la seconder à deux entreprises sous-traitantes : la Société Intrafor, pour les sondages et injections, l'Entreprise Pégaz et Pugeat pour certains travaux de déroctage souterrain et la dérivation provisoire. Elle confia, en outre, à l'Entreprise Valérian l'exploitation de la ballastière.

(1) Voir « Rhône Alpes Méditerrannée », N° 9.

LES FOUILLES DES FONDATIONS DU BARRAGE

LES fouilles des fondations du barrage furent exécutées à l'abri des batardeaux amont et aval que nous avons décrits ci-dessus ces batardeaux étant, eux-mêmes protégés, à l'amont et à l'aval par des batardeaux provisoires constitués par deux petites digues en terre et enrochements qui permirent d'exécuter les fouilles « Bioge », l'Ain passant par la dérivation provisoire.

La dérivation provisoire est constituée par une galerie creusée en rive droite, sur une longueur de 230 m, en section fer à cheval de 60 m². Elle est capable d'un débit de 600 m³/s, correspondant à la crue de 3 ans. Les têtes amont et aval sont aménagées pour permettre leur batardage partiel ou total au moment de l'obturation de la galerie, l'Ain passant alors par la vidange secondaire du barrage.

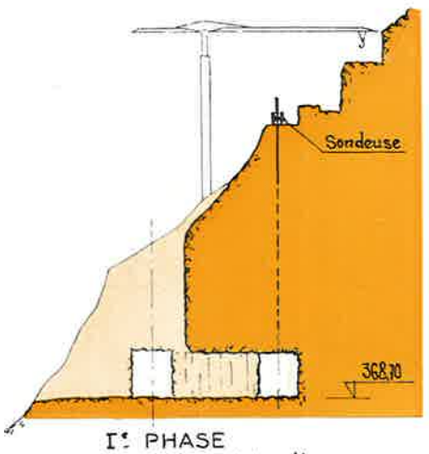
Les terrassements du barrage furent exécutés en grande masse dans la moraine rive gauche et entièrement à l'explosif dans les appuis du barrage.

Dans la moraine de rive gauche, d'apparence alluvionnaire mais constituée en fait d'un conglomérat d'argile indurée, 400 000 m³ de déblais furent extraits par sautage, après perforation au Crawl I.R. CM 2, l'évacuation s'effectuant, après désagrégation des blocs par Ripper Caterpillar D 9, par des motorscrapers Caterpillar 631 avec pousseur D 9.

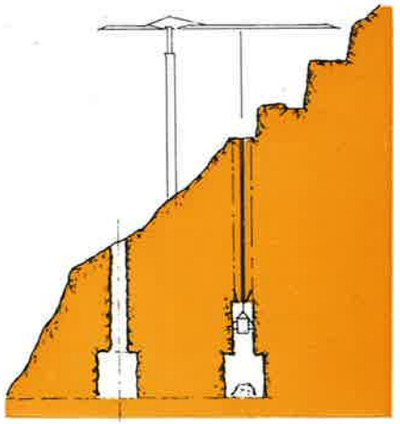
Dans les appuis du barrage, fondés sur un calcaire compact et dur les terrassements ont été exécutés à l'explosif, la perforation à cœur s'effectuant à l'aide d'un crawl I.R. CM2 et le réglage avec des chariots légers Montabert C.F.L. avec marteau T. 25 ou avec des marteaux à main Montabert L. 47.

Les matériaux poussés au bull Caterpillar D4 ou D8 étaient repris par des pelles Bucyrus 71 B de 2 300 litres ou 38 B de 1 100 litres qui chargaient des camions Euclid de 22 tonnes.

A l'intérieur de l'enceinte délimitée par les deux batardeaux, 150 000 m³ de marne compacte et feuilletée furent enlevés pour exécuter les terrassements du bassin d'amortissement et découvrir le rocher à l'amont et à l'aval du barrage, ainsi que dans le fond de la vallée rocheuse. Ce travail fut réalisé à l'explosif par tranches horizontales successives de 3 m d'épaisseur. La perforation était exécutée au crawl I.R. CM 2 et le marinage après rippage au D 9, par deux pelles en butte Bucyrus 71 B et 61 B de 2 300 litres, desservies chacune par sept camions Euclid de 22 ou 27 tonnes.



I[e] PHASE
- Déroctage des entrées d'eau
- Accès aux puits
- Forage d'un trou ø 110 mm pour passage du câble de la grue



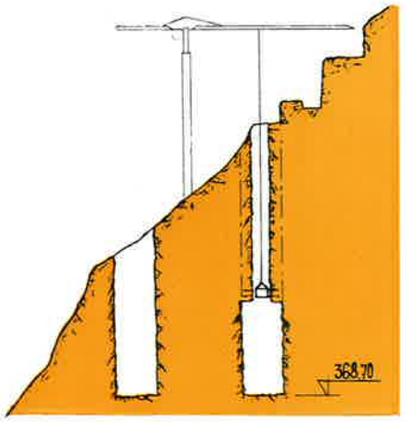
II[e] PHASE
- Déroctage par nacelle de l'avant puits de bas en haut

LA FORATION DE LA PRISE D'EAU DES PUITS VERTICAUX ET DES GALERIES D'AMENÉE

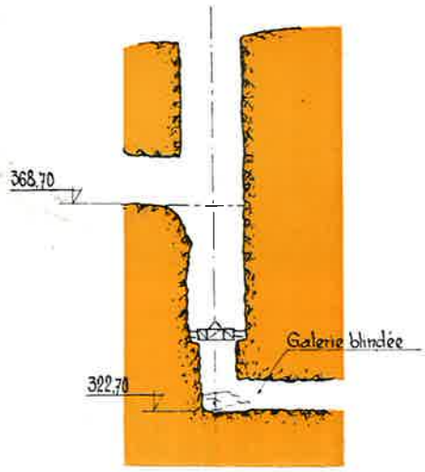
LA foration des entrées d'eau a été réalisée en deux tranches superposées. L'attaque s'est effectuée au marteau à main « Lion » Atlas-Copco avec avanceur à poussoir sur plate-forme mobile. Les déblais rocheux étaient évacués par des dumpers chargés par un Traxcavator.

Les puits verticaux furent creusés en trois temps :

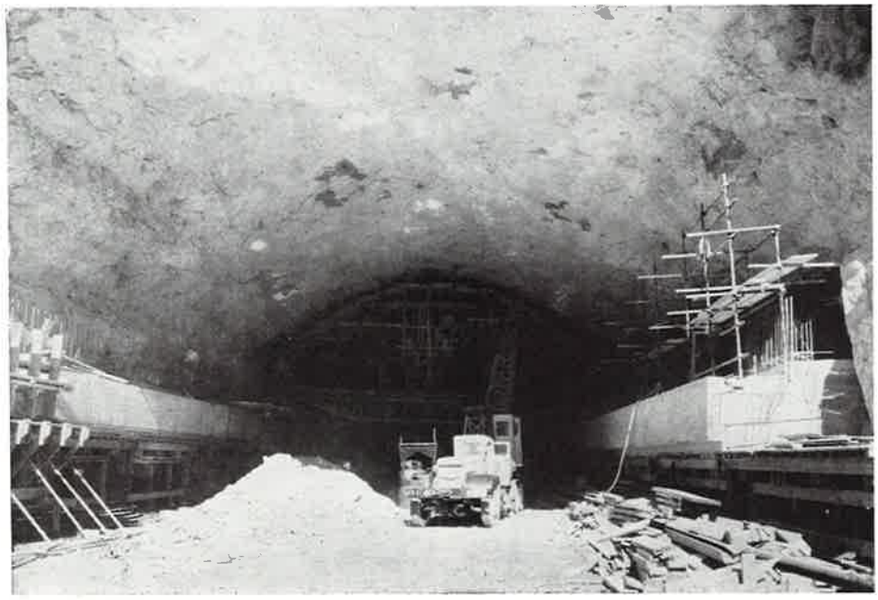
— un avant-trou de Ø 110 mm foré en descendant au moyen d'une sondeuse Craélius par lequel passaient les câbles soutenant une plate-forme de travail cage suspendue à une grue Weitz X 1331 spécialement équipée pour le transport du personnel.



III[e] PHASE
- Abattage par nacelle de bas en haut (forages rayonnants)



IV[e] PHASE
- Réglage par nacelle de haut en bas
- Le déroctage de la partie basse est fait suivant le même principe que la partie haute

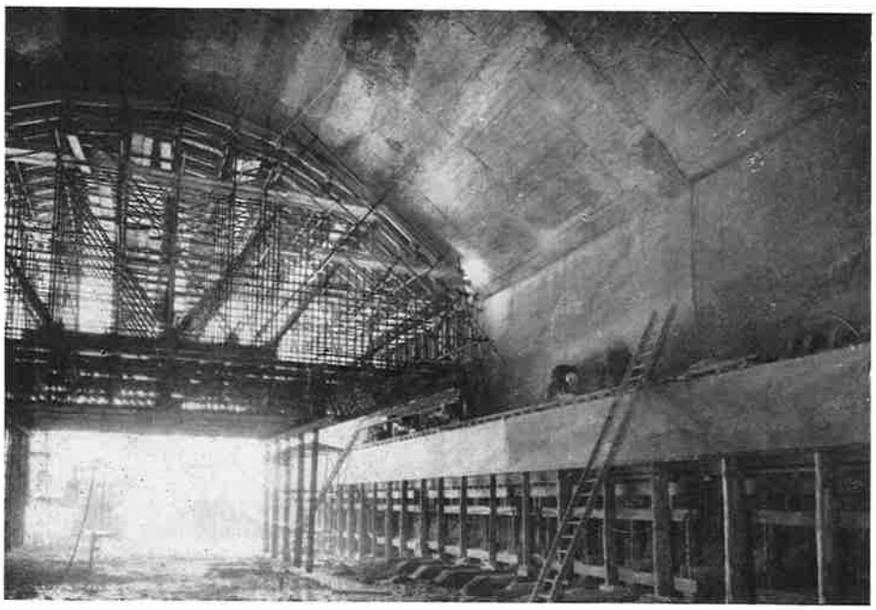


Ci-dessus : **Le principe de déroctage de la prise d'eau.** — Ci-contre : **Bétonnage des chemins de roulement des ponts roulants de l'usine après déroctage de la voute.**
(Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

— un avant-puits de Ø 2,50 m réalisé en remontant à partir de la plate-forme-cage suspendue à l'aide de marteaux à main sur avanceurs à poussoirs Montabert « Stoper » T 25.

— alésage de l'avant-puits par abattage rayonnant en montant et réglage de la banquette de 2 m restante, par trous verticaux en descendant.

La perforation des galeries d'amenée s'est effectuée à partir de la cavité de l'usine. La perforation était réalisée avec des marteaux à main « Lion » Atlas Copco avec avanceur à poussoir sur plate-forme, le marinage au moyen d'une chargeuse Hough H 70 sur pneus chargeant des Euclid de 18 tonnes par l'intermédiaire d'une trémie tampon.



LES CANAUX DE FUITE

LES canaux de fuite ont été creusés depuis l'extérieur vers l'usine. Un merlon rocheux arasé à la cote (328) avait été laissé entre la rampe d'accès et la rivière. Sur ce merlon est fondé un mur-poids de soutènement, servant de batardeau et protégeant le chantier contre les crues de 600 m^3/s.

Le déroctage des galeries dont la section varie de 100 m^2 à 16 m^2 entre l'extérieur et la sortie des aspirateurs a été mené en deux temps :

— perforation d'une galerie d'avancement en calotte ;
— attaque du stross de la partie inférieure.

Les matériels mis en œuvre étaient les mêmes que dans les galeries d'amenée.

Ci-contre : **Bétonnage de la voûte de l'usine à l'aide d'un coffrage en panneaux de bois « Cofréco » à ossature tubulaire roulant sur les poutres des ponts.** — Ci-dessous : **L'excavation atteint le niveau des fosses des sorties de roues des turbines.** (Photos Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

LA CAVITÉ DE L'USINE

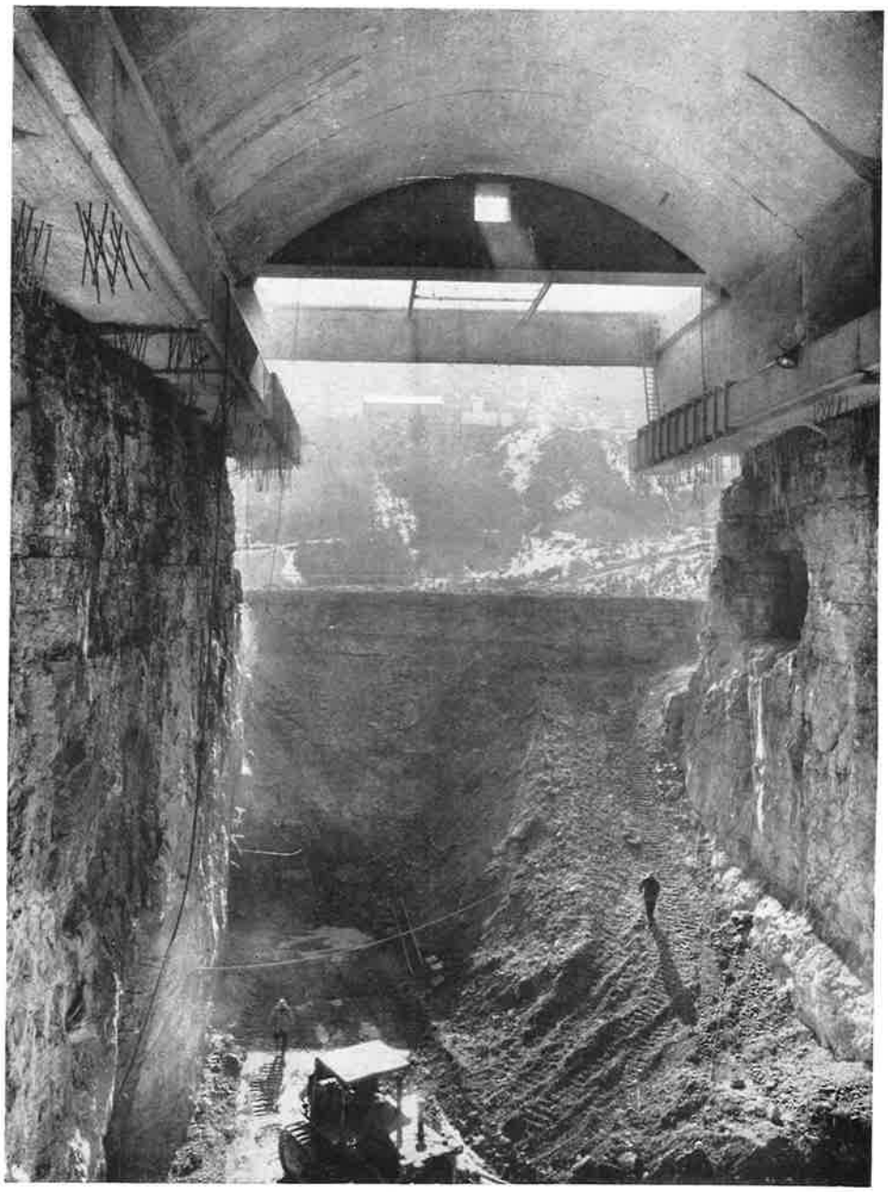
LE creusement de la cavité de l'usine a été mené dans un calcaire dur, composé de bancs horizontaux de hauteur variable. La qualité du rocher était particulièrement bonne à la hauteur de la voûte et sur le fond de l'usine, la zone se trouvant à la hauteur des poutres des ponts roulants nécessitait par contre des précautions spéciales.

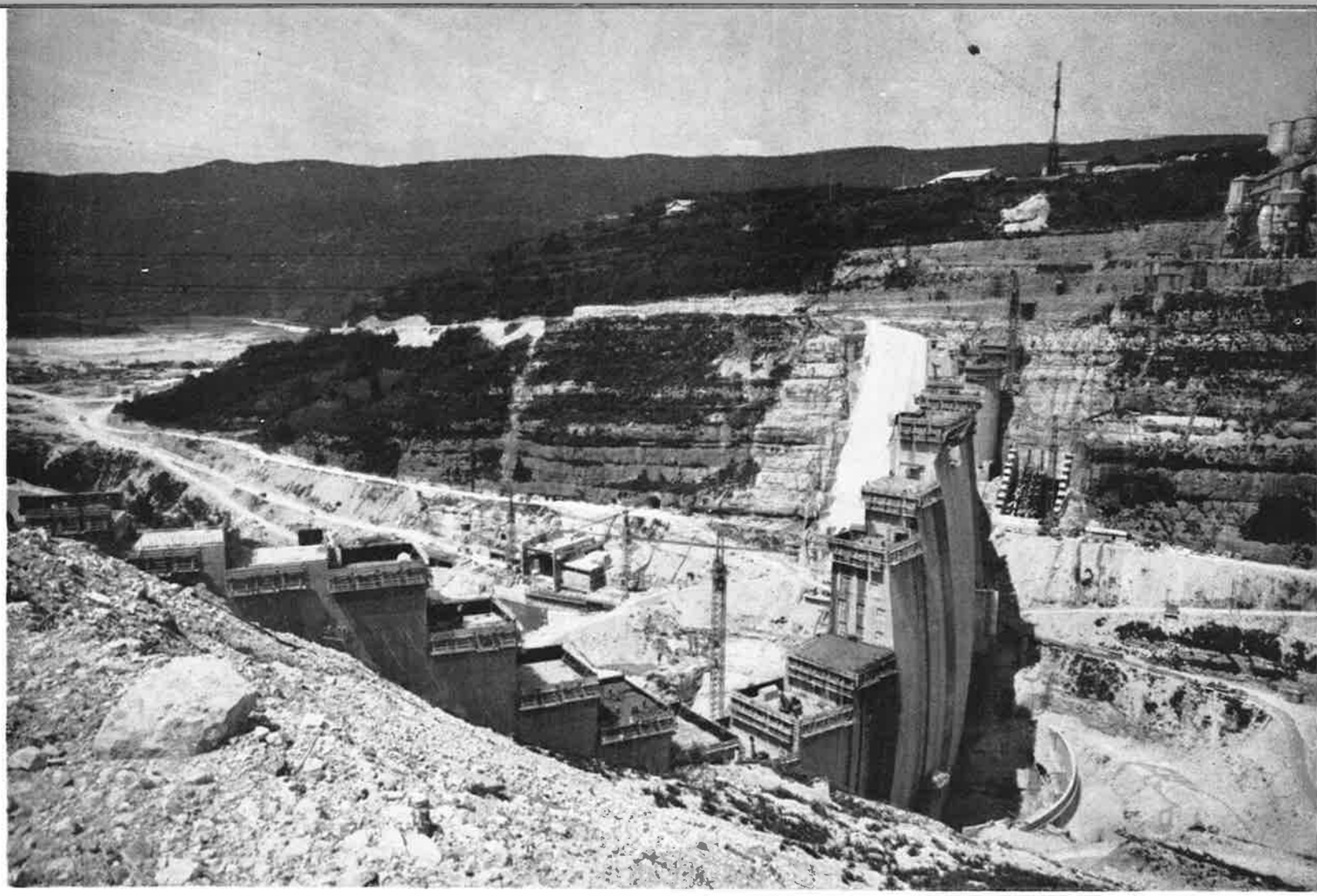
Par suite de la très grande portée de la salle (18 m) il fut décidé, pour éviter tout risque de décompression de la roche, de bétonner la partie supérieure, (voûte, piédroits et poutres des ponts roulants) dès la fin de son excavation.

Les terrassements s'ordonnèrent donc ainsi :

— percement à l'aide de marteaux légers sur poussoirs, d'une galerie de faîte correspondant à la corde de l'arc de la voûte.
— abattages latéraux jusqu'au niveau de cette corde, avec le même matériel.
— attaque du stross jusqu'au niveau inférieur des poutres des ponts roulants à l'aide d'un Crawl I.R. CM2.
— réglage des piédroits avec des marteaux Montabert T 25 sur chariot léger C.F.L.
— bétonnage des poutres des ponts roulants.
— bétonnage de la voûte.
— attaque du stross jusqu'au niveau inférieur des galeries de barres et simultanément perforation des galeries de barres, des galeries de batardeaux, des galeries de fuite et d'un puits d'évacuation des déblais dans le stross jusqu'au niveau du fond de l'usine.
— attaque du stross jusqu'au niveau supérieur des galeries d'amenée.
— puis jusqu'au niveau inférieur de ces galeries,
— percement des galeries d'amenée,
— enfin, attaque du stross jusqu'au niveau inférieur de l'usine.

Le marinage des déblais s'opérait avec une chargeuse Hough H 70, pour la galerie de faîte et les abattages latéraux avec une pelle Bucyrus 38 B chargeant les dumpers et les camions Euclid pour le stross.





LA CONSTRUCTION DES OUVRAGES

LA construction des ouvrages équipant l'Aménagement de Vouglans a nécessité la fabrication et la mise en place de 670 000 m³ de béton, de granulométrie variable avec des dosages allant de 225 à 350 kg de ciment par mètre cube.

Ce volume de béton a conduit l'Entreprise Industrielle à mettre en œuvre de très puissants moyens tant pour la préparation des granulats, que pour la fabrication des bétons et pour leur manutention.

LES INSTALLATIONS DU CHANTIER

LES installations destinées à la fabrication et à la mise en place des bétons du barrage, de la prise d'eau, de l'usine et des ouvrages annexes de la chute de Vouglans, ont été dimensionnées pour pouvoir produire une moyenne de 1 000 m³/jour correspondant aux prévisions selon lesquelles le barrage devrait être en eau au printemps 1968 et le premier groupe mis en route l'été suivant.

L'EXPLOITATION DE LA BALLASTIÈRE

LES granulats, pour les bétons et les sables d'injection, proviennent de l'exploitation de la ballastière du Finage, située sur la commune de Menouille à 2 km à l'aval du barrage, en rive droite de l'Ain.

Les matériaux provenant de cette ballastière contiennent des quantités variables — mais pouvant être localement importantes — de terre et notamment d'argile adhérente ; ce qui a nécessité l'implantation d'une importante unité de lavage et de débourbage en tête de la station de traitement des granulats.

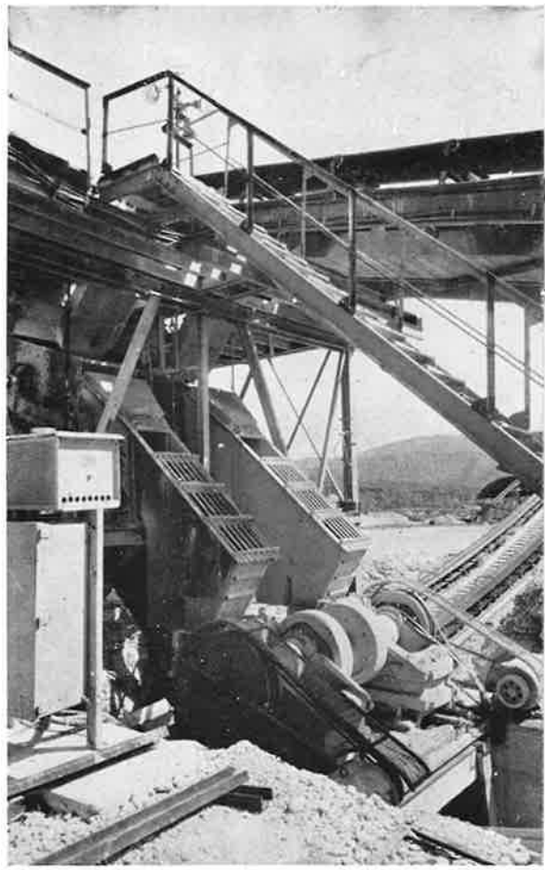
La ballastière a été exploitée, par l'Entreprise Valérian de Courthézon (Vaucluse), d'abord à l'aide d'une pelle RH 5 Orenstein-Koppel chargeant des camions Deutz Magirus qui amenaient les alluvions jusqu'à la station de traitement des granulats, puis, lorsque la cadence des bétonnages s'intensifia, par une chargeuse Caterpillar 988, à godet de 4 m³, alimentant une flotte de 8 à 9 camions Deutz Magirus et International.

La capacité d'extraction et de transport de cet ensemble est de l'ordre de 40 000 m³ de tout-venant par mois.

Vue générale du chantier montrant, sur la rive droite, à l'amont du barrage, la prise d'eau et, à l'aval, l'usine.
(Photo R.A.M.)

Ci-contre : **Le Paydozer Hough D 120 C à châssis articulé et à quatre roues motrices. Cet engin dispose d'un rayon de braquage de 7,64 m à l'arête de la lame et de 6,80 m à la roue arrière. La capacité de la lame est de 20 m³. La puissance du moteur diésel assurant la propulsion est de 375 HP.** Ci-dessous : **une batterie de criblage et de concassage primaire (cribles Dragon VN 90 L3, concasseurs à mâchoires double effet Bergeaud Duplex 43).**

(Photos R.A.M.)



LA STATION DE PRÉPARATION DES GRANULATS

L'INSTALLATION de préparation des granulats est implantée sur le plateau dominant la rive droite de la gorge de l'Ain, à la cote moyenne (510), sensiblement au droit du barrage. Sa capacité de production est de 250 t/h en exploitation normale avec une possibilité de pointes à 300 t/h.

Elle comporte deux chaines identiques juxtaposées, ayant seulement en commun les appareils de correction, classification des sables fins et les bandes transporteuses de répartition.

Chaque chaine comporte :

— **un dispositif de réception et de régularisation du tout-venant,** alimenté par une trémie de 50 m³, chargée par un pousseur Hough D 120 C à châssis articulé, et par un extracteur Boyer SBT 10 à débit variable de 66 à 200 t/h qui assure la régularisation du débit de l'ensemble de l'installation.

— **un ensemble de débourbage.** — Les produits sont repris, sous l'extracteur, par un tapis de 800 mm qui alimente l'ensemble de débourbage. Celui-ci comprend :

  — un tube débourbeur Neyrpic Roloflux A 24 - 75, de 2,40 m de diamètre et 8 m de long, monté sur pneumatiques et fonctionnant à contre-courant.

En annexe à ce débourbeur des appareils de récupération des sables :

— un bassin de décantation pyramidal avec surverse dans un bassin de reprise commun aux deux chaînes ;

— un hydroséparateur Unitec de 2,80 m de diamètre, dans lequel les eaux chargées sont amenées par une pompe de dragage Wemco 6 C 66 ;

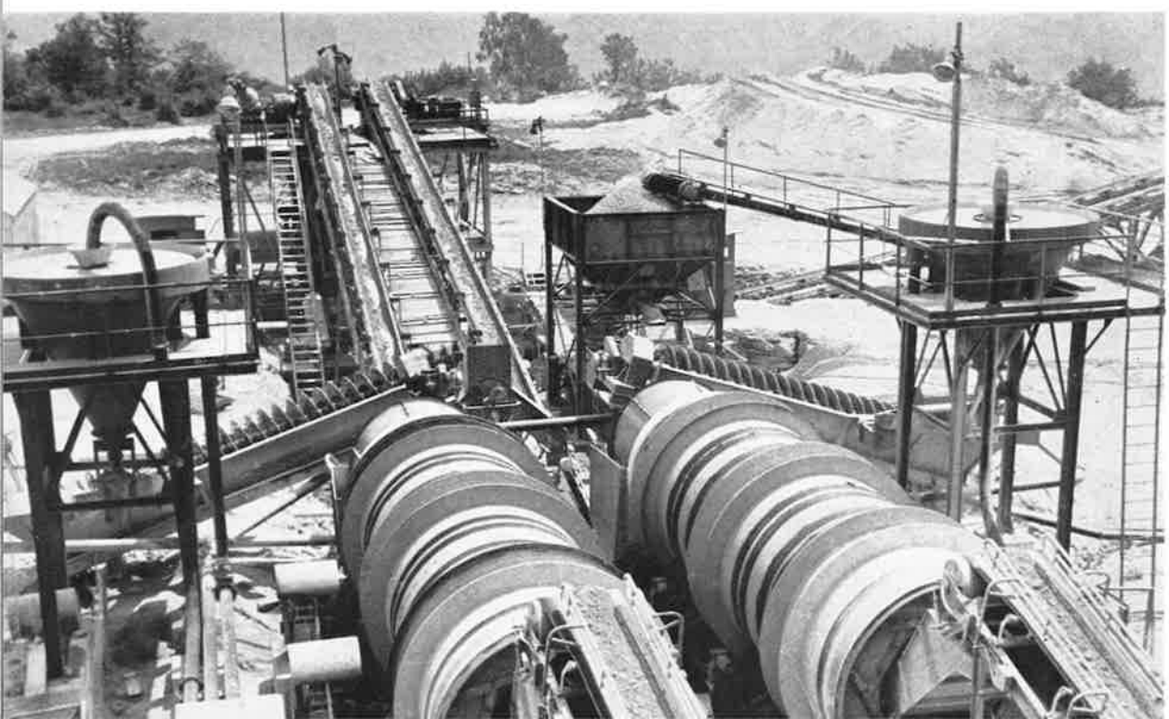
— une vis d'Archimède qui assure l'essorage des sables récupérés de façon à les rendre transportables par le tapis transporteur.

— **un ensemble de criblage et de concassage primaire** qui reçoit le tout-venant 0/300 mm et qui retient pour concassage les éléments supérieurs, la granulométrie de 125 mm. Il comporte :

  — un crible Dragon VN 90 - L 3 (900 × 3 000) du type suspendu, équipé d'une grille à mailles carrées de 100 mm.

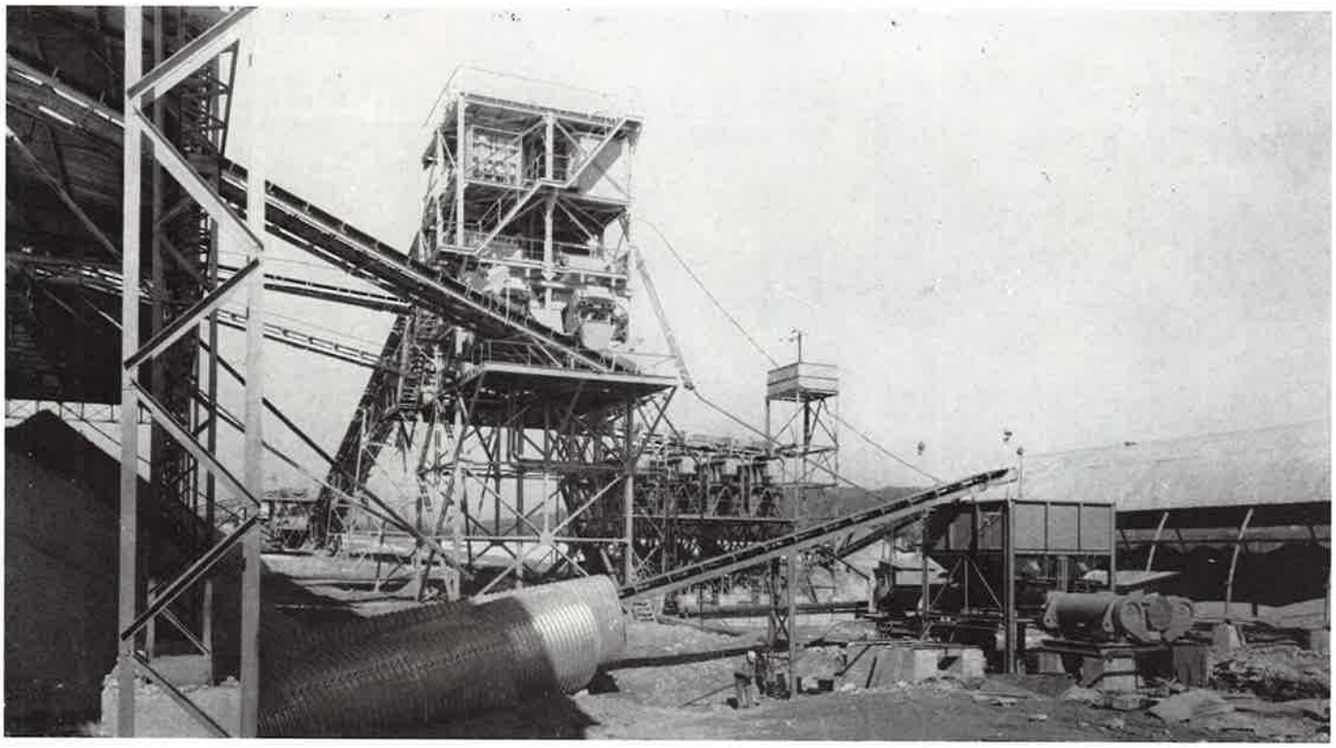
  — Un concasseur à machoires double effet Bergeaud Duplex 43, réglable entre 30 et 100 mm (ouverture 575 × 350).

— **un ensemble de criblage et de lavage secondaire,** dont les organes sont groupés dans une tour commune aux deux chaînes



Ci-contre : **L'ensemble de débourbage : les tubes débourbeurs Neyrpic Roloflux ; les hydroséparateurs Unitec, les vis d'Archimède.**

(Photo R.A.M.)



et qui assure le classement des granulats 0 à 125 mm, les produits classés étant dirigés vers les stocks ou vers l'installation de traitement des sables fins.

Chaque chaîne est équipée des appareils suivants placés en série :

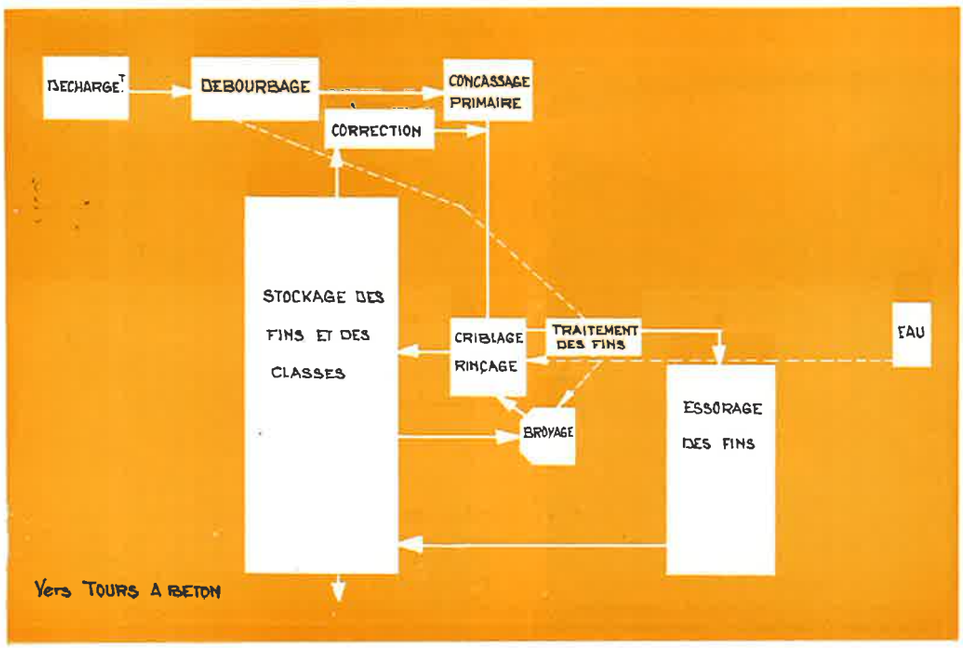
— un crible vibrant Dragon VN 125 × 300 avec une grille à mailles carrées de 35 mm balayée par une rampe de lavage haute pression ;

— un crible vibrant Dragon VN 150 × 350 à deux claies (mailles de 15 mm et mailles de 5 mm) ;

— un crible électromagnétique « Lamex » Fournier-Mouillon 1,10 × 3 m muni d'une grille à fissures pour criblage à 1,6 mm.

Les produits classés et lavés de l'installation sont repris par quatre transporteurs de 650 mm et mis en stock en quatre catégories :
— 1,6/6 — 6/20 — 20/40 — et 40/125.

Les eaux provenant de l'essorage au crible électromagnétique des sables 1,6/6 sont reprises et envoyées avec les eaux de lavage à l'installation de classification des sables fins.



Le hangar de stockage

Les produits lavés et classés sont stockés sous un hangar en charpente métallique couvert et bardé en tôles ondulées galvanisées, en quatre tas de 1 000 m³ par l'intermédiaire de transporteurs à répartition.

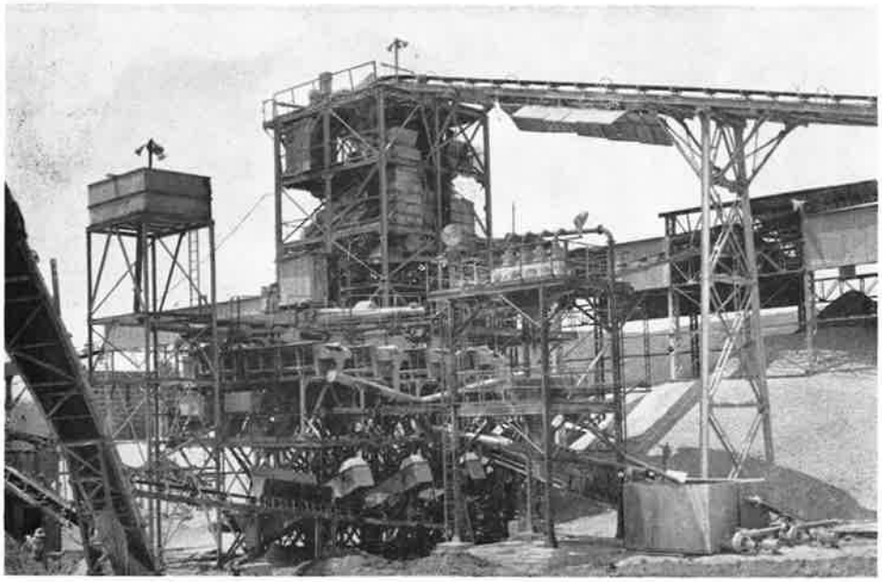
Sous les tas, sont disposés longitudinalement deux tunnels de reprise en tôles ondulées cintrées Armco.

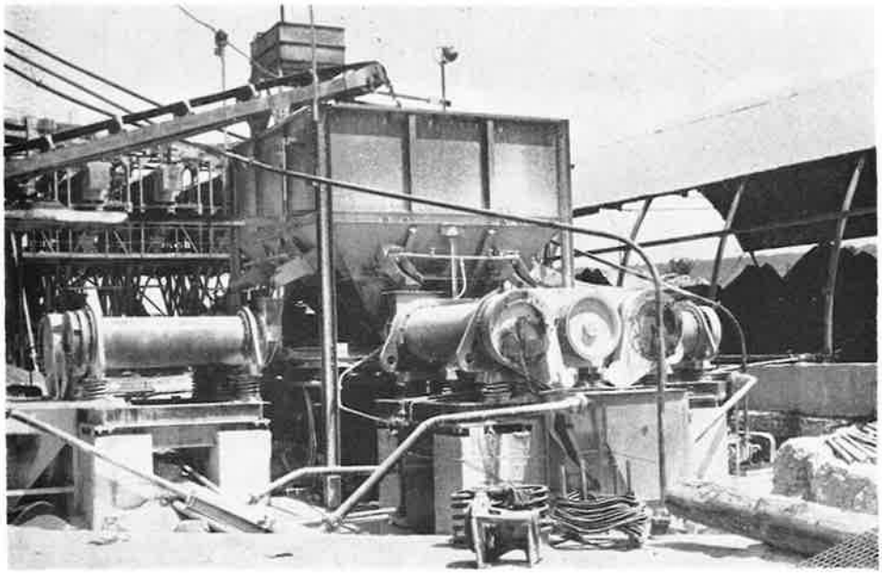
Le premier tunnel abrite deux transporteurs d'alimentation des tours à béton, d'une capacité unitaire de 200 t/h, alimenté par des distributeurs télécommandés (distributeurs électromagnétiques Sinex F 44 D pour les produits gros, distributeurs Fourray 7 G 608 pour les sables). Les produits supérieurs à 40 mm peuvent être repris par un distributeur électromagnétique Sinex F 33 D sur un transporteur placé à l'opposé de la sortie des transporteurs vers les tours pour être envoyé à la station de correction. Ce tunnel assure également la reprise des sables fins 0,1/1,6 mm stockés dans un silo fermé de 800 m³ placé à l'extrémité aval du hangar.

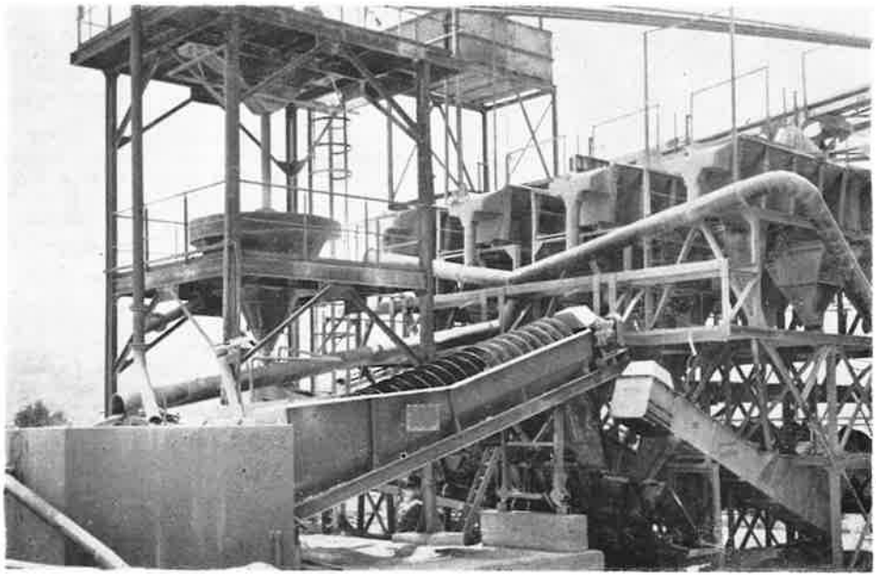
Le deuxième tunnel, placé parallèlement au premier, alimente la correction en produits excédentaires 6/20 et 20/40 par deux distributeurs électromagnétiques Sinex F 33 D. Il donne également passage au transporteur alimentant en 6/20 la station de broyage de sable fin.

En haut de la page : **Vue d'une partie de la station de traitement des agrégats : de gauche à droite, le hall de stockage des granulats, la tour de criblage et de lavage, la station de traitement des sables fins et le hall de stockage des sables.** — Ci-contre : **Schéma d'implantation des différents postes de la station de traitement et de stockage des agrégats.**

(Photo R.A.M.)







La station de correction

Une correction sur les graviers 20/40 et 6/20 est installée. Les excédents de ces produits sont traités par deux broyeurs giratoires rapides à cône Bergeaud-Symons 3', tête courte et bol fin, réglés à 4 mm et d'un débit total de 24 t/h pour le 20/40 et 6/20.

Le débit de ces broyeurs est régularisé par des trémies de 20 m³ équipées de distributeurs électromagnétiques Sinex F 22 D et dont le niveau est réglé par des contrôleurs à rayonnement Précisméca.

La station de traitement des sables fins

Les eaux provenant de la tour de criblage-lavage présentent, pour un débit de 250 m³/h une concentration en sable 0/1,6 de l'ordre de 150 g au litre. Cet effluent, collecté dans un caisson tampon commun aux deux chaînes, descend par gravité dans un tuyau Ø 320 mm et il est réparti par un ensemble de partiteurs pour être traité par :

— quatre classificateurs Montagné (10 t/h) à deux catégories de réglage (0,1/0,4 et 0,4/1,6) ;

— quatre vis essoreuses Boyer GV 50, dont le rôle est d'abaisser aux environs de 15 % la teneur des sables classés pour permettre leur manutention par bandes transporteuses.

Les sables sortant de l'ensemble de classification sont stockés en tas à l'abri d'un hall couvert de 1 500 m³ pour égouttage. Ils ne sont repris que lorsque la teneur en eau est voisine de 8 %.

Le broyage des sables

La ballastière étant déficitaire en sables fins inférieurs à 0,6 mm une correction par broyeurs à barres a été installée pour permettre de compléter en éléments fins la catégorie 0,1/1,6.

Le broyage proprement dit des produits 1,6/6 ou 6/20 est assuré par quatre broyeurs vibrants Dragon Vibrotub 60 travaillant en voie semi-humide.

La pulpe sortant de chaque broyeur est reçue dans un bac de reprise où elle est pompée par une pompe de dragage Wemco 3 C 22 qui la refoule jusque dans l'installation de classification des sables broyés constituée par :

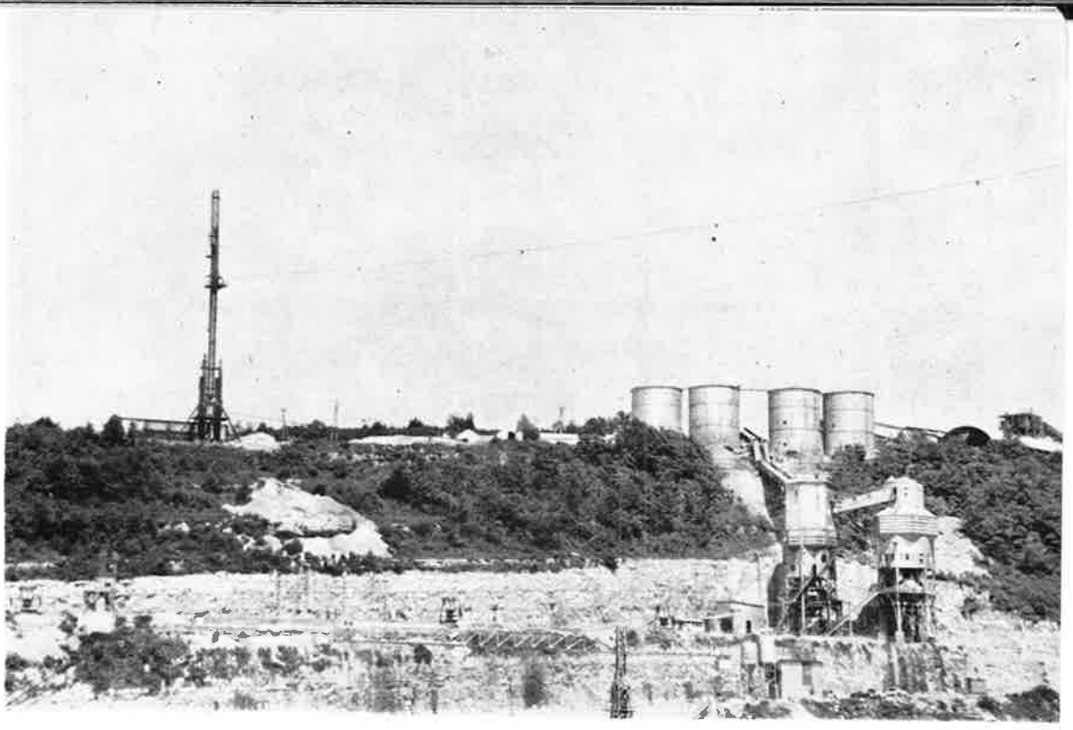
— quatre hydrocyclones Unitec Ø 250 (un par broyeur) ;

— un hydrocone Unitec Ø 2,00 ;

— une vis essoreuse décanteuse Wemco de 5,80 m, Ø 0,915.

Ci-contre à gauche (de haut en bas) : **La station de traitement des sables fins. — Les batteries de broyeurs vibrants Dragon Vibrotub 60. — L'installation de classification des sables broyés.**

(Photos R.A.M.)



Ci-contre : **Vue générale des centrales à béton. Les silos se trouvent au niveau de la station de traitement des agrégats dont on aperçoit les halls à l'extrême droite. A gauche le mat des blondins en rive droite.** — Ci-dessous : **Les deux centrales Fourray.** — En bas de page : **Les malaxeurs Nordest TB 2500 de la centrale n° 1.**
(Photos R.A.M.)

LA FABRICATION DES BÉTONS

LES ciments servant à l'élaboration des bétons pour la construction des différents ouvrages de Vouglans, proviennent de la Cimenterie de Champagnole. En raison de la catastrophe qui endeuilla cette entreprise voici quatre ans et l'obligea à changer de carrière, le ciment de Champagnole est fait avec un clinker provenant de l'usine Lafarge du Val d'Azergues. Il s'agit d'un C.P.A.C. 325 à 20 % de cendres, celles-ci provenant de la centrale de Chalon. Le broyage et le dosage sont faits à la cimenterie de Champagnole.

Le ciment est livré en vrac et stocké dans quatre silos cylindriques de 10 m de diamètre et de 12,50 m de hauteur, représentant une capacité de stockage de 4 800 tonnes, correspondant à la consommation d'une période de trois semaines. Ces silos, à fond plat reposent sur une forme en béton équipée d'aéroglissières permettant la reprise intégrale du stock.

LES CENTRALES A BÉTON

LES bétons sont fabriqués dans deux centrales Fourray jumelées, implantées à la cote (450), légèrement à l'amont du barrage. L'une d'entre elles est affectée au bétonnage du barrage, l'autre au bétonnage de l'usine et des ouvrages annexes ; cette dernière est conçue de façon à pouvoir renforcer la production de béton de barrage.

Les deux centrales sont du type « tour à gravité ». Elles sont équipées de six trémies à granulats entourant un silo à ciment concentrique.

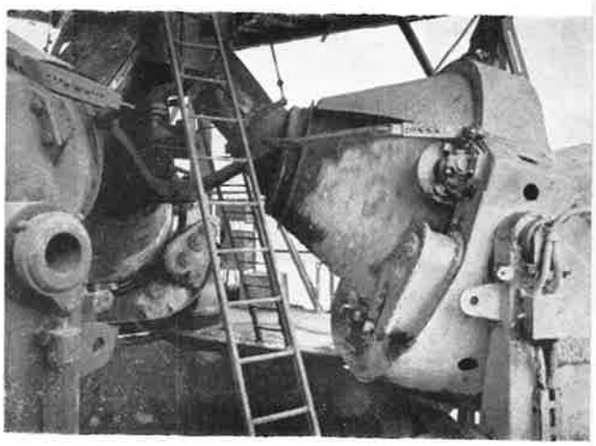
La centrale n° 1 dispose d'une capacité de stockage de 330 m³ de granulats et de 50 t de ciment. Elle est équipée de trois malaxeurs Nordest TB 2 500 donnant des gâchées de 1,5 m³ de béton vibré. Son débit industriel en marche automatique est de 90 m³/h.

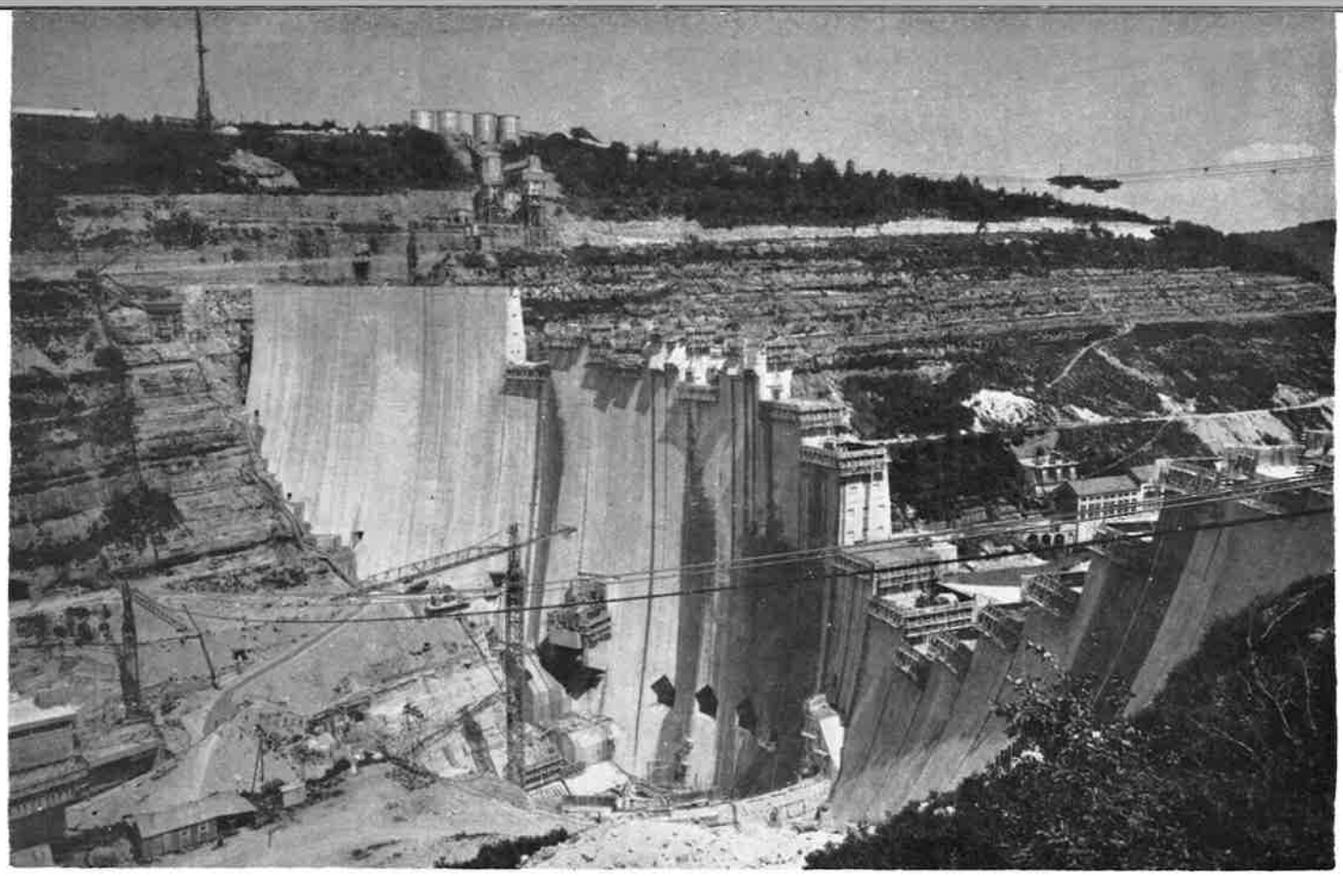
La centrale n° 2 a une capacité de stockage de 162 m³ de granulats et de 30 t de ciment. Elle est équipée de deux malaxeurs Fourray à tambour basculant de mêmes caractéristiques que ceux de la centrale n° 1. Son débit industriel en marche automatique est de 60 m³/h.

L'alimentation des malaxeurs s'effectue après dosage automatique par cellule photoélectrique en tête de bascule. Un dispositif de dosage d'adjuvant est annexé à chaque tour.

Les deux tours sont équipées d'une installation de chauffage des granulats par circulation de vapeur dans des tuyaux tapissant les compartiments des silos. Cette installation, en cas de gel réchauffe les granulats de — 5 à + 20° permettant ainsi le bétonnage à cadence réduite par temps froid.

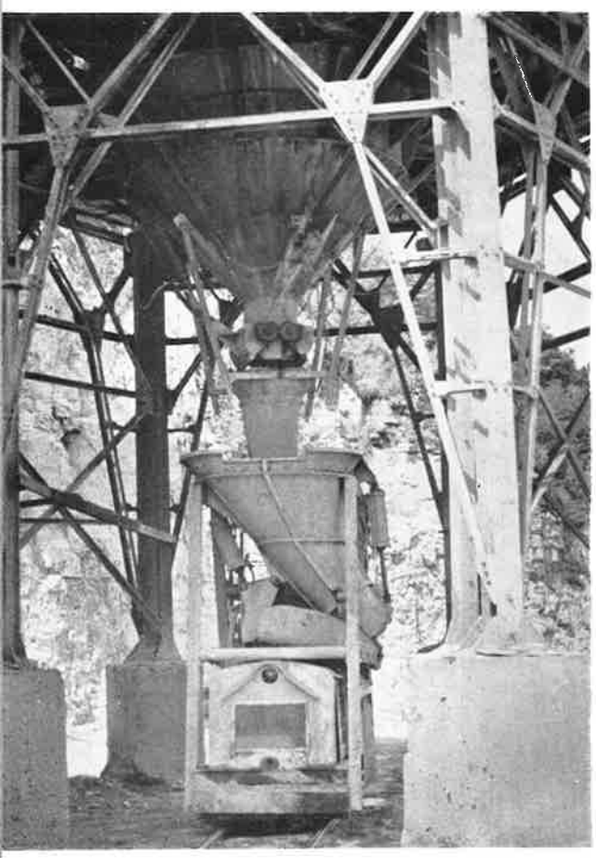
Les centrales sont alimentées en granulats par deux transporteurs de 650 mm d'un débit de 200 t/h qui les relient à la station de traitement des agrégats et, en ciment par un réseau d'aéroglissières Sertac.





Ci-dessus : **Vue montrant l'implantation des centrales à béton par rapport au chantier du barrage.** — Ci-dessous : **Chargement d'un silobus à la centrale n° 1.**

(Photos R.A.M.)



LES BÉTONS DU BARRAGE

LA courbe de référence choisie pour les bétons du barrage est une courbe Bolomey A = 11 avec diamètre maximum des plus gros agrégats D = 80 mm, la granulométrie interne des sables obtenus par mélange 0,1/1,6 et 1,6/6 étant voisine du fuseau imposé par le maître d'œuvre.

Le dosage en ciment est de 225 kg/m³ pour les bétons en grande masse et de 300 kg/m³ pour les bétons armés, ceux-ci ne représentant que 2,5 % de l'ensemble de l'ouvrage.

Il est incorporé à tous les bétons un adjuvant constitué par le mélange d'un plastifiant (Pozzolith 8) et d'un entraîneur d'air (Pozzolith Micro Air 114).

La composition la plus courante des bétons de masse du barrage a été la suivante, pour un mètre cube :

— granulats 40/80 . . . . . 464 kg
— granulats 20/40 . . . . . 491 kg
— granulats 6/20 . . . . . 516 kg
— sables 1,6/6 . . . . . 228 kg
— sables 0,1/1,6 . . . . . 507 kg
— ciment C.P.A.C. . . . . 225 kg
— eau . . . . . 119 kg
— solution contenant l'adjuvant . 3,8 litres

Le rapport $\frac{E}{C}$ fut en moyenne de 0,50

545 000 m³ de béton ont été mis en œuvre pour la construction du barrage, ainsi que 1 600 tonnes d'armatures, dont 75 % en acier doux, principalement dans les vidanges et les évacuateurs de crues.

Les bétons contrôlés par le laboratoire installé par E.D.F. sur le chantier ont été très réguliers. Leur résistance moyenne imposée est de 200 kg/cm² à 7 jours, 330 kg/cm² à 28 jours et 415 kg/cm² à 90 jours.

Un dispositif comprenant 280 sondes thermiques a été installé, en cours de bétonnage des plots, pour mesurer les températures internes et déterminer leur gradient.

Les maxima enregistrés ont été d'environ 41-42° en été et de 35° au printemps.

Les hivers n'ayant pas été très rigoureux pendant la construction des ouvrages, les arrêts de bétonnage furent assez rares. Diverses dispositions avaient été prises pour bétonner même par temps froid : stockage de 40 000 m³ d'agrégats, soit deux mois de bétonnage ; chauffage des agrégats au niveau des tours dont la capacité des silos donnait 3 heures de fonctionnement ; protection des bétons, mis en place par des plaques de polystyrène expansé qui permettait d'avoir, pour une température extérieure de — 10°, une température de + 4° à la peau du béton.

Pour éviter, en période d'été, une trop forte augmentation de la température du béton en grande masse et diminuer ainsi les contraintes du fait du gradient, une expérience de réfrigération des bétons par adjonction de glace broyée pendant le malaxage fut tentée. On espérait ainsi abaisser de 8 à 10° la température du matériau à la sortie de la centrale.

La glace était livrée en pains depuis Lyon, broyée en neige par deux broyeurs Reuter d'un débit de 5 t/h, reprise sous le broyeur par un tapis alimentant une bascule assurant le pesage.

Cette neige devait replacer une fraction de l'eau ajoutée. Mais on s'aperçut bientôt des inconvénients de la solution :

— la glace collant dans la bascule, la quantité d'eau versée dans les malaxeurs variait d'une gachée à l'autre tantôt par insuffisance tantôt par excès dans des proportions trop importantes pour maintenir la régularité des bétons.

— en outre, il est indispensable de maintenir une certaine quantité d'eau au fond des bétonnières (environ 20 l au m³), ce qui réduisait d'autant le volume d'eau ajoutée sous forme de glace pilée.

En fait, la diminution de température observée ne dépassa jamais 3° C et l'on estima que ce résultat ne compensait pas les inconvénients dus à l'irrégularité du E/C du béton.

Cela ne signifie pas que la solution ait été mauvaise. Mais elle suppose une centrale spécialement conçue, la fabrication de la glace sur place et son introduction dans le malaxeur sous forme de copeaux.

LA MANUTENTION DES BÉTONS

LES bétons du barrage sont mis en place par un ensemble de trois blondins radiaux Heckel, d'une charge utile au crochet de 6 t et dont les vitesses de travail sont de 6 m/s pour la translation et de 2 m/s pour le levage et la descente.

Les trois blondins ont un point fixe commun, implanté sur le plateau de la rive droite à la cote (495), à proximité de la station de préparation des agrégats. Les circulaires sont construites en rive gauche à deux niveaux différents (451,50) et (532), ce qui permet au blondin supérieur de coiffer les deux inférieurs. Ce dispositif a été choisi pour faciliter les manœuvres de coffrages et les manutentions diverses en réduisant au maximum les pertes de temps et les perturbations de bétonnage.

Les deux blondins inférieurs assurent le bétonnage. Ils couvrent pratiquement la totalité de l'emprise du barrage à l'exception des trois premiers plots de rive droite qui seront bétonnés à l'aide d'une grue Weitz X 1331, implantée précédemment à l'amont de l'usine.

La portée des deux blondins inférieurs est de 530 m, la hauteur de levage de 145 m.

Le blondin supérieur a des caractéristiques identiques aux blondins inférieurs, mais sa portée est de 684 m. et la hauteur de levage de 195 m.

Les trois blondins sont commandés à partir d'une tour à trois cabines où se trouvent les organes de contrôle. Les trois opérateurs sont en liaison radiotéléphonique avec les chantiers des plots du barrage.

Le béton est transporté des tours à béton aux bennes « Gar Bro » de 2,2 m³ à casques commandés par vérins à air comprimé qui équipent les trois blondins, par des silobus de 2,2 m³ de capacité, équipés de moteur Deutz de 45 CV. Ces silobus circulent sur un réseau de voies métriques au niveau (453). Ils chargent directement les bennes qui restent fixées aux crochets des blondins.

Pour les plots qui se trouvent en dehors de l'emprise des blondins la grue Weitz W 1331 mise en service prendra directement le béton aux silobus qui se trouveront dans l'aire d'évolution de sa flèche de 40 m.

L'accès du personnel sur les plots est facilité par un ascenseur « Multilift » installé en rive droite entre la cote (360) et le couronnement.

Les bétons des autres ouvrages sont transportés à pied d'œuvre par une flotte de sept truck-mixers comprenant deux Richier de 6 m³ sur camion Mack, deux Vogele de 4 m³ sur camion Magirus, un Vogele de 4 m³ sur camion Berliet et un Rex Hunnebeck de 4 m³ sur camion Berliet. Deux hydroskip Sambron de 900 l fonctionnent en complément.

Leur mise en place s'effectue :

— pour les ouvrages extérieurs de l'usine, à l'aide de :

Ci-dessus : **Deux truck-mixers utilisés par l'Entreprise Industrielle pour le transport des bétons :** en haut, **un truck-mixer Vogele de 4 m³ sur Magirus ;** en bas, **un truck-mixer Richier de 6 m³ sur Mack.**
(Photos R.A.M.)

— une Weitz X 1331 (portée 4,5 t à 35 m), à l'amont.

Cette grue sera ensuite utilisée pour le bétonnage des plots extrêmes de la rive droite du barrage ;

— une grue Weitz X 1266 (portée 2,5 t à 30 m), à l'aval ;

— pour la partie souterraine de l'usine ainsi que les galeries et les autres ouvrages souterrains, par :

— un pont roulant provisoire muni d'un palan de 5 t, puis les ponts roulants définitifs de l'usine ;

— des transporteurs pneumatiques Placy ;

— pour les prises d'eau, par une grue Weitz X 1331 (portée 3,5 t à 40 m) desservant l'ensemble des deux puits de prise d'eau et des entrées d'eau ;

— pour le batardeau aval et le bassin d'amortissement, par une grue Weitz X 1425 E (portée 6 t à 50 m, hauteur sous crochet 65 m).

Ci-contre : **Poste de chargement des bennes des blondins par les silobus.**

LA CONSTRUCTION DU BARRAGE

L'ENCASTREMENT du barrage dans son assise rocheuse varie, dans le plan vertical, de 5 à 13 m du fait de la disposition des bancs des rives en marches d'escalier.

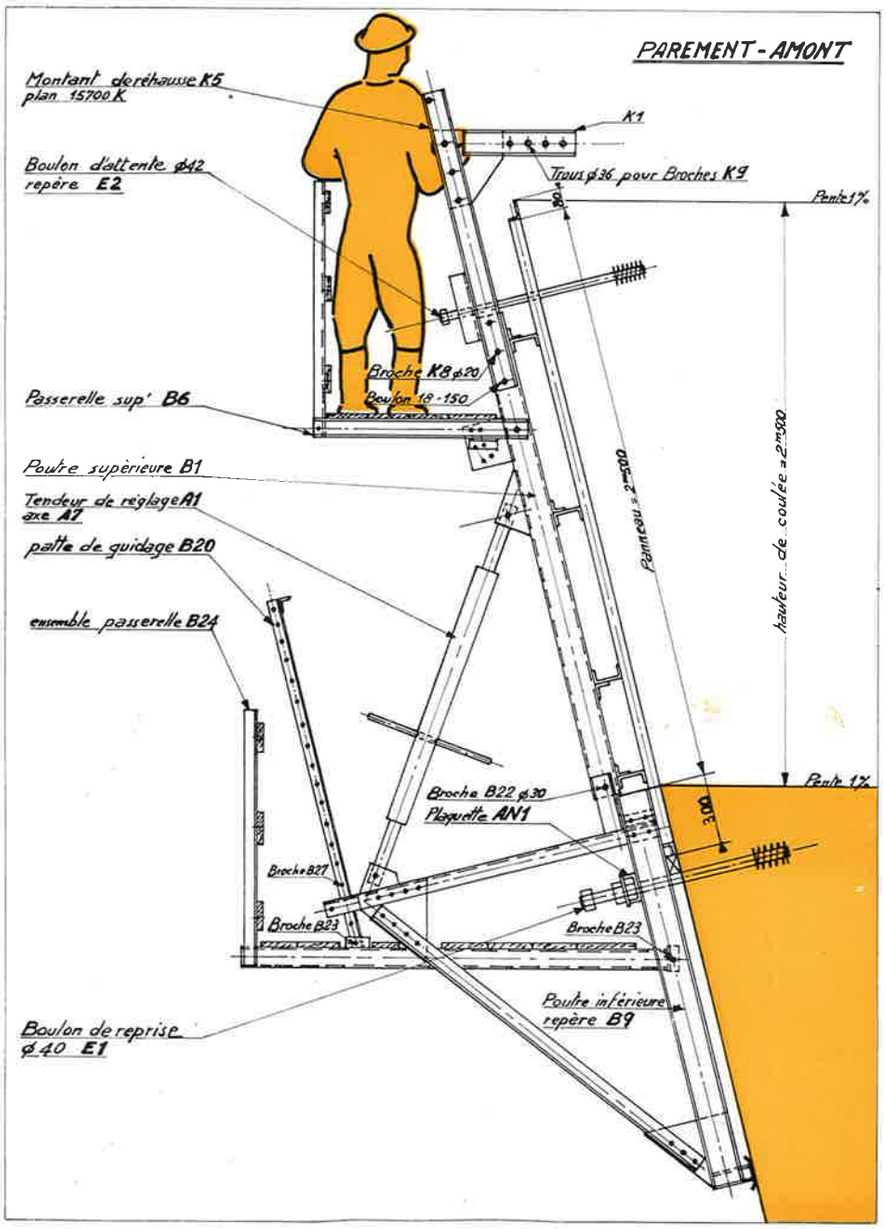
L'ouvrage construit en 29 plots de 13,50 m de largeur et deux massifs d'extrémité.

Au lieu de l'exécuter en créneaux, ce qui aurait imposé de mettre en œuvre autant de jeux de coffrages que de plots, l'Entreprise Industrielle, compte tenu de la conformation de la gorge, proposa de construire le barrage en V, dans un axe décalé de trois plots, vers la rive gauche, par rapport à l'axe du barrage et limité, vers cette rive, par le batardeau.

Cette solution, admise par le Bureau d'Etudes Coyne et Bellier, devait par la suite s'imposer du fait de l'importance des déroctages à accomplir dans la rive gauche. Elle présenta l'avantage de ne nécessiter la mise en œuvre que de 17 jeux de coffrages et d'adapter de façon constante les tâches de coffrage aux cubes de béton mis en œuvre d'où une courbe d'effectifs régulière permettant une meilleur gestion du chantier.

LES COFFRAGES DU BARRAGE

LES coffrages des parements et joints du barrage sont du type semi-glissant. Le bétonnage des plots du barrage s'effectue par levée d'une hauteur de 2,50 m, le béton étant mis en place par couches ayant au plus 0,50 m d'épaisseur. L'exécution d'une levée est continue sur toute la surface d'un plot, sans reprise dans l'épaisseur.



Les coffrages des parements et joints de l'ouvrage sont du type semi-glissant métallique Blaw-Knox.

En raison de la forme du barrage-voûte à arcs non circulaires et parements à double courbure d'un rayon supérieur à 50 m — il était nécessaire de prévoir pour les parements un coffrage ajustable tant en développement qu'en élévation d'une levée sur l'autre.

Aussi les **coffrages de parements** sont-ils ainsi conçus :

Les éléments coffrants sont formés de panneaux de largeur 0,50 m et de hauteur 2,50 m, assemblés entre eux par boulons pour réaliser des banches standard de largeur 3 m. Ces banches sont raidies horizontalement par quatre profilés en U. Elles sont séparées par des panneaux intercalaires ajustables qui permettent, d'une part, le réglage en largeur des différents parements et, d'autre part, la mise en forme de ces parements, les éléments ajustables pouvant prendre une forme trapézoïdale.

Chaque banche de 3 m de longueur est supportée verticalement par deux poutres, chacune de ces poutres comportant deux consoles destinées à recevoir un platelage formant passerelle de travail.

Les consoles sont orientables par rapport aux poutres dans le but de rester en position horizontale quelle que soit l'inclinaison des poutres.

Chaque poutre verticale est constituée d'une partie fixe ancrée dans le béton précédemment coulé par boulons récupérables avec ancrage noyé (du type MHBK) et d'une partie articulée. Ce dispositif permet un réglage facile et rapide des coffrages à partir de la passerelle inférieure au moyen d'un tendeur à vis.

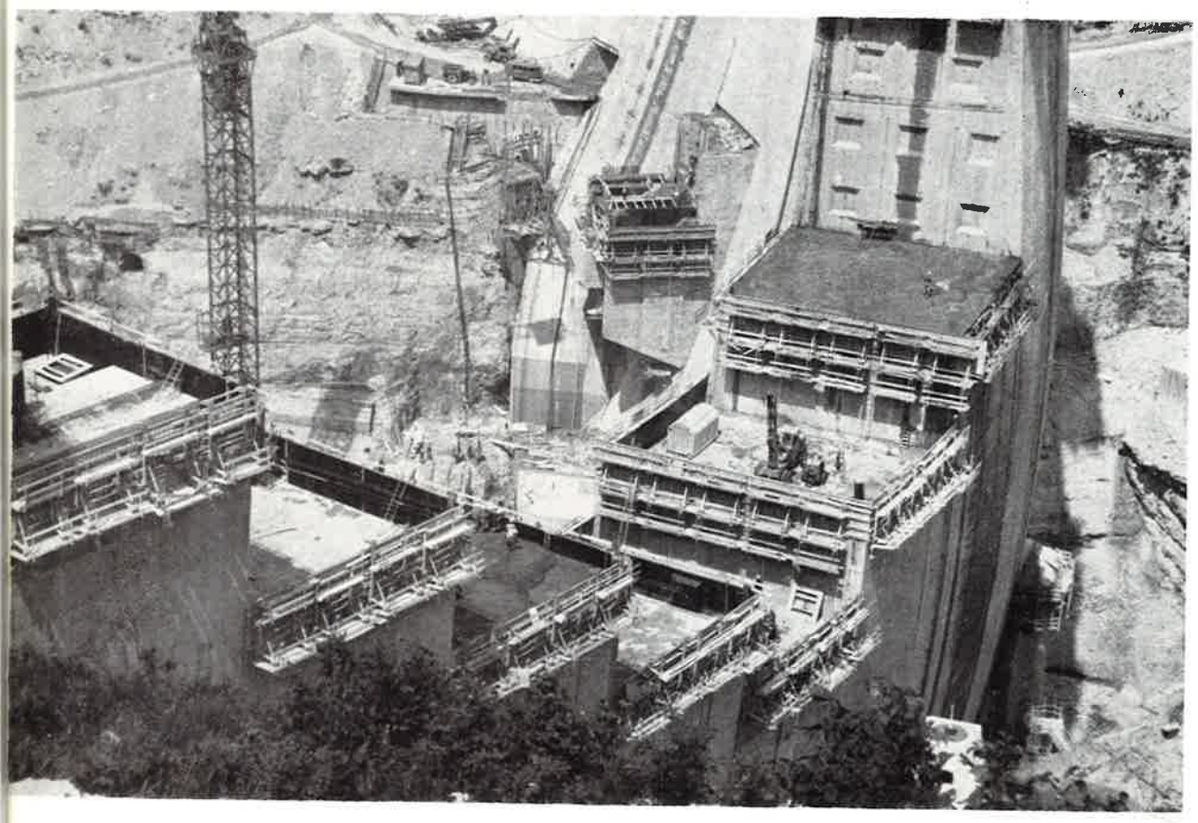
Ainsi, dans le plan vertical, les changements de pente s'effectuent-ils au niveau des panneaux de reprise. Ces panneaux sont serrés contre le béton de la coulée précédente par les parties inférieures des montants et les crapauds. La partie supérieure des montants, dont l'inclinaison est réglable par le tendeur, donne la pente exacte du coffrage pour la nouvelle coulée.

Les **coffrages des joints** sont du même type que ceux des parements. Mais, les joints étant plans verticaux, il n'est plus nécessaire d'utiliser des panneaux ajustables et les poutres supports ne comportent plus de partie articulée.

Les manœuvres de relevage, tant des coffrages de parements que des coffrages de joints sont effectués par longueurs complètes sans aucun démontage à l'aide de grues automotrices Haulotte (force de levage 3 t) transportées sur les plots à l'aide des blondins.

Le **bétonnage des déversoirs** de l'évacuateur de crues nécessite des dispositions particulières :

Coupe verticale d'un coffrage de parement métallique, semi-glissant Blaw-Knox, en position de coffrage dans le cas maximum de surplomb rencontré exceptionnellement à la base des plots du centre du barrage.



Ci-dessus : **Le bétonnage des plots. On remarque, sur le plot du centre, la grue automotrice Haulotte utilisée pour la mise en place des coffrages.** — Ci-dessous : **Schéma de la phase de bétonnage d'une des passes de l'évacuateur de crues.**
(Photo R.A.M.)

— les piles ont été bétonnées avec des coffrages spéciaux en bois,

— le seuil a été coffré en totalité :

Pour le pont-route, on a procédé de la manière suivante :

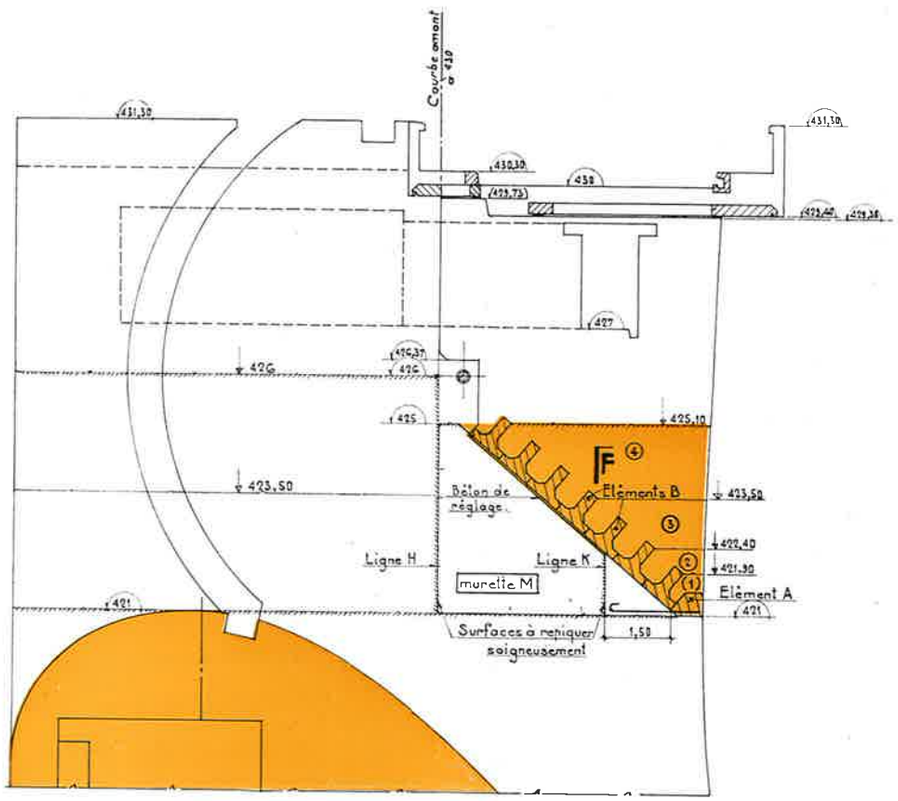
— à l'amont, le bétonnage s'est opéré à l'aide de coffrages Blaw-Knox en porte-à-faux ;

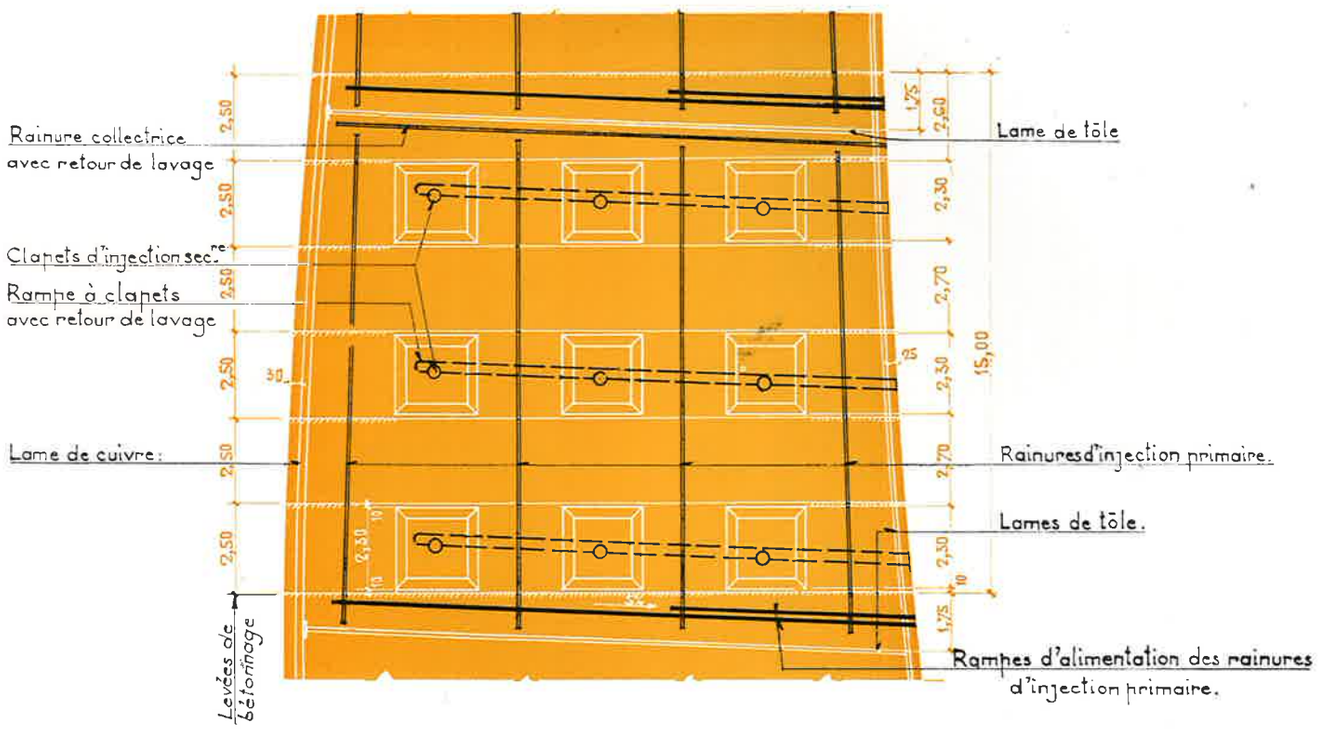
— à l'aval, on a utilisé des éléments préfabriqués afin d'éliminer tout coffrage en encorbellement.

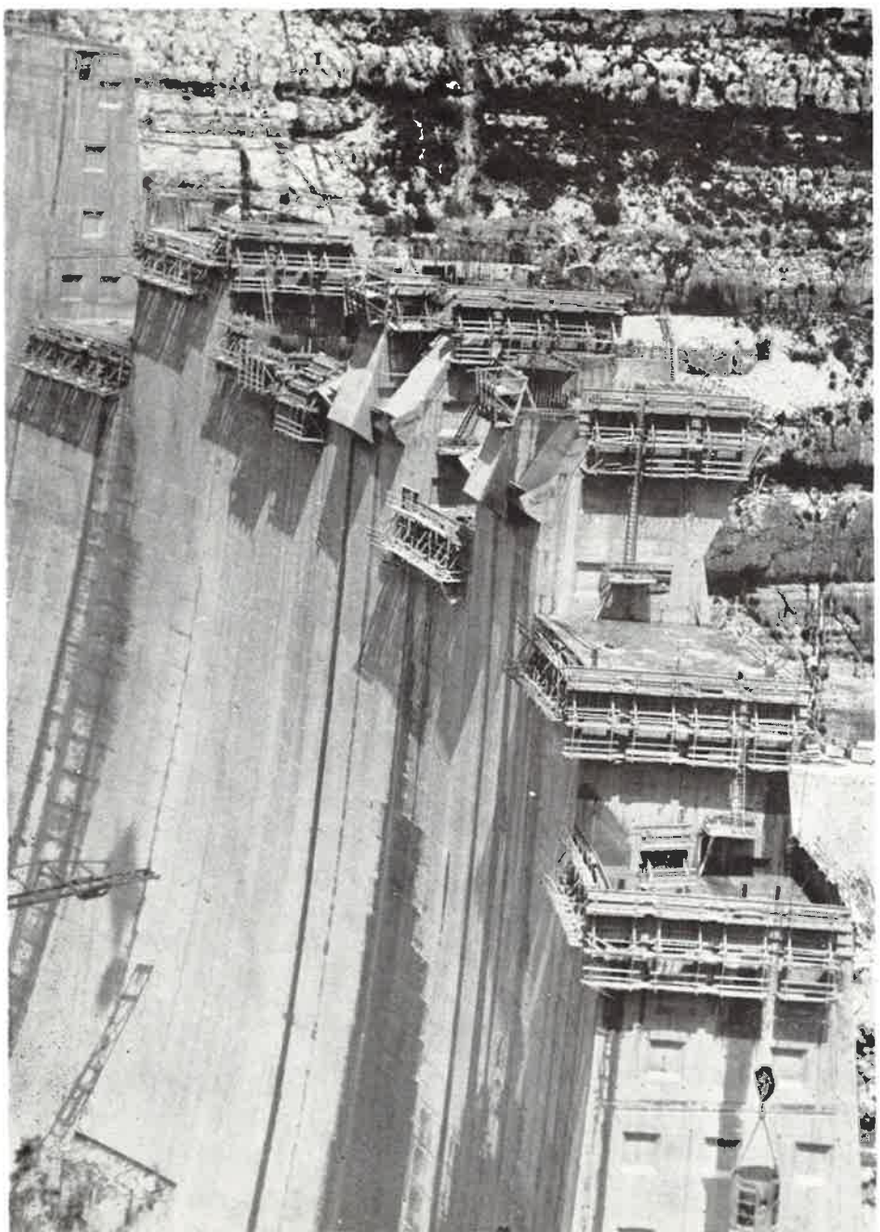
Deux murettes de 0,50 m d'épaisseur ont été construites dans le prolongement des parements des deux piles encadrant la passe. Ces murettes ont une longueur de 3,50 m et sont en retrait de 2 m par rapport au parement aval. Elles ont une forme de trapèze, la grande base (côté amont) ayant une longueur de 4 m, la petite base (côté aval) une longueur de 1,25 m. La pente vers l'aval est de 35°.

Une poutre préfabriquée est posée le long du parement aval entre les deux piles et ancrée par une épingle de liaison ∅ 32, dans un béton coulé entre la face aval de la murette et la poutre. Puis des poutres en T préfabriquées, dont la première s'appuie sur la poutre de base, et qui reposent sur les murettes, sont mises en place pour former le coffrage inférieur du pont à bétonner. Le bétonnage s'effectue ensuite en quatre levées.

Mais, les joints du barrage sont dans l'axe des seuils et non dans celui des piles. Aussi les éléments préfabriqués de base comportent-ils en leur milieu une amorce de rupture, les autres n'ayant que la longueur d'un demi-pertuis et étant séparés par un joint. De même le bétonnage s'opère par demi-pertuis avec un joint préfabriqué incorporé.







LA VIBRATION DES BÉTONS

Le béton déversé dans les coffrages du barrage est vibré à l'aide de pervibrateurs Vibratechniques à air comprimé de Ø 140 mm, dans la masse de pervibrateurs PTC 100 à air comprimé pour les parements. Un essai de vibration par un équipage composé de trois pervibrateurs fixés sur une lame de bulldozer n'a pas été concluant.

Trois pervibrateurs Vibratechniques 140 ont suffi pour vibrer les bétons de la moitié du barrage.

CLAVAGE ET ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS

L'ETANCHEITE des joints entre les plots est assurée par une lame de cuivre à l'amont et par une lame de tôle d'acier à l'aval, la lame de cuivre se trouvant incorporée dans la peau du béton du parement amont et à 30 cm de profondeur, la lame de tôle d'acier à 25 cm du parement aval.

Le clavage des joints est réalisé par compartiment de 15 m de hauteur. Dans chaque compartiment, ont été ménagées, une levée sur deux des boîtes-tenons de cisaillement de 2,30 m au carré et 0,30 m de profondeur.

En haut de la page : **Plan en élévation d'un compartiment de 15 m (six levées de 2,50 m) montrant les boîtes tenons de cisaillement et les différents réseaux d'injection de clavage.** — Ci-contre : **L'appareillage de clavage tel qu'il se présente dans le barrage.**

(Photo R.A.M.)

Le compartiment est parcouru par un réseau de rainures d'injections, formant un quadrillage autour des boîtes-tenons. Ce sont en bas et en haut du compartiment et à l'horizontale, les rampes d'alimentation des rainures d'injection primaire et la rampe collectrice et, à la verticale, les rainures d'injection primaire.

Les boîtes-tenons sont injectées par des rampes à clapets « Capitaine » permettant une réinjection de blocage. Ces clapets sont constitués par des pattes en caoutchouc fixées par une étrier à un té en fonte malléable raccordé à la rampe d'injection secondaire.

Lors de l'injection, le clapet cède à la pression du coulis, puis il se referme dès que l'injection cesse. La rampe disposant d'un retour de lavage, il est possible par la suite, de procéder à une réinjection à travers le clapet.

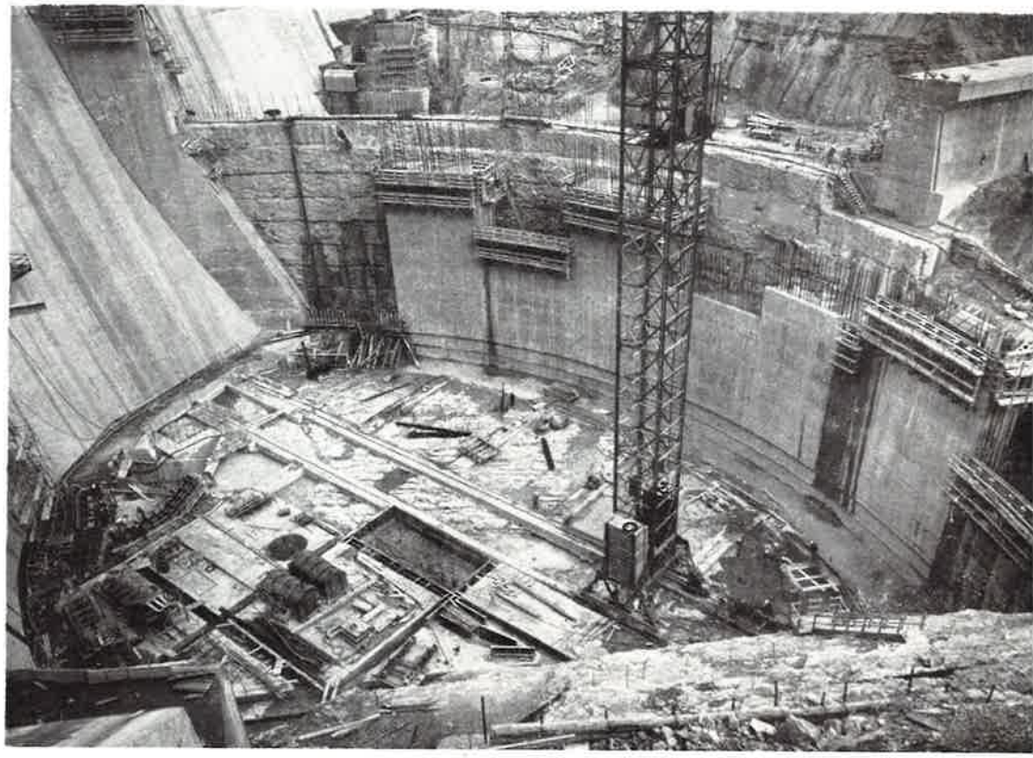
L'AUSCULTATION DE L'OUVRAGE

DIFFERENTS systèmes d'auscultation ont été disposés dans le barrage pour surveiller la tenue et pour en signaler d'éventuelles déformations.

Lors du bétonnage trois plots ont été équipés de séries de 9 sondes thermiques, placées tous les 20 m. Ces sondes sont disposées en croix : une au centre, puis symétriquement une à 0,50 m de chacun des parements de joints et, symétriquement vers l'amont et vers l'aval, une à 0,50 m du parement, une à 1,50 m et une à 3 m. Ces sondes ont pour objet de mesurer l'élévation de température du béton lors de la prise et d'en déduire le gradient.

Le barrage comprend cinq puits de pendules qui l'équipent sur toute sa hauteur. Les pendules y sont répartis en deux séries : du couronnement à la cote (370) et de la cote (370) au contact avec le rocher.

Il comprend également trois autres puits équipés de pendules inversés surveillant le contact béton-rocher par des sondages à 25 m dans les assises.



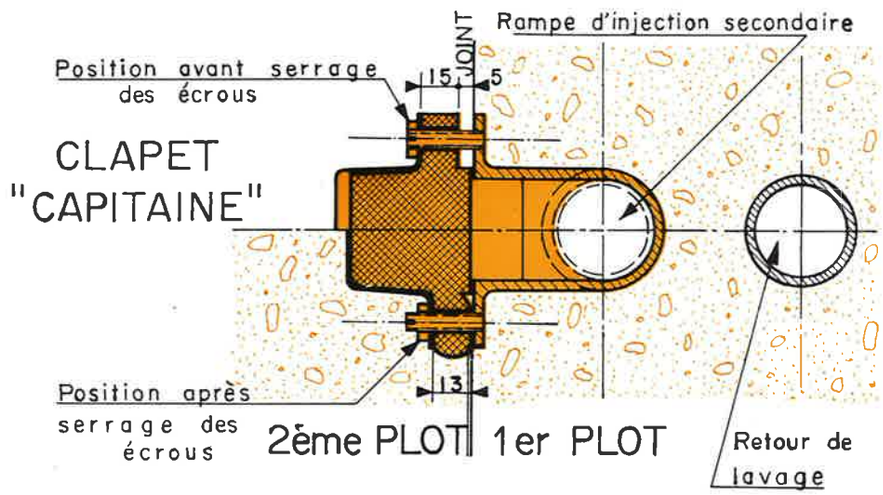
Construction du mur doublant la fouille Bioge et entourant le bassin d'amortissement.
(Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

La surveillance des déformations s'opère enfin depuis la berge par témoins optiques correspondant aux puits de pendules.

Dans le plan horizontal, l'auscultation du barrage est assurée par des fils de fondation, calés dans la galerie de pied amont et pénétrant de 2,5 ou 10 m dans le rocher.

Enfin 295 témoins sonores Télémac ont été répartis dans l'ouvrage. Ils sont reliés, dans la salle de contrôle installée en rive gauche, à un dispositif d'auto-mesure enregistrant sur une imprimante Addo X à 14 caractères et permettant une lecture directe par 18 tubes Nixies (affichage lumineux du repère du témoin, du jour, de l'heure et de la valeur de la mesure). Des témoins permettent en outre de suivre les affaissements du rocher et le nivellement des galeries de visite ménagées dans le barrage aux niveaux (427), (392,5), (370), et (348) par rapport au niveau 0 de référence et de mesurer l'ouverture des joints.

Schéma d'un clapet « Capitaine » équipant les rampes d'injection des boîtes-tenons



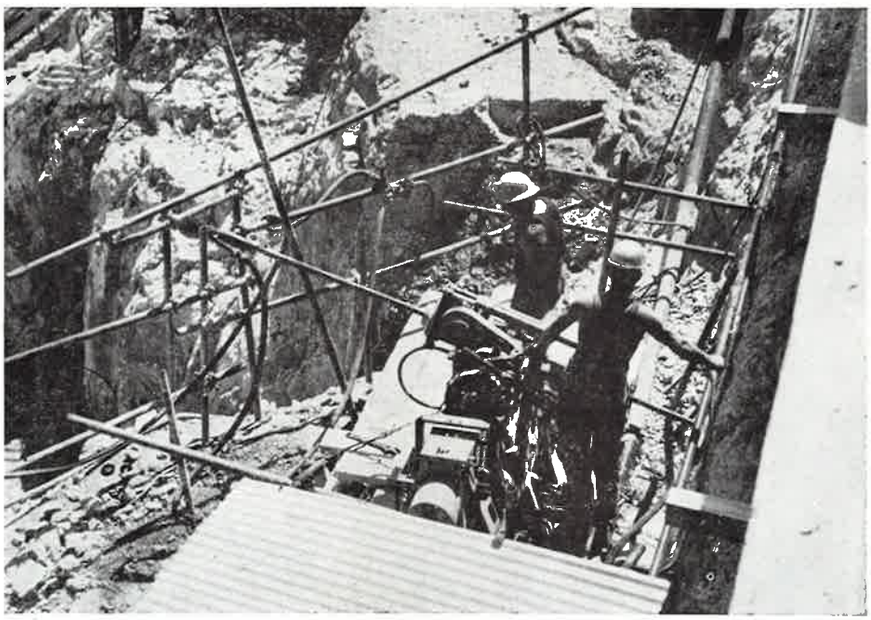
LE BASSIN D'AMORTISSEMENT

LA partie aval de l'enceinte délimitée par la fouille Bioge a été aménagée en bassin d'amortissement, après que l'épaisseur de la paroi blindée ait été doublée par un béton fortement armé.

Le radier du bassin d'amortissement repose, à la cote (305), sur le rocher en place d'excellente tenue. Ce rocher est protégé par un revêtement en dalles de béton armé de 1,20 m d'épaisseur.

L'ensemble du radier est ancré au rocher par un maillage de tubes « Perfo » disposés à la maille de 1,50 au carré et boulonnés à 11 m dans le rocher au pied du barrage et ailleurs à des profondeurs allant de 7 à 2,50 m. Une longueur totale de 15 000 m de tubes « Perfo » a été nécessaire pour l'ancrage du radier.

Dans la zone d'impact des jets des vidanges principales, le radier est protégé, sur une surface de 140 m², par un blindage en acier spécial « Creusabro 32 » de 18 à 20 mm d'épaisseur, posé en plaques de 12 m × 2 m soudées en place.



Ci-dessus : **Poste de forage de l'Entreprise Intrafor pour les injections dans l'appui de rive droite du barrage.** — En bas de page : **Schéma de principe des voiles et injections d'étanchéité.**

LE VOILE D'ÉTANCHÉITÉ ET LE RÉSEAU DE DRAINAGE

En raison de la destination de l'ouvrage il importait d'assurer une parfaite étanchéité du rocher, tant au droit du barrage qu'en prolongement des appuis, afin d'en éviter le contournement par les eaux de la retenue.

Un voile d'étanchéité, constitué de forages de Ø 70 mm injectés de coulis de ciment a donc été réalisé, dans ce but, par la Société Intrafor. Il est constitué par :

— une ligne de forages primaires longs, d'une profondeur de 80 m, distants de 20 m, définissant le voile profond,

— une ligne de forages primaires courts, d'une profondeur de 50 m, intercalés entre les forages longs et à 10 m de ceux-ci, définissant le voile dense.

— une ligne de forages secondaires, au niveau du voile dense intercalés entre les forages longs et les forages courts et équidistants de ceux-ci, soit à l'intervalle de 5 m.

Dans les zones de fortes absorptions, assez localisées, il a été procédé à des forages tertiaires, voir même quaternaires, qui ont réduit à 2,50 m et à 1,25 m le maillage des injections.

Dans chaque rive, un voile au large a été réalisé, en forme de tronc de cône, à l'extrémité des galeries forées dans le rocher, sur une longueur de 80 m environ, sensiblement dans le prolongement des galeries de visite du barrage et de part et d'autre de celles-ci.

Le voile dense est incliné de 20 à 40° vers l'amont, selon une pente variant de 4/3 (4 vertical pour 3 horizontal) dans les rives — ceci en raison de la présence des galeries de rives qui constituent le réseau drainant — à 2/1 dans le fond de la vallée.

Les voiles d'étanchéité ont recoupé quelques failles, mais n'ont pas rencontré de conduits karstiques.

Leur exécution a été réalisée de la façon suivante :

— forage à l'aide de sondeuses Craelius XCH 60 et XCH 90, avec carottage sur toute la hauteur ;

— essais de perméabilité, par tranches de 5 m et en remontant ;

— injection avec un coulis composé d'eau et de ciment, dans la proportion de 3 pour 1, avec adjonction de 10 % de bentonite. Dans les zones de grande absorption, soit à partir de 2 à 2,5 t la proportion eau-ciment était ramenée à 1 pour 1.

Les injections ont été effectuées à partir de deux centrales, l'une située en rive droite, sous les tours à béton, à la cote (435), l'autre en rive gauche, sur la route d'accès aux circulaires des blondins inférieurs, à la cote (346).

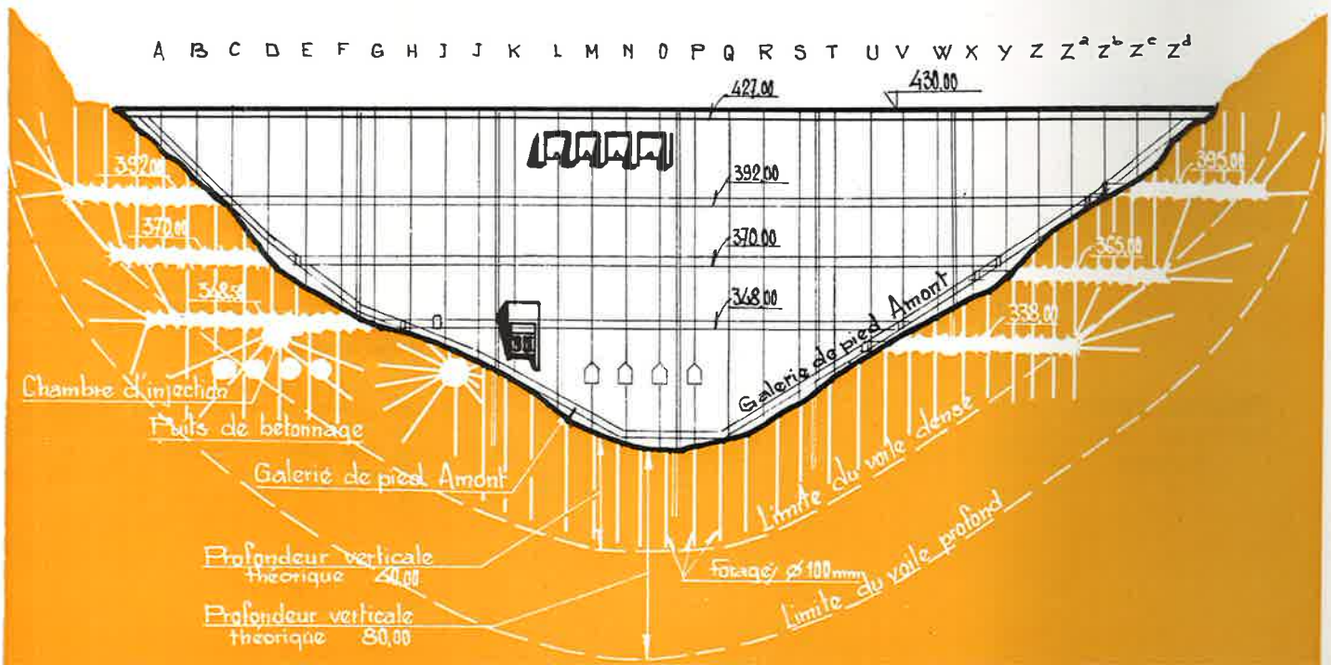
Chacune de ces centrales comprend un malaxeur à haute turbulence, une presse à air comprimé Bonne Espérance de 2" et des silos à ciments de 12 à 20 t.

Le ciment entrant dans la composition du coulis est le même que celui dont sont faits les bétons du barrage.

Les injections ont été exécutées à la pression de 30 bars.

Le réseau drainant est constitué par les trois galeries de rives citées ci-dessus et par une galerie de pied amont inscrite dans le barrage. Les galeries de rives sont calées à la cote au radier de (392), (370) et (348) en rive droite, et de (395), (365) et (338) en rive gauche. Elles sont reliées entre elles par des forages. Le voile drainant a pour objet d'éviter les sous-pressions sous les appuis. Il est distant de 10 m, vers l'aval, du voile d'étanchéité.

Au-dessus des conduites forcées, deux auréoles de 4 forages en parapluie ont été exécutées à partir de la galerie de drainage inférieure de rive droite.



Mise en place des viroles du blindage de la conduite forcée dans une galerie d'amenée.
(Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

LES CONDUITES FORCÉES

LE blindage des conduites forcées est constitué par des viroles de Ø 4,50 m et de 20 à 22 mm (B.V.S.). Livrées en éléments de 3,50 m de longueur, les viroles étaient soudées sur parc à la machine pour former des tuyaux de 10,50 m de long (montage S.D.E.M.). Ces tuyaux étaient transportés par la route qui donnera accès aux cabines des vidanges principales du barrage, jusqu'au dessus de la voûte de l'usine. Un mât de charge permettait de faire passer ces éléments, dont le poids est de l'ordre de 28 à 30 t, à travers la trémie ménagée dans la voûte ; puis, à l'intérieur de l'usine, ils étaient repris par un pont roulant provisoire, d'une puissance de 30 t, qui les amenait jusque devant chaque galerie d'amenée, dans laquelle chacun était soudé au précédent déjà en place, à la main.

Le blocage des blindages, s'est opéré tout d'abord par bétonnage avec un transporteur pneumatique Placy de 500 l. par tronçon de 10,50 m puis en trois injections de coulis de ciment :

— une injection de remplissage, à la pression de 4 bars ;

— une injection de collage tôle-béton, à la pression de 3,5 bars ;

— une injection de collage béton-rocher, à la pression de 7,5 bars.

Ces injections étaient effectuées à la presse à main.

LES PUITS DE LA PRISE D'EAU

EN raison de l'évolution des formes intérieures de la section des puits de la prise d'eau dans leur moitié inférieure et par le fait que la partie supérieure en est formée par des tours, différentes techniques ont été employées.

Les parties en puits ont été bétonnées, de bas en haut, à l'aide de coffrages spéciaux en bois, par levées variables en hauteur (environ 2 m), entre la base des puits et le niveau des entrées d'eau. Au-dessus des entrées d'eau, des coffrages annulaires ont été mis en œuvre. Le bétonnage s'effectuait à partir de planchers ancrés dans le rocher au niveau supérieur de la levée précédente.

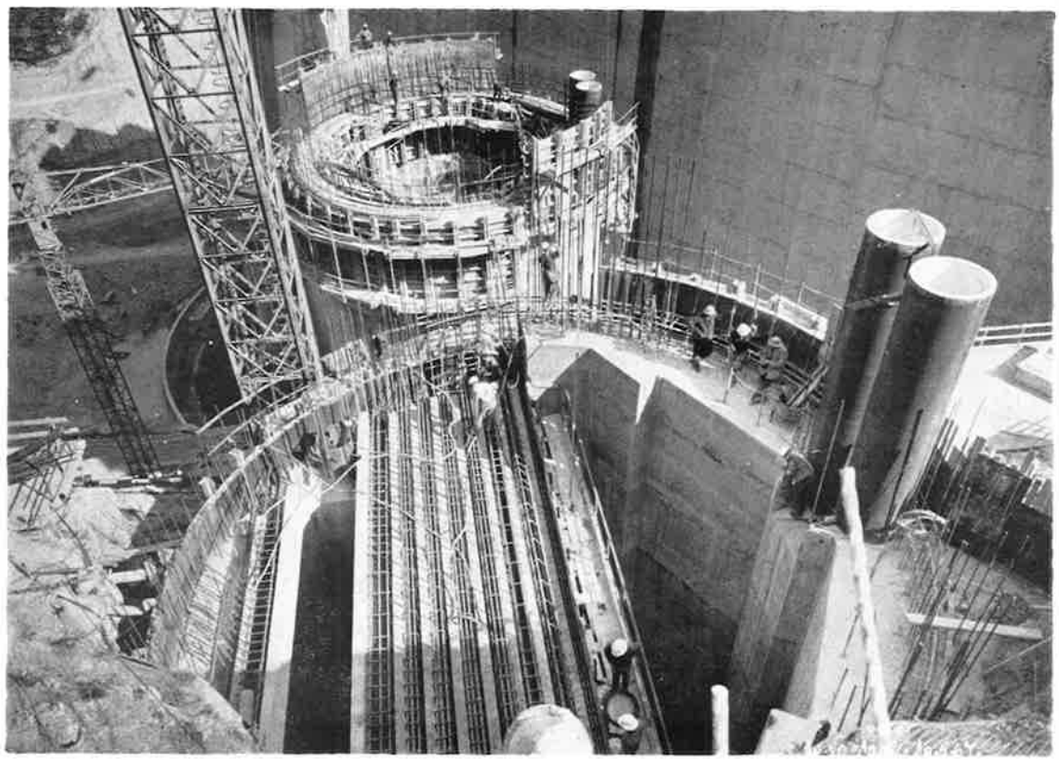
Les tours ont été bétonnées à l'aide de coffrages glissants, analogues à ceux du barrage. Construits par l'Entreprise Industrielle, ces coffrages avaient une armature en bois. Les bétons de la partie extérieure des tours ont été très fortement armés. Elles ont été conçues pour pouvoir résister aux effets de tremblements de terre.

Les planchers au niveau des cotes (420) et (431) ont été coulés sans échafaudage,à partir de poutres en béton armé préfabriquées. Cette méthode, outre le fait qu'elle a supprimé la construction d'un échafaudage extrêmement délicat à mettre en place, a permis de ne pas attendre le décoffrage du plancher pour bétonner les levées de la tour. Trois semaines ont pu ainsi être gagnées dans la construction des ouvrages.

Le bétonnage des entrées d'eau s'est effectué avec des coffrages en contre-plaqué sur échafaudage tubulaire.

La manutention des bétons, amenés depuis la centrale n° 2 par un truck-mixer, était assurée par une grue Weitz X 1331 desservant l'ensemble des deux puits de prise d'eau et des entrées d'eau (portée 3,5 t à 40 m).

Coulée sans échafaudages des planchers des tours des puits de prise d'eau à partir de poutres en béton armé préfabriquées.
(Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)



L'USINE SEMI-SOUTERRAINE

NOUS avons vu, évoquant la phase de creusement de la cavité de la partie souterraine de l'usine, que le bétonnage des poutres des ponts roulants et de la voûte avait eu lieu avant l'attaque du stross au niveau (339,75).

Les bétons étaient alors élaborés par une centrale provisoire installée dans la plaine du Finage, puis transportés par truck-mixers jusqu'au chantier de l'usine et mis en place à l'aide d'un tapis-transporteur Boyer de 20 m de longueur à bande de 600 m.

Le bétonnage de la voûte s'effectuait dans un coffrage de panneaux de bois « Cofréco » monté sur une ossature tubulaire roulant sur les poutres des ponts-roulants. La mise en place du béton dans les coffrages était assurée par un transporteur pneumatique Placy C.P.O.A.C.

Lorsque les terrassements dans la cavité furent entièrement terminés, les bétonnages furent entrepris, à l'aide de bétons fabriqués par la centrale N° 2 et transportés par trucks-mixers, dans l'ordre suivant ; au niveau de chaque groupe :

— massif de fondation du groupe et sortie de l'aspirateur,
— piliers de support des poutres de roulement des ponts roulants,
— support de la turbine et massif de la bâche spirale,
— support de l'alternateur.
— support et plancher de la salle des machines,
— blocage de l'aspirateur.

Les bétons ont été fortement armés au niveau des bâches spirales et du support de l'alternateur.

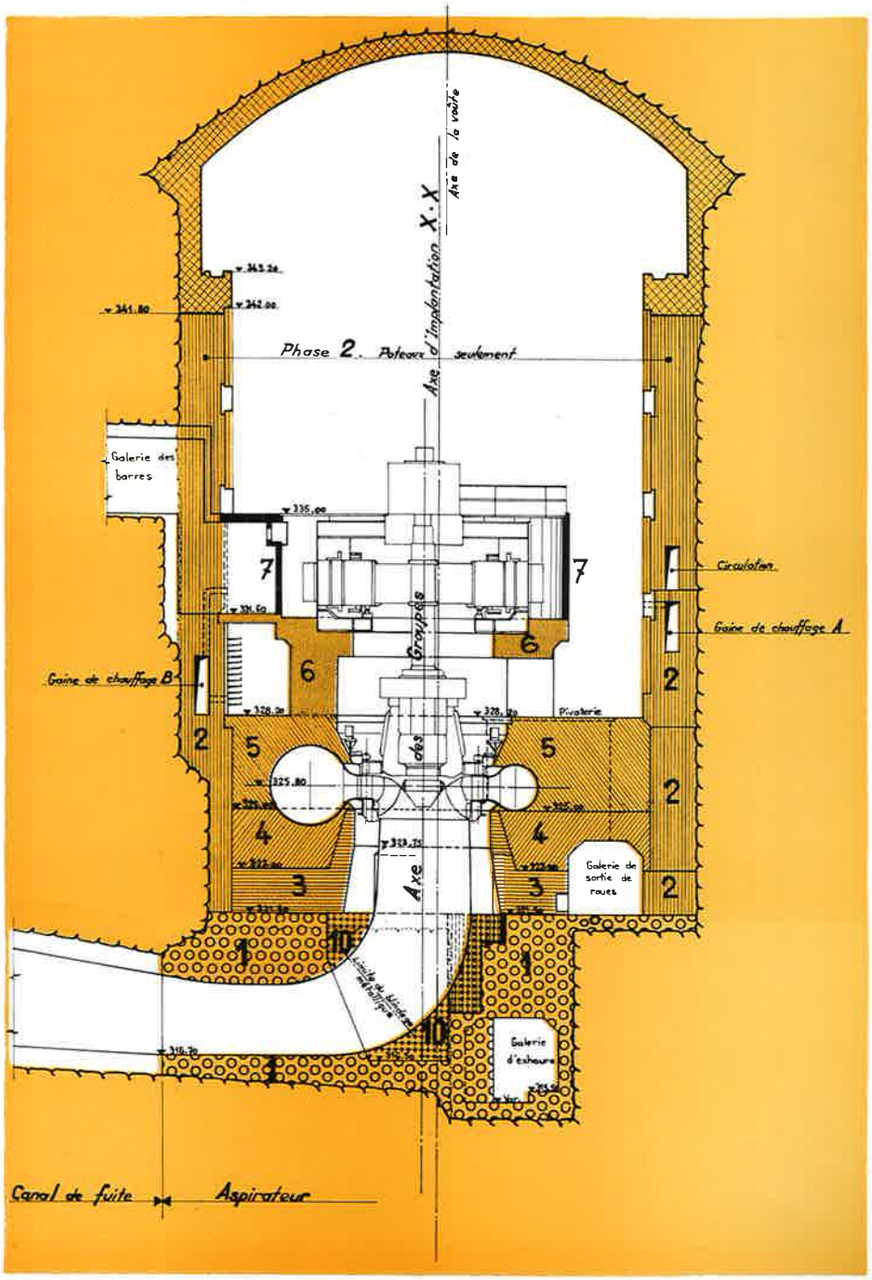
Le clavage des poutres de ponts-roulants sur la tête des piliers a été exécuté à l'aide d'un produit « Embéco » T. T. B. compensant le retrait du béton et se présentant sous forme de granules.

50 000 m³ de béton ont été mis en œuvre dans l'usine, ainsi que 710 tonnes d'armatures.

Les canaux de fuite ont été bétonnés à l'aide de coffrages en bois. Le radier avait été coulé en première phase en ménageant une engravure latérale dans laquelle s'insérèrent les piédroits.

La voûte fut bétonnée sur des échafaudages Entrepose, les piédroits au moyen de banches en contre-plaqué de 20 mm, avec montants en bastings de 4 m de haut. Le bétonnage des piédroits s'est effectué par levées de 1 m.

Une passerelle métallique a été construite au-dessus des canaux de fuite pour permettre de réaliser les cellules des transformateurs sans couper l'accès de l'usine. Cette passerelle est constituée de poutrelles en H de 600 et 450, enrobées dans l'ouvrage définitif.



Coupe transversale de l'usine, dans l'axe d'un groupe, montrant les phases de bétonnage.

STATISTIQUES

Quelques chiffres, concernant la construction des ouvrages équipant l'aménagement de Vouglans, méritent d'être soulignés. Ils concernent d'abord le volume des matériaux mis en œuvre :

— au barrage :
  — 535 000 m³ de béton ;
  — 1 600 tonnes d'acier de ferraillage ;
— à l'usine :
  — 50 000 m³ de béton ;
  — 710 tonnes d'acier d'armature ;
— aux galeries d'amenée :
  — 6 000 m³ de béton ;
— aux prises d'eau :
  — 23 000 m³ de béton ;
  — 800 tonnes d'armature ;
— au bassin d'amortissement :
  — 57 000 m³ de béton ;
  — 800 tonnes d'armature.

La moyenne générale de fabrication et de mise en place des bétons ressort à une vingtaine de milliers de mètres cubes par mois. 408.000 m³ ont été coulés de juillet 1965 à fin mai 1967. Le record mensuel a été établi en mai 1967 avec un volume de 33 000 m³. Sur le barrage seulement il s'établit à 27 000 m³, en février 1966 et en avril 1967. On pensait faire mieux en juin.

L'ÉTANCHÉITÉ DE LA RETENUE

AU moment de la mise en eau de la retenue, un problème particulier retiendra l'attention de la R.E.H. Alpes-Nord : l'étanchéité de la retenue.

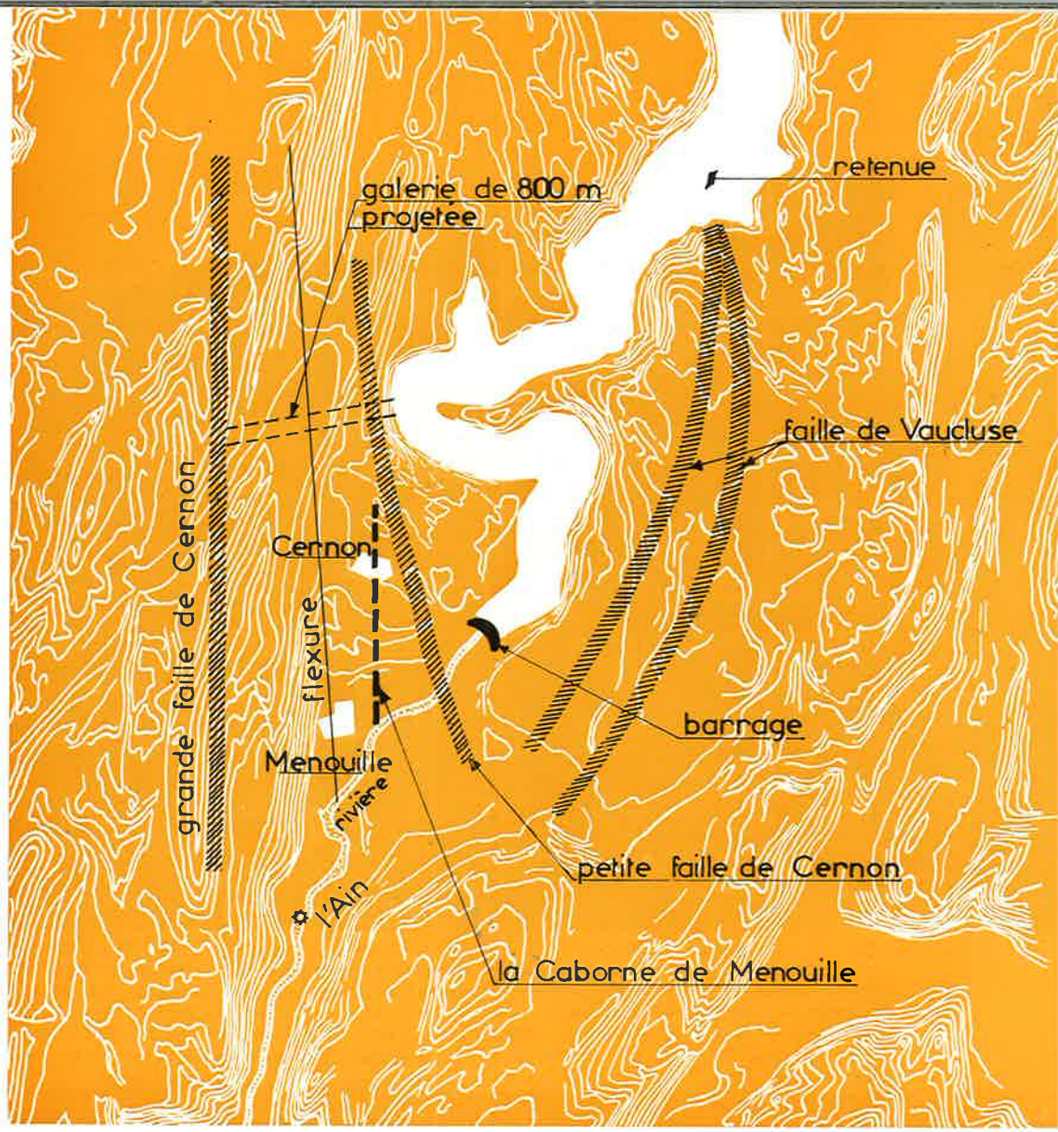
Nous avons signalé, en étudiant le milieu géologique dans lequel s'inscrit l'aménagement, la présence de circulations karstiques. Ces circulations se manifestent principalement en rive droite. En effet, au nord du barrage, la faille de Vaucluse qui court le long de la rive gauche se trouve bloquée par un relèvement des marnes de l'Oxfordien au-dessus du niveau (430). Si des circulations étaient, néanmoins, décelées lors de la mise en eau de la retenue, elles pourraient être aisément interceptées, par un blocage de la faille à son origine.

Il en va tout autrement en rive droite, parcourue par la grande faille du Cernon et la petite faille du Cernon qui forme une grande flexure à l'intérieur de laquelle se trouve la Caborne de Menouille.

Le Caborne de Menouille découvre un réseau karstique exploré jusque sous Cernon, mais dans lequel on ne peut, ensuite, s'introduire. Des recherches géophysiques n'ont donné aucun résultat et le percement de la galerie d'amenée à la centrale de la Chartreuse de Vaucluse n'avait, en son temps, rien appris à ce sujet.

On sait, cependant, par des essais de coloration que la lèvre amont de la flexure est imperméable. En raison de la dénivelée, de la longueur du contournement et de la section d'écoulement supposée, on pense que le débit de fuite devrait être inférieur à 4 m^3/s, soit une perte de 10 % du débit moyen de l'Ain au droit du barrage. Cette fuite s'opérant par des conduits, il serait possible alors de l'interrompre.

On envisage pour y parvenir de pratiquer, en travers de la flexure, une ligne de forages à partir desquels serait réalisé un opercule, au moyen d'un voile injecté depuis une galerie de 800 m creusée dans la rive droite au droit du méandre de l'Ain à l'amont du barrage.



Les accidents géologiques aux abords des gorges de l'Ain.

LE RÉTABLISSEMENT DES COMMUNICATIONS

NOUS avons dit que la création de la retenue allait couper les deux routes reliant Saint-Claude à Lons-le-Saulnier par Moirans et Orgelet. Ces communications seront rétablies par la construction d'une nouvelle route, longue de 14 km comprenant deux ouvrages d'art, un tunnel de 50 m et un pont appelé à remplacer l'ancien pont de la Pyle.

Les travaux, réalisés dans le cadre de l'aménagement hydro-électrique de Vouglans, ont été dirigés par les services départementaux des Ponts et Chaussées du Jura, maître d'œuvre. Ils ont été confiés :

— le premier lot de terrassements et chaussée, comprenant le tunnel : à un groupement d'entreprises (Entreprise Industrielle, Grands Travaux de Marseille, Pegaz et Pugeat) ;

— le pont de la Pyle : au groupement Grands Travaux de Marseille, Entreprise Industrielle ;

— le deuxième lot de terrassements et chaussée (sur la rive gauche) : à un groupement d'entreprises (Entreprise Tonetti, Entreprise Di Lena, Entreprise Chalumeau, Société Chimique Routière Colas).

En fait, sur la rive droite, c'est-à-dire dans le premier lot de terrassements et chaussée, le tunnel et ses accès ont été réalisés par l'Entreprise Pegaz et Pugeat et les chaussées sous-traitées à l'Entreprise Jean Lefevbre.

Les terrassements complémentaires ont été sous-traités à l'Entreprise Di Lena, les fournitures de tout-venant pour chaussées à l'Entreprise Chalumeau, les chaussées à l'Entreprise Jean Lefebvre, et les ouvrages d'art à l'Entreprise Tonetti.

Dans le lot du pont de la Pyle, les terrassements sont réalisés par l'Entreprise Industrielle et l'ouvrage d'art par les Grands Travaux de Marseille.

Les terrassements de l'accès rive gauche ont été réalisés par l'Entreprise Industrielle et ceux de l'accès rive droite ont été sous-traités à l'Entreprise Di Lena. L'Entreprise Chalumeau fournira les tout-venants de chaussées et l'Entreprise Jean Lefebvre assurera la mise en œuvre en imprégnation.

Percement du tunnel d'Orgelet sur la R.N. 470 par l'Entreprise Pégaz et Pugeat.
(Photo Coll. Pégaz et Pugeat)

Sur la rive gauche, l'Entreprise Di Lena exécute la totalité des terrassements, l'Entreprise Chalumeau fournit les tout-venants pour chaussées et la Société Routière Colas réalise les chaussées. L'Entreprise Tonetti, qui joue le rôle de pilote, a à sa charge les divers ouvrages d'art.

LE TUNNEL

LE tunnel est situé à 1,5 km d'Orgelet, sur la déviation de la R.N. 470. Sa longueur est de 55,00 m. Cet ouvrage accuse une courbe de 200 m de rayon. Sa section semi-circulaire a une surface de 55 m² ; elle est définie par un arc de cercle de 5 m de rayon surélevé de 1,20 m par rapport au niveau de la chaussée. Large de 10 m, le radier comprendra une chaussée de 7 m et deux trottoirs de 1,50 m.

L'ouvrage qui traverse un banc calcaire à pendage défavorable devra être revêtu de béton sur une épaisseur de 0,,30 m.

Le tunnel a été foré par l'Entreprise Pegaz et Pugeat, selon deux méthodes :

— sur les 15 premiers mètres, une pre-galerie de 3,50 m de hauteur a été creusée en calotte, puis elle a été élargie à la cote définitive et le stross a été abattu ;

— sur le reste de la galerie, l'ouverture en calotte s'est opérée en une seule phase.

La perforation a été réalisée à l'aide de quatre marteaux Montabert sur poussoirs, montés sur chariots légers. Le marinage était assuré par une tractopelle Allis-Chalmers HD II. Les déblais représentent 3 000 m³.

Le bétonnage a été fait au mois d'août au moyen d'un coffrage métallique.

LE PONT DE LA PYLE

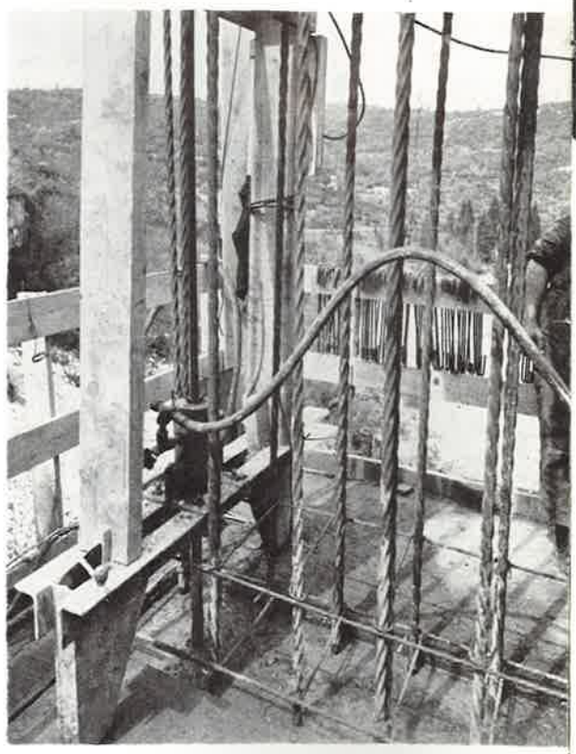
LE pont de la Pyle est un ouvrage en béton précontraint à quatre travées de portée 65 m, 110 m, 110 m, et 65 m, encastrées élastiquement sur trois piles et reposant librement sur deux culées. Les portées centrales constituent un record de France.

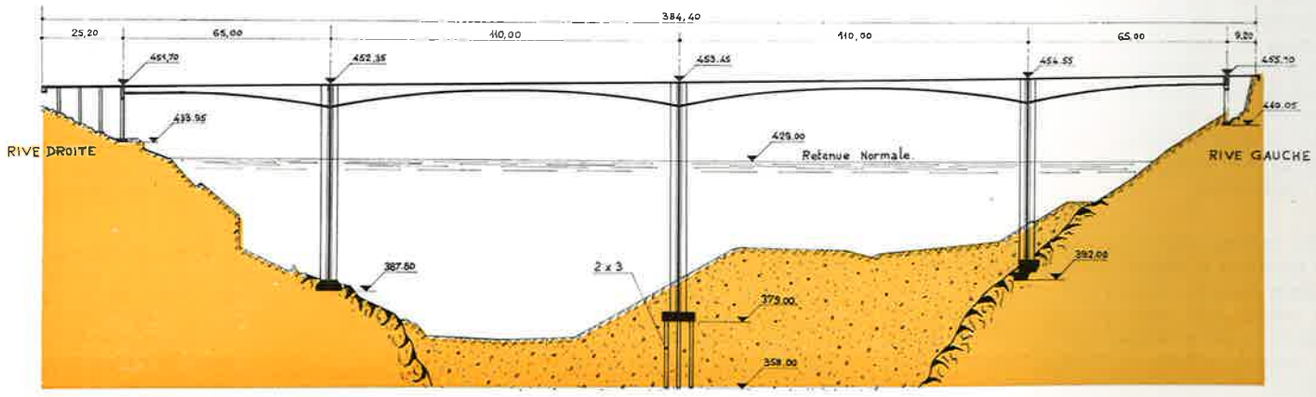
Les fûts des trois piles présentent la même section horizontale sur toute la hauteur : un H dont le gabarit extérieur est de 5,00 m × 5,20 m. Ils ont été réalisés par coffrages glissants « les Coffrages Glissants » sur 55 m (rive droite), 65 m (pile centrale) et 50 m (rive gauche).

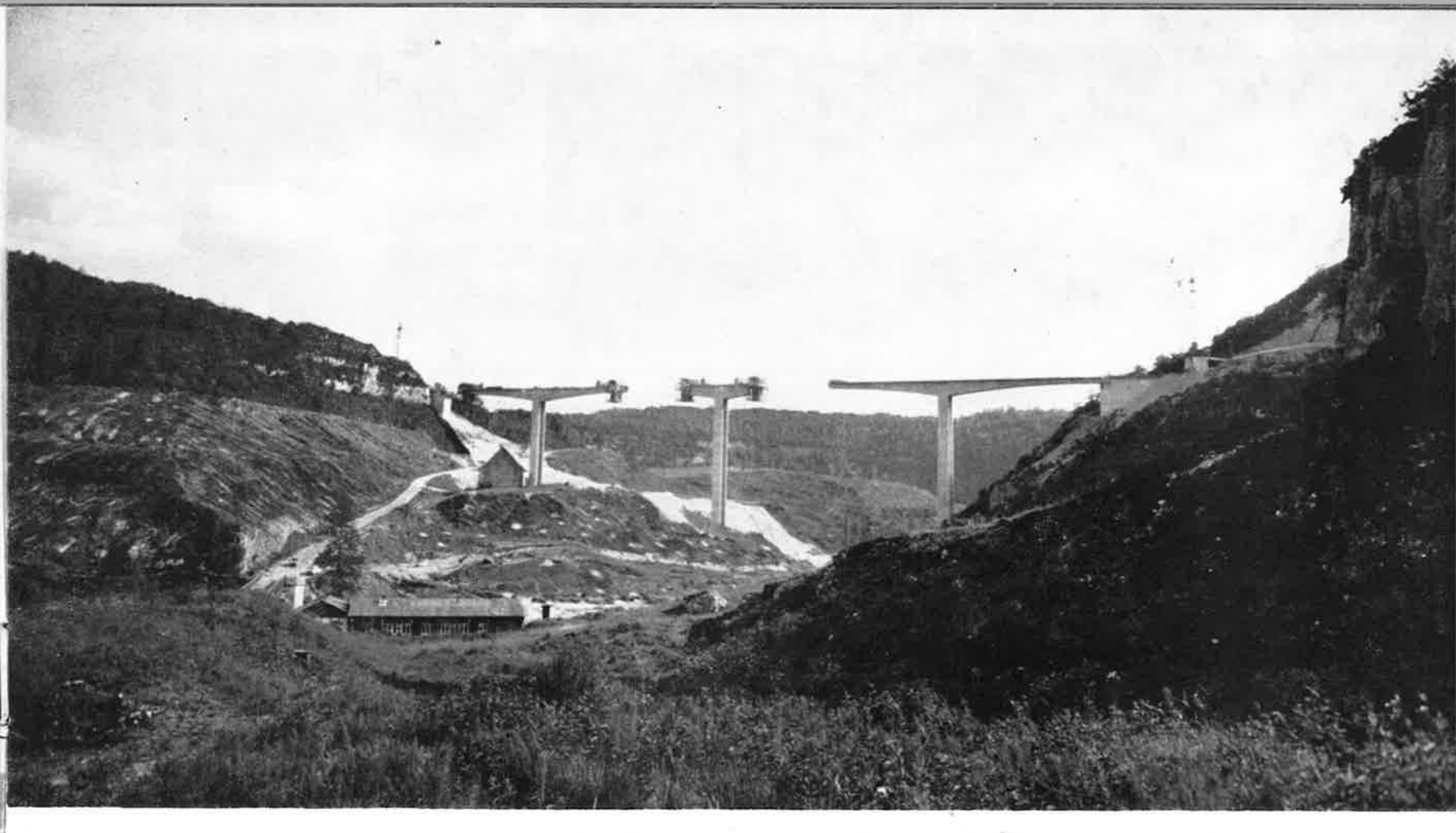
Les fondations des piles sont constituées par des semelles massives de 8 m × 15 m

Ci-dessous : **Détail du coffrage glissant ayant servi à la construction des piles du pont de la Pyle.**

(Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)







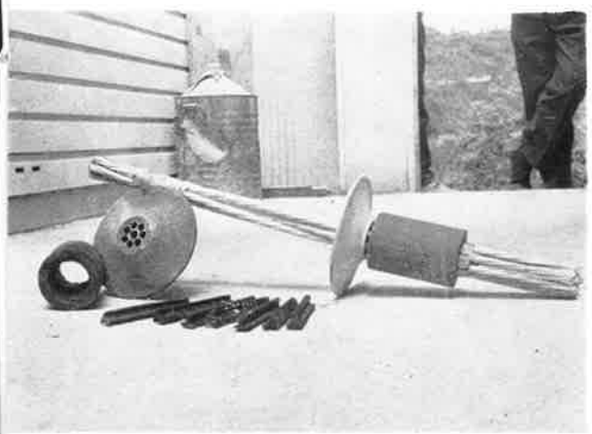
Ci-dessus : **Le pont de la Pyle.** — Ci-dessous : **L'encorbellement de la travée de rive droite. On remarque dans les âmes les appareils de clavage des câbles de précontrainte et dans les tables supérieures et inférieures les tubes dans lesquels passeront les autres câbles.**
(Photos R.A.M. et Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

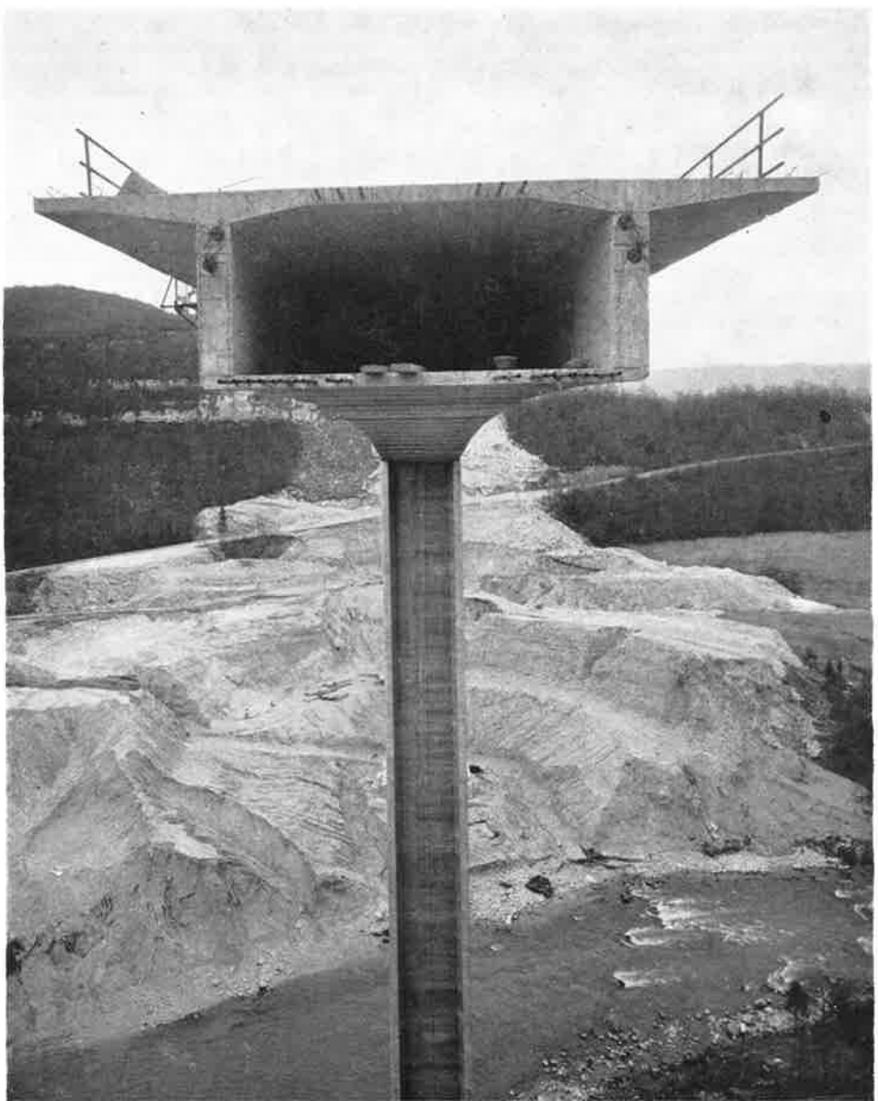
sur la rive droite, 10 × 16 m sur la pile centrale et 8 m × 12 m sur la rive gauche. Le massif de fondation de la pile centrale repose sur six barettes de 3,85 × 0,70 m et de 21 m de longueur coulées en place selon la méthode des parois moulées par Solétanche.

Les culées sont des culées creuses ouvertes sur l'arrière. Leurs voiles nervurés tous les 6 m, ont également été exécutés à l'aide de coffrages glissants.

Le tablier a une longueur hors-tout de 350 m. Il est constitué par un caisson à deux âmes d'épaisseur constantes de 0,40 m. Le hourdis supérieur épouse le profil en travers de la chaussée ; c'est une dalle de 0,20 m d'épaisseur se prolongeant par une console de 0,16 m sur les trottoirs.

L'appareillage de clavage des câbles de précontrainte selon le procédé SEEE.
(Photo R.A.M.)





Ci-contre : **Chantier Solétanche pour la construction des six barettes moulées dans le sol et servant de fondation à la pile centrale du pont.**
(Photo Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

Le tablier est construit par encorbellement, à l'aide d'équipages mobiles en consoles équipés en ateliers fermés ce qui a permis de poursuivre les travaux par tous temps et en toutes saisons.

Les groupes de deux consoles ont été menés symétriquement par rapport aux piles par deux équipages mobiles, le premier desservant la pile de rive droite, puis la pile de rive gauche, le deuxième faisant l'appui central.

En deuxième phase, on coule les voussoirs de rive ; en dernier lieu, on réalise les voussoirs de clé.

La durée d'un cycle pour l'exécution d'un voussoir de 3 m est de 7 jours. Les coffrages utilisés pour les faces extérieures sont des coffrages Mannesmann et pour la face intérieure des coffrages en contre-plaqué boulonné sur des U de 50.

La pré-contrainte du tablier est assurée par des câbles toronnés SEEE, type CO2 (7 torons de 7 Ø 3,6, d'une section totale de 500 mm²). Les câbles sont ancrés à 82,5 tonnes.

La mise en précontrainte comprend trois phases essentielles :

— 86 câbles sur chaque pile au cours de la construction en encorbellement ;
— 28 câbles pour chaque voussoir de rive ;
— 28 câbles pour chaque voussoir de clé.

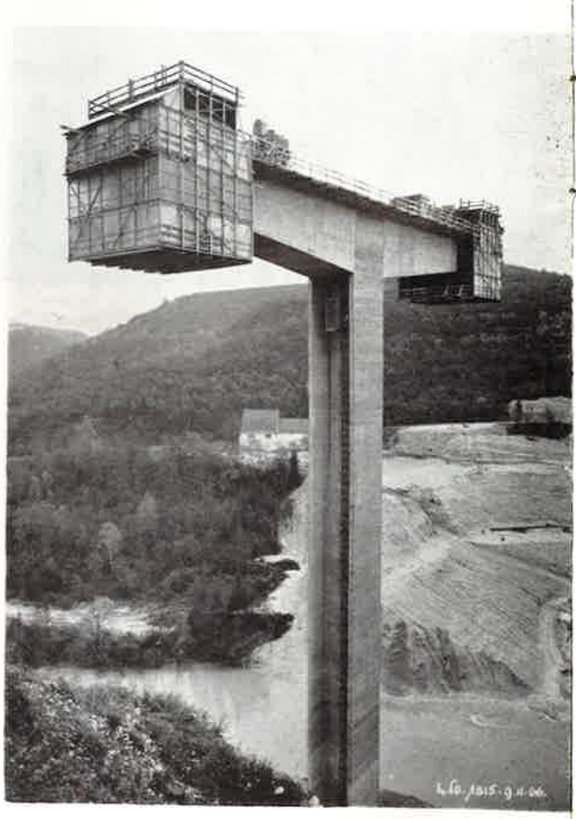
L'ÉQUIPEMENT DU CHANTIER

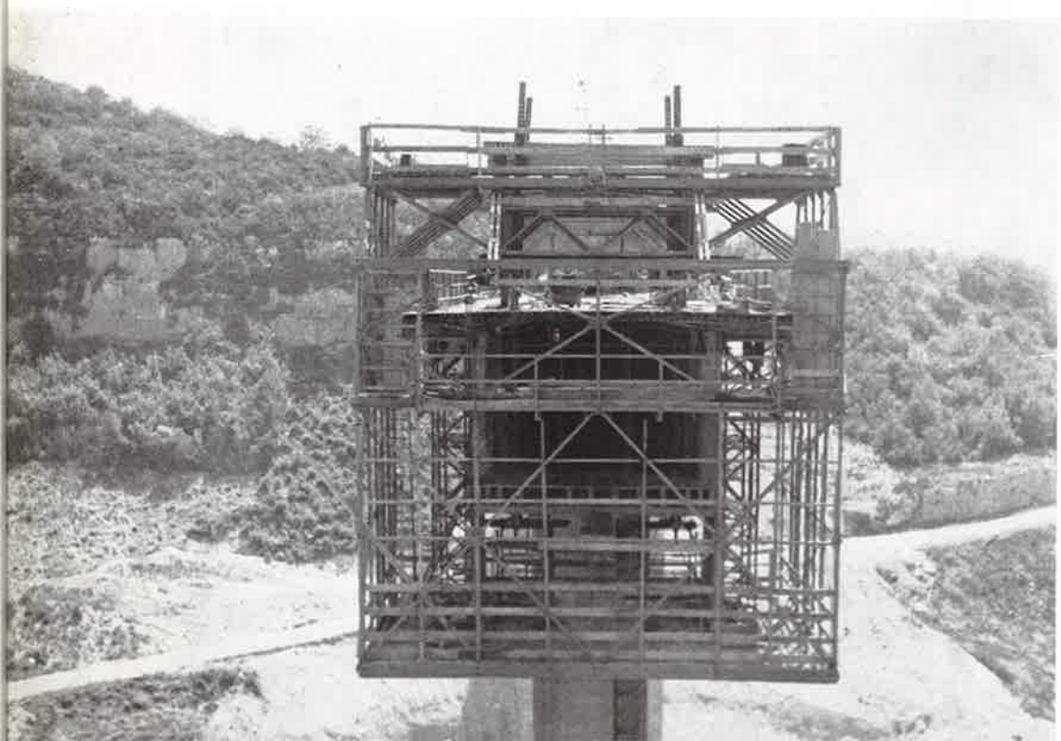
LES manutentions sont assurées, sur l'ensemble du chantier, par un blondin Etcheverry à mâts oscillants de 36 m de hauteur, d'un débattement latéral de 4,5 m par rapport à l'axe. La portée du blondin est de 420 m, sa puissance de 3,5 tonnes.

Les bétons sont élaborés par une centrale à malaxeur à axe vertical Ibag de 750 l fournissant des gâchées de 500 l de béton en place. Les agrégats, chauffés en hiver par une centrale de vapeur Karcher, sont stockés derrière un mur Arbau à dosage pondéral, la teneur en eau des sables étant constamment surveillée par un hygromètre instantané Rex-Imc.

Le ciment est contenu dans un silo de 50 tonnes.

Le personnel travaillant à la construction des voussoirs du tablier dispose de deux ascenseurs Lambert - Alimak à crémaillère montés le long des piles.





Ci-dessus et ci-contre : **Les équipages mobiles montés en consoles et permettant la coulée des voussoirs. On remarque sur la photo ci-dessus l'ascenseur de service logé dans la pile.**
(Photos R.A.M.
et Coll. R.E.H. Alpes-Nord)

Extrait de la revue

CHANTIERS DE FRANCE

RHÔNE ALPES MÉDITERRANÉE

3e trimestre 1967 - N° 17