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

Artikel: Aménagement de la dranse d'Entremont
Autor: Béguin, P. / Jeanneret, J.-R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921537

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

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

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

Download PDF: 13.07.2025

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

AMÉNAGEMENT DE LA DRANSE D'ENTREMONT

Barrage et galerie en charge de la chute de Pallazuit

par Ph. Béguin, ing. dipl. EPUL et J.-R. Jeanneret, ing. dipl. EPF
Société Suisse d'Electricité et de Traction, Bâle

CDU. 621.221+627.8

1. GENERALITES

1.1. INTRODUCTION

Cet aménagement a déjà fait l'objet d'une description complète dans une revue et a été le sujet de différents articles[1], aussi traiterons nous ici plus spécialement des problèmes de la construction des deux ouvrages principaux: le barrage des Toules et la galerie en charge Les Toules-Pallazuit.

1.2. DESCRIPTION GENERALE

L'usine de Pallazuit utilise les eaux de la Dranse d'Entremont et de ses affluents principaux: le Valsorey, le torrent de la Croix et celui d'Allèves, entre la Cantine de Proz située à quelque 4 kilomètres à l'amont de Bourg-Saint-Pierre et Pallazuit situé à 1 kilomètre à l'amont de Liddes.

Les conditions de l'autorisation de construire octroyée en 1955, par le Conseil d'Etat du canton du Valais, d'une part et la construction de la nouvelle route du Grand-Saint-Bernard d'autre part ne permirent, au cours d'une première étape, que la réalisation d'un aménagement au fil de l'eau.

Cette première étape fut réalisée de l'été 1955 à l'automne 1958. Elle comprenait les ouvrages suivants:

un petit barrage en béton, devant ultérieurement faire partie du barrage-coupole,

une galerie de dérivation servant à la fois de vidange de fond et d'évacuateur de crue,
la galerie d'amenée sous-pression y compris tous les ouvrages annexes,

la conduite forcée,

l'usine et le bassin de compensation de Pallazuit.

L'adduction des affluents de la Dranse fut exécutée dès l'été 1958 jusqu'à l'automne 1959.

La seconde étape, c'est-à-dire l'aménagement avec accumulation, qui comprenait la construction du barrage-coupole des Toules avec ses ouvrages annexes, débuta en automne 1960 et sera complètement achevée au cours de 1963.

1.3. HYDROLOGIE ET PRODUCTION D'ENERGIE

Le bassin versant total est de 80 km² soit 41 km² pour la Dranse et 39 km² pour les affluents. En année moyenne 80 mio m³ d'eau peuvent être utilisés, ainsi l'accumulation des Toules pourrait être remplie 4 fois. La production annuelle moyenne d'énergie figure dans le tableau ci-dessous:

	Pallazuit	Usines inférieures Energie supplément.	Total
Energie d'hiver, mio kWh	31	30	61
Energie d'été, mio kWh	51	—	51
Production annuelle	82	30	112

[1] «Kraftwerkbau» de janvier/février 1962

1.4. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Données générales

Bassin versant	80 km²
Débit aménagé	8 m³/sec
Chute brute maximum	483 m
Volume utile de la retenue	20 mio m³
Cote de retenue maximum	1810 m

Barrage (voir chapitre 2.3.)

Adduction rive droite

Conduite à flanc de coteau	3690 ml
Galerie à écoulement libre	3710 ml
Prises d'eau	3
Débit max. capté	4,5 m³/sec

Galerie d'amenée (voir chapitre 3.)

Conduite forcée (enterrée)

Longueur	765 m
Diamètre intérieur	1,63–1,55 m

Bassin de compensation de Pallazuit

Volume utile de la retenue	100 000 m³

Usine de Pallazuit

1 groupe horizontal (2 turbines Pelton)
32 000 kW, 333⅓ t/min.

Poste de couplage de Pallazuit

1 groupe de transformateurs monophasés de 3 x 13,33 MVA, 130/10 kV
1 transformateur de 2 MVA, 20/10 kV
1 départ à 130 kV pour la station de couplage de l'usine d'Orsières
1 départ à 20 kV pour l'alimentation du réseau de la vallée

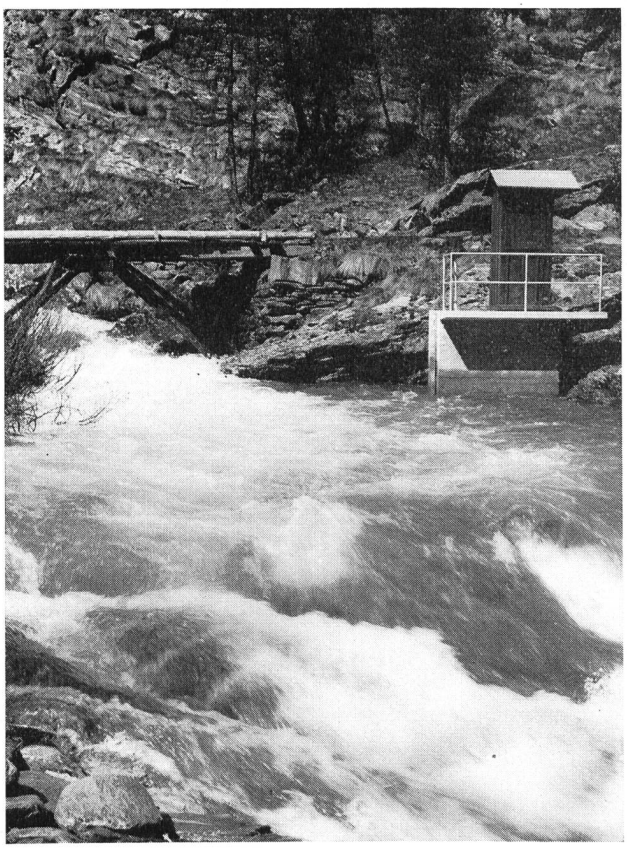
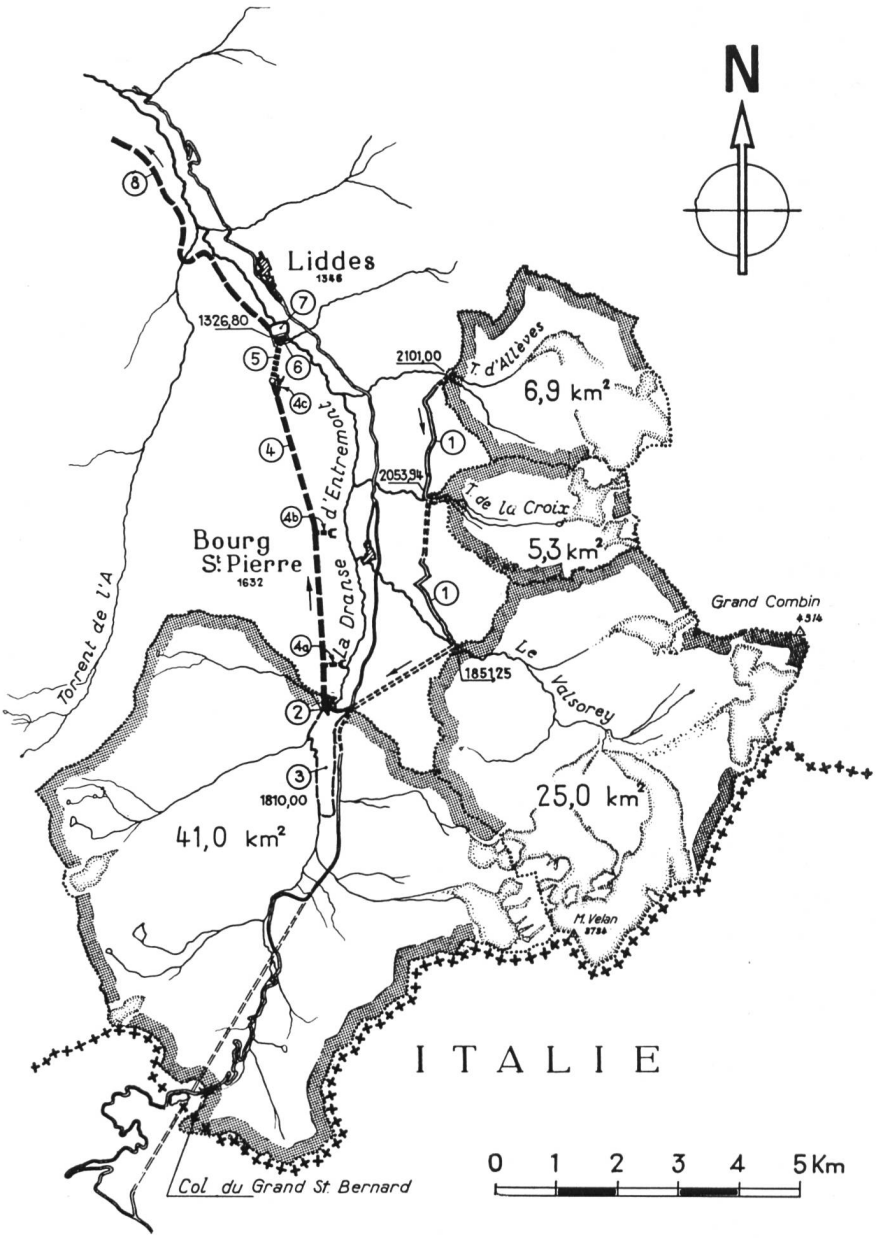


Fig. 1 Dranse d'Entremont, à l'aval du barrage.

Fig. 2 Disposition générale



Légende
pour les fig. 2 et 3:

1 Adduction rive droite
2 Barrage des Toules
3 Accumulation des Toules, contenu 20 mio m³
4 Galerie d'amenée sous-pression
4a Fenêtre de Brettmort
4b Fenêtre des Charbonnières
4c Fenêtre du Fratzet
5 Conduite forcée
6 Usine de Pallazuit
7 Bassin de compensation de Pallazuit, contenu 100 000 m³
8 Galerie d'amenée de l'usine d'Orsières

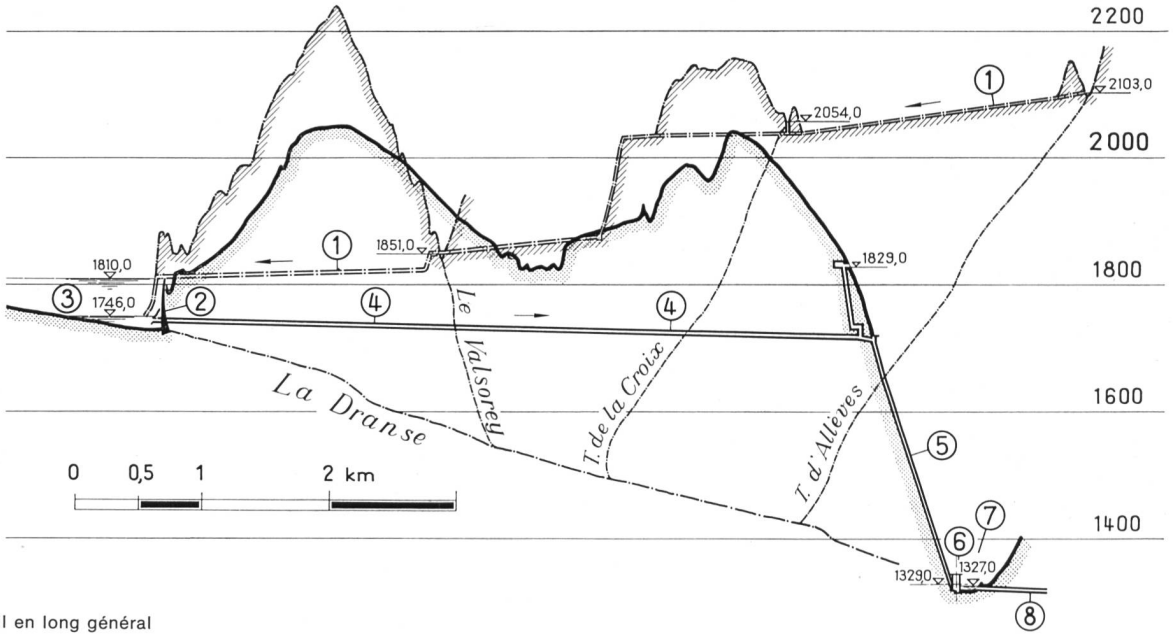


Fig. 3 Profil en long général

2. BARRAGE DES TOULES

2. 1. AVANT-PROPOS

La conception de l'ouvrage et les raisons qui ont conduit Mr. H. Gicot, Dr. h. c., auteur du projet, à adopter la solution voûte-coupole ont déjà fait l'objet de publications[1].

Notre but, dans cet article, n'est que de décrire brièvement l'ouvrage et de préciser les méthodes utilisées pour réaliser certaines parties du barrage.

2. 2. DESCRIPTION GENERALE, CARACTERISTIQUES DU BARRAGE ET DES OUVRAGES ANNEXES

2. 2. 1. Barrage

L'emplacement de l'ouvrage a été commandé par la présence d'un verrou rocheux près du pont des Toules et qui est constitué par des schistes de Casanna de bonne qualité. Le barrage est du type voûte-coupole, à double courbure. Les arcs horizontaux sont elliptiques au-dessus de la cote 1750 et paraboliques au-dessous. Chaque arc est d'épaisseur constante jusqu'aux naissances où il s'épanouit pour assurer de bonnes conditions d'appui.

Le profil médian est caractérisé par un surplomb du couronnement de 11 m par rapport au niveau 1760 m. Ce surplomb diminue graduellement vers les ailes. La région du pied du barrage présente de légers surplombs du côté amont.

Les matériaux utilisés pour la fabrication du béton, dosage CP 250, furent tirés d'une gravière ouverte à l'amont du barrage. Le coffrage fut réalisé à l'aide de panneaux de bois recouverts de tôle. Le béton fut refroidi artificiellement pendant toute la durée des travaux et l'eau de réfrigération prélevée dans la galerie d'amenée des apports de la rive droite.

2. 2. 2. Vidange de fond

La vidange de fond utilise la galerie de dérivation creusée à la cote 1730 m environ sur la rive gauche de la Dranse lors de la construction de la 1ère étape du barrage. Elle est obturée à environ 50 m de sa sortie par deux vannes de fond, l'une de réglage, l'autre de révision, placées dans une chambre accessible de l'extérieur par une courte galerie. La galerie de vidange est pourvue d'un blindage qui s'étend de l'écran d'étanchéité jusqu'à la chambre des vannes pour éviter des infiltrations à l'aval du barrage.

2. 2. 3. Vidange auxiliaire

En plus de la vidange de fond, le barrage est équipé d'une conduite métallique d'un diamètre de 800 mm, noyée dans sa partie centrale à la cote 1733. Elle fut prévue pour évacuer l'eau de la Dranse pendant la construction de la vidange de fond et dans le cas d'une révision éventuelle.

La conduite est fermée à son extrémité par deux vannes de 500 mm de diamètre, placées dans une chambre adossée au parement aval du barrage. De là, l'eau est restituée à la Dranse par une canalisation en tuyaux de ciment de 100 cm de diamètre.

2. 2. 4. Evacuateur de crues

L'ouvrage de prise consiste en un déversoir situé sur la rive gauche de la vallée (cote de la crête 1810.00 m). L'eau est conduite par une galerie et un chenal à ciel ouvert dans le lit d'un torrent qui se jette dans la Dranse, 200 m environ à l'aval du barrage.

2. 2. 5. Programme des travaux

Ouverture du chantier	Septembre	1960
Début du bétonnage du barrage	Août	1961
Achèvement du bétonnage du barrage	Octobre	1962
Mise en eau de la retenue	Juin/Juillet	1963

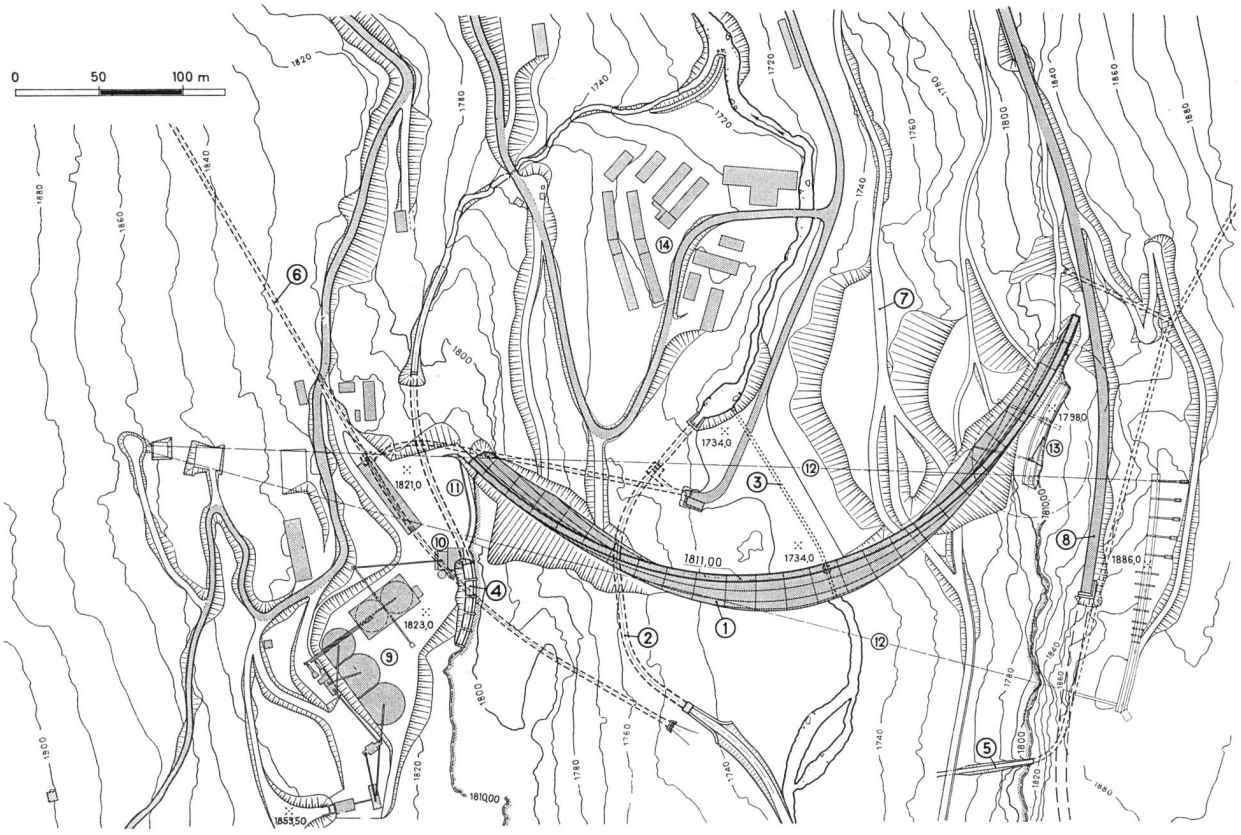


Fig. 4 Barrage, situation générale

Légende: 1 Barrage 2 Vidange de fond 3 Vidange auxiliaire 4 Evacuateur des crues 5 Adduction des torrents de la rive droite 6 Galerie d'amenée 7 Ancienne route du Grand-St-Bernard 8 Nouvelle route du Grand-St-Bernard 9 Préparation des agrégats 10 Tour à béton 11 Quai de chargement 12 Blondins 13 Grue à tour et derrick 14 Village des ouvriers

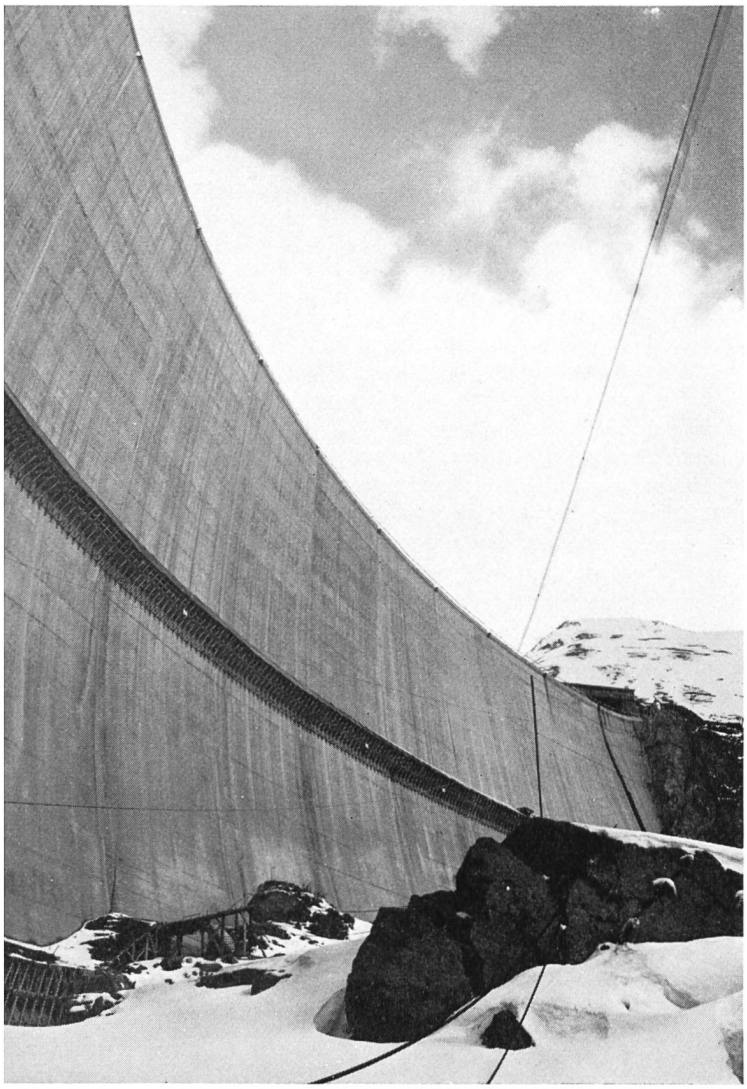


Fig. 5 Barrage, vue de l'aval.

2. 3. CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES

2. 3. 1. Barrage

Retenue: volume utile:	20 000 000 m³
Niveau minimum de la retenue	1 747,50 m
Niveau maximum de la retenue	1 810,00 m
Cote du couronnement	1 811,00 m
Hauteur maximum du barrage	86 m
Longueur du couronnement	460 m
Epaisseur du pied du barrage	20,50 m
Epaisseur au couronnement	4,20 m
Volume de béton CP 250	240 000 m³
Volume des excavations:	
en moraine:	33 000 m³
en rocher:	49 000 m³
Injections: Ecran d'étanchéité	
Longueur totale forée	9 860 m
Ciment injecté	749 t
Consolidation:	
Longueur totale forée	14 450 m
Ciment injecté	540 t
Contact: Longueur totale forée	595 m
Ciment injecté	34 t
Ciment total injecté	1 323 t

2. 3. 2. Vidange de fond

Longueur de la galerie	207 m
Longueur du tronçon blindé ∅ 3,0 m	65 m
Débit maximum	70 m³/sec

2. 3. 3. Evacuateur de crues

Longueur du déversoir	50 m
Longueur de la galerie ∅ 3,20 m	120 m
Débit maximum	60 m³/sec

2. 4. SOUDURE DES DEUX ETAPES DU BARRAGE

Comme nous l'avons dit dans la description générale des ouvrages, § 2. 1., le barrage fut construit en deux étapes et le problème de la liaison des deux parties, pour en faire un ouvrage monolithique, fut étudié avec un soin particulier par Mr. Gicot et résolu en ménageant entre les deux étapes une brèche provisoire remplie de gravier. Elle fut injectée suivant le procédé «Prepakt» après que le béton de la seconde étape eut effectué librement son retrait.

Le profil du barrage de 1ère étape, construit en 1958, est découpé dans le barrage définitif du côté amont. Son parement aval est profilé en gradins pour servir d'appui au béton de 2ème étape. Les gradins ont une hauteur de 5 m et une largeur variant de 82 cm à 60 cm.

A la reprise des travaux de construction de la 2ème étape, le parement aval du barrage de 1ère étape fut décapé au jet de sable pour éliminer la couche superficielle de ciment et faire apparaître la structure du béton.

Des panneaux de métal déployé, de hauteur égale à celle des gradins, renforcés par des profils métalliques furent fixés à 15 cm du parement du mur existant et l'espace derrière le treillis fut rempli de gravier calibré (diamètre des grains compris entre 10 et 40 mm).

Des tubulures d'injections munies de clapets et groupées par panneaux furent mises en place sur toute la longueur des gradins dans l'espace créé entre le parement du mur de 1ère étape et les treillis métalliques. Des tuyaux-évents furent également disposés derrière le métal déployé au sommet des gradins pour permettre l'évacuation de l'air pendant les injections et le contrôle de celles-ci. Tous ces tuyaux débouchent sur le parement aval du barrage de 2ème étape.

Le bétonnage de la 2ème étape fut exécuté normalement, le métal déployé faisant office de coffrage pour le parement amont. Toutes les précautions furent prises pour éviter que les eaux de lavage des joints de reprise puissent se déverser dans la brèche et pour conserver le gravier propre. Dans les joints verticaux, entre les blocs, un redan créé à proximité du treillis tenait lieu d'étanchéité pour empêcher le coulis d'injection des joints verticaux de se répandre dans la brèche.

Pour éviter que, par suite du retrait et du refroidissement du béton de 2ème étape, des concentrations d'efforts n'apparaissent sur les angles saillants des gradins du mur de 1ère étape, un matelas de sable enveloppé d'un treillis fin fut placé sur la partie horizontale des gradins, sur toute leur longueur. L'épaisseur du matelas varie entre 30 cm sur le gradin inférieur à 10 cm sur le supérieur pour que la valeur du tassement du sable corresponde, à chaque niveau, à la valeur du retrait atteinte par le béton mis en œuvre en 2ème étape. Ces matelas de sable furent également munis de tubulures d'injections.

A la fin de la campagne de bétonnage 1962, une fois que le nouveau barrage atteignit la hauteur du couronnement du mur de 1ère étape sur toute sa longueur, que la réfrigération eut abaissé la température du béton à 10° environ et que les joints verticaux furent injectés, on procéda à l'injection de la brèche suivant le procédé «Prepakt». La pression d'injection maximum fut limitée à 5 atm. Les travaux se déroulèrent comme prévu sans rencontrer de difficultés particulières. Dans quelques panneaux, des rampes d'injection

se révélèrent obstruées et pour éviter le risque d'un remplissage insuffisant, des trous furent percés depuis le parement aval du barrage et les injections complétées.

2. 5 OUVERTURE A TRAVERS LE BARRAGE POUR PERMETTRE LE MAINTIEN DE LA CIRCULATION SUR L'ANCIENNE ROUTE DU GRD-ST-BERNARD

Lors de l'établissement du programme de construction de la 2ème étape du barrage, il était admis que la nouvelle route du Grand-St-Bernard, construite entre Bourg-St-Pierre et le tunnel routier et qui passe au-dessus de la future retenue, devait être terminée pour la fin de l'année 1961. Le programme prévoyait le bétonnage du mur jusqu'à la hauteur de l'ancienne route pendant la campagne 1961 et son achèvement durant celle de 1962, une fois la circulation déviée sur la nouvelle route.

En automne 1961, il fut évident que la nouvelle route ne pourrait être terminée en temps voulu et qu'il fallait réétudier le programme de bétonnage établi pour 1962, en cherchant une possibilité de maintenir le trafic à travers le chantier pendant la construction du barrage.

De nombreuses solutions furent envisagées; établissement de rampes enjambant le barrage au droit d'un bloc, détournement de la circulation sur les routes de chantier en les aménageant pour supporter le trafic public. Mais de toutes les variantes, seule celle qui prévoyait la création d'une ouverture à travers le barrage permettait de respecter les délais, tout en satisfaisant aux exigences techniques.

L'emplacement du trou fut choisi à l'endroit où l'ancienne route du Grand-Saint-Bernard traverse le barrage, à la cote 1757,50. L'ouverture fut placée normalement aux parements du mur. La calotte fut coffrée en forme de toit, avec une légère pente longitudinale pour faciliter le remplissage futur. Des aciers d'armature furent posés autour de l'ouverture pour reprendre les efforts de traction locaux provoqués par sa présence. La hauteur et la largeur du passage étaient suffisantes pour permettre une circulation aisée de tous les véhicules, les grands autocars étrangers y passèrent aussi sans difficulté. De part et d'autre du trou, sous le champ d'action des blondins, la route fut protégée par une couverture en bois pour éviter des accidents ou des dégâts provoqués par la chute de matériaux transportés par les bennes. Des feux de signalisation furent également prévus pour régler la circulation.

Le bétonnage des fondations du barrage, jusqu'à la cote du radier de l'ouverture, eut lieu au printemps 1962, avant l'ouverture du col, et pendant ce temps les véhicules se rendant au tunnel routier utilisèrent les routes de chantier situées sur la rive gauche de la Dranse, construites pour amener les matériaux de la gravière jusqu'aux installations de bétonnage. Des assurances complémentaires furent conclues pour couvrir les risques accrus que courait l'entreprise du barrage en laissant passer des véhicules étrangers au chantier sur ses routes. Une fois le radier du passage et les accès à la route aménagés, la route fut à nouveau ouverte à la circulation et l'ouverture elle-même construite. Les coffrages furent spécialement conçus pour ne pas gêner le trafic.

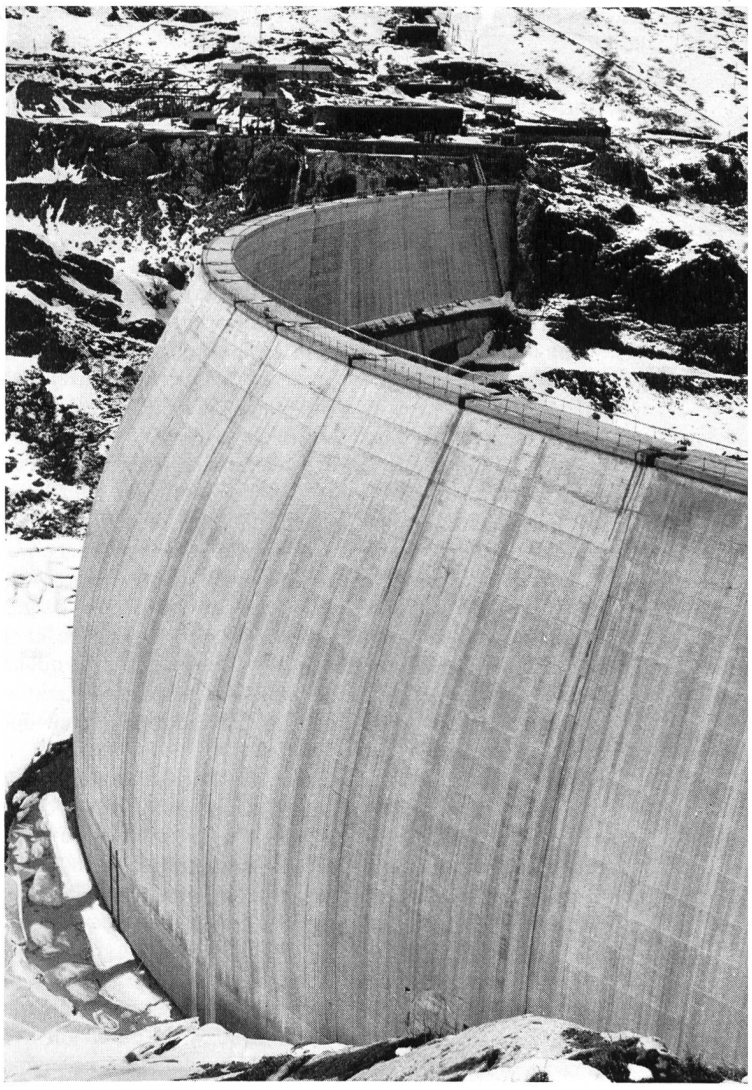
En automne 1962, une fois la nouvelle route achevée et le trafic supprimé sur l'ancienne, les parois de l'ouverture furent bouchardées et des rampes d'injections mises en place. Le trou fut fermé aussi haut que possible avec du béton normal et la clef remplie avec du béton projeté. La réfrigération fut mise en service et au printemps 1963, quand la température du béton de remplissage eut atteint celle du béton environnant, le joint fut injecté. L'étanchéité du joint à l'amont et à l'aval fut réalisée à l'aide de garnitures en caoutchouc synthétique.

Tous ces travaux se sont déroulés normalement en n'entravant que très faiblement le bétonnage et la circulation ne fut que peu gênée et ne souffrit pas d'interruption de longue durée.

2. 6. TRAITEMENT DES JOINTS VERTICAUX DU BARRAGE

Les joints verticaux furent munis de rampes d'injections avec clapets, l'étanchéité réalisée à l'amont par des bandes de caoutchouc synthétique et à l'aval par des boudins bitumineux. La surface du joint fut rendue rugueuse par l'emploi d'un retardateur de prise qui ne donna pas toujours le résultat escompté. Le temps variable de décoffrage et parfois la pluie lavant les surfaces fraîchement traitées rendaient délicat l'usage de ce produit. Fréquemment, la surface des joints devait être reprise et bouchardée au marteau-piqueur. Le décapage de la surface des joints au jet de sable avait aussi été envisagé, mais si cette méthode donne des résultats satisfaisants pour des anciens bétons, elle ne peut être appliquée pour des bétons très jeunes qui risquent d'être attaqués sur une trop grande profondeur. En outre, le temps consacré à l'installation des machines, la poussière soulevée pendant le travail et l'enlèvement du sable après

Fig. 6 Barrage, vue sur la rive gauche



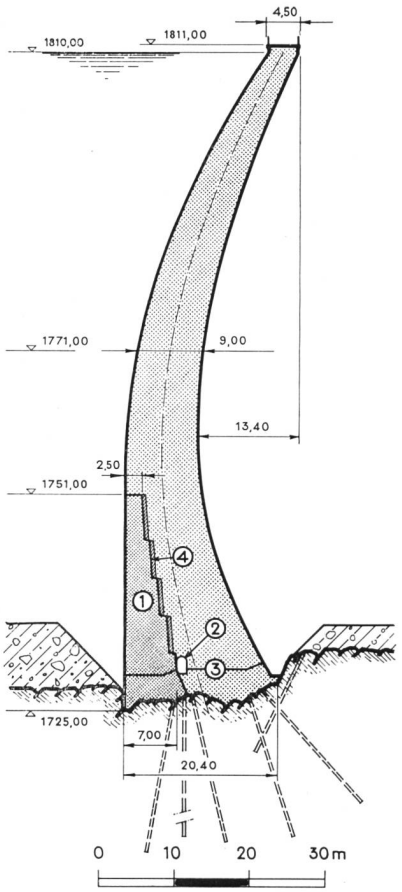


Fig. 7 Barrage, profil en travers

Légende: 1 Première étape 2 Galerie de base 3 Joint de base injectable 4 Brèche bétonnée au Prepakt

traitement provoquent des retards incompatibles avec le rythme du bétonnage.

Dans le but d'accélérer le durcissement du ciment injecté dans les joints, un réseau de drains fut placé entre les rampes d'injections pour faciliter l'essorage du coulis.

Les drains consistent en un tuyau en plastique, diamètre 1'', percé d'un certain nombre de petits trous, enveloppé d'une étoffe de fibres de verre à mailles très fines, permettant le passage de l'eau, mais retenant les grains de ciment.

Lors des injections, on constata malheureusement qu'un grand nombre de drains ne fonctionnaient pas. Déjà pendant le lavage des joints, avant l'injection, des tuyaux restèrent secs, ou presque, ce qui porte à croire que l'enveloppe en fibres de verre dut être endommagée pendant le bétonnage. On peut supposer que ce tissu très délicat résista mal aux chocs causés par la mise en œuvre et la pervibration du béton, le lait de ciment put s'introduire entre l'étoffe et le tuyau de plastique et obstruer soit le tuyau lui-même, soit les trous de drainage, en créant une croûte de ciment.

Les carottes, extraites le long des joints, pour juger de l'efficacité des injections, seront soumises à l'essai brésilien pour déterminer la résistance à la traction du joint. Mais il sera probablement difficile de déterminer l'influence du drainage sur la résistance obtenue et de découvrir les causes de non-fonctionnement d'une partie des réseaux drainants.

Bien qu'employé avec succès sur d'autres chantiers, on constata aussi pendant l'injection des joints que le boudin bitumineux assurant l'étanchéité le long du parement aval ne remplissait pas les conditions demandées. De nombreux endroits présentaient des infiltrations, déjà sous de faibles pressions d'injections. Les joints durent être colmatés de l'extérieur et les injections exécutées en utilisant un accélérateur de prise et répétées plusieurs fois. Ces résultats défavorables conduisirent au remplacement des boudins bitumineux dans la partie du barrage non encore exécutée par des bandes de caoutchouc synthétique. Ce procédé donna alors toute satisfaction.

3. GALERIE D'AMENEE SOUS-PRESSION

3. 1. DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES

La galerie sous-pression longue de 5660 m, d'un diamètre de 2,10 m et d'une pente de 4,5 ‰ comprend les ouvrages suivants:

- la prise d'eau dont la section d'entrée rectangulaire de 16 m² se réduit à la section circulaire de 3,3 m² de la galerie d'amenée sur une longueur de 10 m,
- la chambre de la vanne de prise avec sa galerie d'accès longue de 250 m, située à 270 m de la prise d'eau,
- la fenêtre de Brettmort longue de 270 m et de 4,5 m² de section à 787 m de la prise d'eau,
- la fenêtre des Charbonnières longue de 220 m et de 4,5 m² de section à 3126 m de la prise d'eau,
- la fenêtre du Fratzet longue de 101 m et de 4,5 m² de section à 5546 m de la prise d'eau,
- la chambre d'équilibre constituée par un puits vertical long de 3 m et de diamètre intérieur de 2,10 m, une chambre inférieure longue de 43 m et 3,40 m de diamètre intérieur, un puits incliné à 70 %, long de 180 m et d'un diamètre intérieur de 2,10 m et une chambre supérieure de 19 m de long et de 3 m de diamètre prolongée par une fenêtre de 17 m de long et de 3,3 m² de section,
- la chambre de la vanne de sécurité, située à la fin de la galerie en charge et en tête de la conduite forcée.

3. 2. GEOLOGIE

Les formations rocheuses traversées appartiennent à la série des schistes de Casanna qui constituent le noyau de la nappe du Grand-Saint-Bernard. Ils se composent de gneiss chloritoséricitiques, de gneiss à deux micas, de gneiss œillés, de micaschistes et de phyllites. L'alternance de ces roches est fréquente et très irrégulière. Les gneiss et micaschistes prédominent dans les 4 kilomètres amont et les phyllites dans les 2 kilomètres aval.

Les pendages varient entre 62° et 80° SE et la direction moyenne est presque parallèle à l'axe de la vallée.

Les fractures, nombreuses, se composent surtout des trois types suivants: failles, diaclases, zones broyées et laminées. Les zones broyées et laminées augmentent en nombre et en largeur de l'amont vers l'aval et affectent surtout les phyllites.

Les venues d'eau furent relativement importantes, au total 140 l/sec en été et 70 l/sec en hiver. Excepté quelques sources de 2 à 4 l/sec les venues d'eau étaient très peu concentrées, mais par contre réparties sous forme de suintements dans presque toute la galerie.

3. 3. EXCAVATION

L'excavation du tronçon prise d'eau — fenêtre des Charbonnières fut achevée en premier lieu. Seuls deux courts tronçons de phyllites nécessitèrent un soutènement. Les venues d'eau (débit max.: 48 l/sec) provoquèrent quelques perturbations dans le rythme de l'excavation.

L'excavation du tronçon fenêtre des Charbonnières — fenêtre du Fratzet fut terminée en dernier lieu. De nombreuses zones laminées et broyées nécessitèrent un sou-

tènement et freinèrent les travaux. Les venues d'eau, surtout celles rencontrées à l'avancement aval de la fenêtre des Charbonnières occasionnèrent également un ralentissement du travail.

Des moyens classiques, à une exception près, furent mis en œuvre pour exécuter ce travail:

Forage: Marteaux perforateurs de 23 kg avec des fleurets au carbure de tungstène.
Minage: Allumage pyrotechnique en été et électrique en hiver.
Marinage: Pelle de galerie (contenu de la benne 250 l).
Transport: Voie de 600 mm, wagon basculant de 2 m³ et tracteur électrique.

Sur le tronçon Charbonnières – Brettmort le transport du marin s'effectua, pour la première fois en Suisse (1956) à l'aide d'un «Salzgitter-Bunkerzug». L'avantage essentiel de ce train devait être de permettre le chargement continu de toute une volée et par conséquence de réduire considérablement le temps consacré à cette opération; un autre avantage étant la suppression de l'excavation de niches et de leur bétonnage ultérieur.

Toutefois, cette machine utilisée jusqu'alors uniquement dans des mines en Allemagne ne donna pas les résultats escomptés, car elle n'était pas encore adaptée aux dures exigences des chantiers de galerie des Alpes. Actuellement, il semble que ce train, qui entre temps a subi quelques modifications, donne entière satisfaction; d'ailleurs, 4 ou 5 de ces trains travaillent en ce moment dans notre pays. L'avancement moyen journalier obtenue avec cet équipement se situait entre 8 et 10 m en deux postes de 11 heures de 6 hommes, ce qui était nettement inférieur aux prévisions.

Dans les autres tronçons, l'avancement journalier moyen oscilla entre 8 et 10 m dans les zones de rocher stable et de 3 à 5 m dans celles pourvues d'un soutènement (2 postes de 6 hommes, travaillant 11 heures).

Les fréquentes variations de la qualité du rocher suscitèrent quelques difficultés pour l'établissement d'un plan de tir. La consommation d'explosif varia de 2 à 3,5 kg/m³ dans la partie amont de la galerie et de 0,2 à 2,0 kg dans la partie aval pourvue de soutènements.

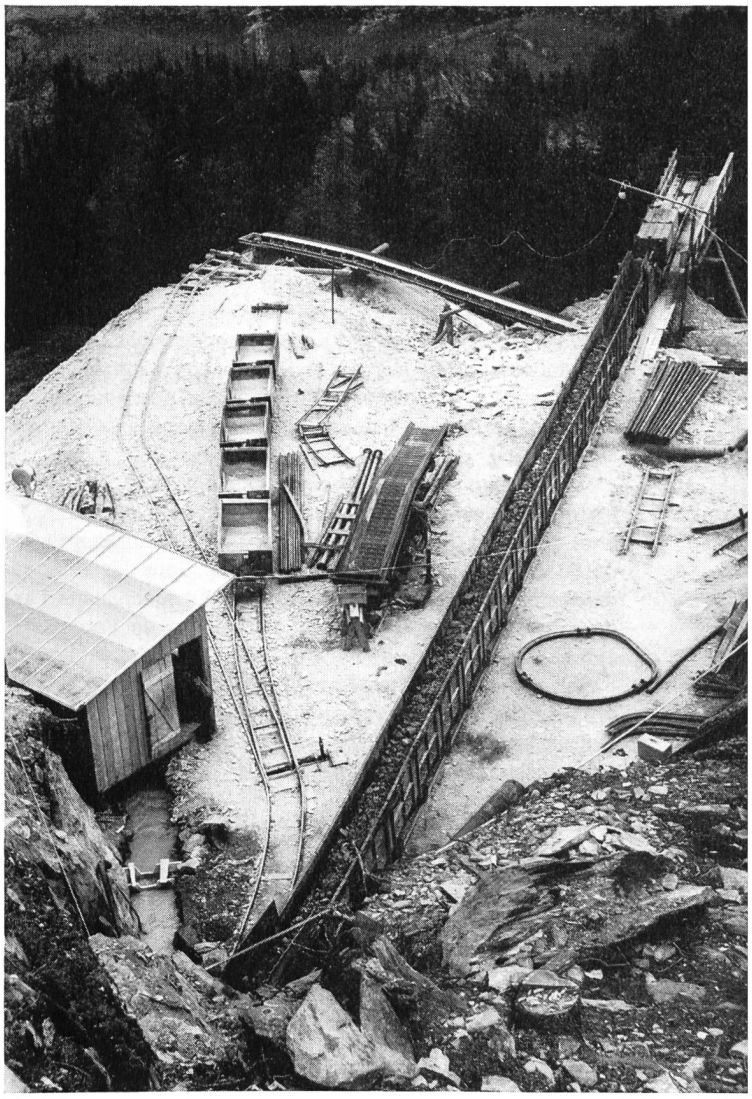


Fig. 8 Fenêtre des Charbonnières, train «Salzgitter»

3. 4. SOUTENEMENTS

Sur le tronçon Charbonnières – Fratzet, long de 2420 m, des soutènements furent nécessaires sur 1100 m. Les 30 premiers mètres de mauvais rocher rencontrés à partir de la fenêtre du Fratzet furent boisés, car les pronostics géologiques ne prevoyaient pas de grosses et longues difficultés. Toutefois, ce boisage lourd (cadre complets renforcés) céda à plusieurs endroits sous l'effet de la poussée du terrain et à maintes reprises il fallut changer des jambes brisées. Ce type de soutènement fut abandonné par la suite par crainte des difficultés que cela ne manquerait pas de créer lors de l'exécution du revêtement. Il fut remplacé par des cintres métalliques coulissants Toussaint-Heintzmann (TH). Les premiers cintres TH de profilé de 21 kg/m furent posés tous les mètres. Le garnissage entre les cintres TH et les parois fut réalisé à l'aide de fers Zorès et le remplissage avec du marin. Une semaine après leur mise en place, certains cintres accusaient une réduction du diamètre horizontal de quelque 5 cm. En plus, quelques cintres TH donnaient des signes évidents de flambement.

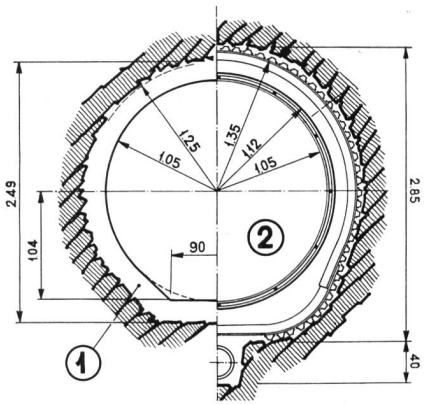


Fig. 9 Profil-type de la galerie d'amenée
1 Profil dans tronçon sans soutènement
2 Profil avec soutènement, gunite armée.

Pour éviter le renouvellement de telles déformations, les cintres TH furent contrôlés journellement et les variations du rocher examinées très attentivement. En outre, ces observations devaient être exploitées immédiatement et le remplissage exécuté très soigneusement, car un cintre est le plus efficace quand il s'applique étroitement au terrain. Cette méthode de travail permit de varier l'écartement des cintres TH de 80 à 150 cm et l'utilisation de profilés de 21 à 16,5 ou 13,5 kg/m, sans occasionner ultérieurement de grosses déformations. Notons encore que les déformations des cintres TH se manifestaient au cours de la première semaine, s'atténuaient ensuite très rapidement et tendaient

vers 0 dès la quatrième semaine. Le rendement moyen oscilla entre 3 et 5 cintres posés par jour en 2 postes de 6 hommes de 11 heures.

3. 5. DRAINAGE

Le drainage fut exécuté immédiatement après l'achèvement de la mise en profil de la galerie. Au cours des travaux d'excavation l'eau coulait dans une rigole aménagée sommairement entre la voie et le parement dans les tronçons sans soutènement et entre les rails de la voie dans les zones avec soutènement. Dans cette galerie de 5 m² de section d'excavation il était d'ailleurs pratiquement impossible d'exécuter simultanément l'excavation et le drainage sans ralentir le rythme de l'avancement. Cette façon de procéder permet en outre de donner à coup sûr au drainage sa dimension rationnelle.

La mise en place de tuyaux en ciment de 35 cm de diamètre dans les tronçons où l'écartement des cintres TH était de 80 cm fut résolu simplement en utilisant des tuyaux de 50 cm de long. Notons encore que dans les tronçons pourvus de soutènement, le drainage fut placé dans l'axe de la galerie pour éviter une dissymétrie de l'appui des cintres TH pendant les travaux et faciliter l'exécution du travail. Dans les autres tronçons, il fut placé sur le côté droit de la galerie. L'avancement journalier moyen se situe aux environs de 20 m dans les zones avec soutènement et 40 m dans les autres tronçons.

3. 6. ETANCHEMENT DES VENUES D'EAU

Simultanément avec la pose du drainage, il fut procédé aux travaux d'étanchements de la galerie. La méthode classique dite de Oberhasli fut appliquée dans les tronçons sans soutènement.

Les sections avec soutènement furent tout d'abord gunitées, les venues d'eau étaient de cette manière concentrées et pouvaient alors être traitées selon la méthode usuelle. Pour faciliter l'accrochage de la gunite au fer Zorès, un treillis métallique souple fut fixé à l'aide de fers ronds de diamètre 8 mm calés derrière les cintres contre l'enfilage.

3. 7. REVETEMENT

La charge hydraulique de service de cette galerie peut atteindre 10 kg/cm² au droit de la chambre d'équilibre et 7 kg/cm² près de la vanne de prise. Dans les tronçons où la couverture est supérieure ou égale à h, (h exprimant la charge maximum de la galerie en colonne d'eau), le rôle du revêtement était surtout d'assurer la parfaite stabilité mécanique de la roche et d'améliorer les conditions d'écoulement. Par contre aux extrémités de la galerie où la couverture était presque égale et même inférieure à h, le rôle du revêtement était en plus d'assurer une étanchéité aussi parfaite que possible.

Dans le projet, trois types de revêtement de section circulaire avaient été prévus, tous en béton P 250, respectivement de 20, 25 et 30 cm d'épaisseur. Cependant, les accidents géologiques rencontrés au cours de l'excavation incitaient à un examen plus attentif du choix et des dimensions de revêtement.

Les données suivantes étaient à notre disposition:

relevé géologique exécuté après l'excavation,
modules dynamiques d'élasticité,
observations relevées au cours des travaux.

Pour obtenir un point de comparaison entre la résistance à la charge hydraulique du rocher pourvu d'un revêtement et les données ci-dessus, un essai de mise en pression d'un tronçon de la galerie s'avérait nécessaire. Par la même occasion cet essai pouvait nous renseigner sur l'évolution des pertes d'eau.

Ce tronçon fut aménagé dans une zone avec soutènement où le module dynamique d'élasticité s'élevait à 220 t/cm². Long de 60 m, il fut pourvu d'un revêtement de 30 cm d'épaisseur, dont la moitié amont était renforcée par une armature (5 ∅ 16 mm soit 10 cm² par m de galerie). Des injections de remplissage et de serrage et aux extrémités des écrans d'injection réalisés à partir de forages longs de 4 m complétaient le revêtement. Deux bouchons, en béton armé, munis de trou d'homme de 600 mm en fermaient les extrémités. Une cloison en parpaings, également pourvue d'un trou d'homme, séparait la partie armée de celle non-armée.

Les pertes d'eau des deux parties séparément et les déformations du ∅ de la partie non-armée furent mesurées. Les essais durèrent environ deux mois et permirent les mesures et observations suivantes:

Pertes d'eau: pour une pression intérieure de 9 kg/cm²

Durée	heures	0	30	60
Partie armée	1/sec	1,5	1,2	0,9
Partie non-armée	1/sec	2,6	2,1	1,5

Fissuration:
Fissures de l'ordre du mm aux joints de travail dans le tronçon non-armé. Microfissures réparties sur toute la surface dans le tronçon armé.

Déformation du ∅:
Allongement moyen de 0,6 mm pour une charge de 9 kg/cm²

A la suite de ces essais, les dispositions suivantes furent prises quant aux dimensions du revêtement:

le tronçon situé entre la vanne de sécurité et la fenêtre du Fratzet fut pourvu d'un blindage, soit 108 m, car la couverture était très inférieure à h,

à la suite de ce tronçon, 680 m de galerie furent revêtus d'un anneau de béton de 23 cm d'épaisseur et de 7 cm de gunite armée, car dans cette partie de la galerie le module d'élasticité dynamique se situait presque constamment au-dessous de 220 t/cm²,

ensuite les tronçons pourvus d'un soutènement et ceux où le module dynamique d'élasticité était inférieur à 300 t/cm² furent revêtus de 30 cm de béton et armés comme une partie du tronçon de l'essai de pression l'avait été,

le reste de la galerie fut revêtu de 20 cm de béton avec une armature de liaison aux joints de travail.

Le bétonnage de la galerie s'exécuta en deux étapes: d'abord le radier, puis les piédroits et la calotte. Le béton fut mis en place à la main, derrière des coffrages en aluminium et compacté à l'aide de pervibrateurs à air comprimé de 60 et 100 mm. Des avancements moyens journaliers de 25 m pour le radier et de 35 m pour le reste du revêtement furent réalisés en deux postes de 11 heures. La pose des armatures et le gunitage furent exécutés à la cadence de 11 m/jour, en 2 postes de 11 heures.

Remarquons encore que, à l'exception du tronçon de gunite armée, le profil type de la galerie n'est pas circulaire, en effet le radier est horizontal sur une largeur de 90 cm. Ce profil fut exécuté à la demande de l'entreprise, car il présentait un grand avantage pour la pose des voies, le trafic en galerie et simplifiait le coffrage du radier. Toutefois des désavantages importants se révélèrent au moment des injections, lorsque sous l'effet de la pression de l'eau extérieure et parfois des injections le radier se fissura.

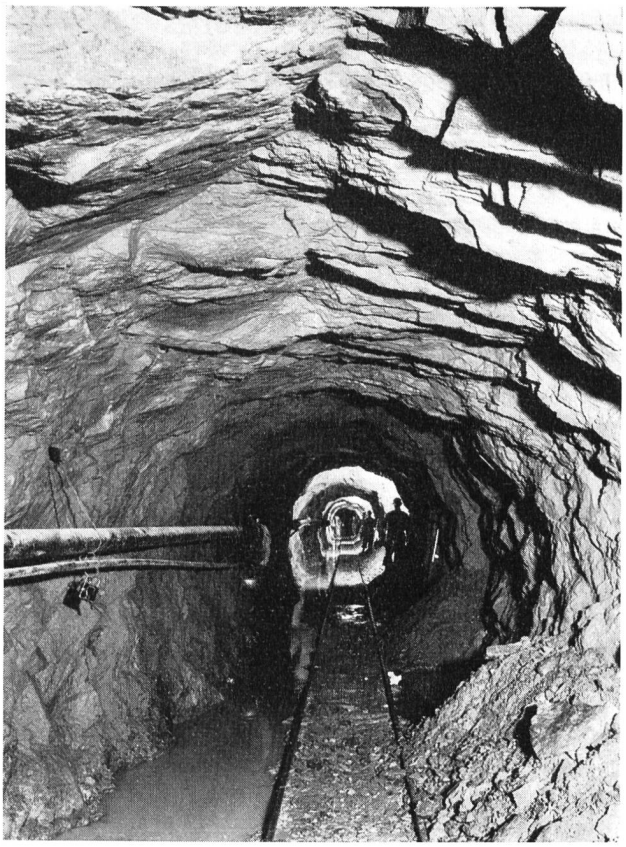


Fig. 10 Galerie d'amenée, entre les Toules et Brettmort.

3. 8. INJECTIONS

Des centrales d'injections furent aménagées à l'entrée des fenêtres du Fratzet, des Charbonnières et à la prise d'eau; elles se composaient d'une ou deux pompes à piston de 2'' avec malaxeur ordinaire, d'un malaxeur à haute turbulence et d'un dispositif de stockage du sable fin et du ciment. Le coulis était convoyé dans des tuyaux de 1'' jusqu'au lieu d'utilisation. Si la distance de transport excédait 2 km, la conduite de 1'' alimentait une pompe dans la galerie à partir de laquelle se faisaient les injections, tandis que pour une distance de transport inférieure à 2 km, l'injection se faisait directement. Des manomètres placés à moins de 20 m de l'obturateur et une liaison téléphonique assuraient le bon fonctionnement de l'installation. Dans les tronçons difficiles à injecter, les travaux furent toujours exécutés à l'aide d'une pompe installée sur place.

Les travaux furent exécutés dans l'ordre suivant: injection du drainage, injection à basse pression (6 à 7 kg/cm²) ou de remplissage, injection à haute pression ou de serrage. Les coulis utilisés furent les suivants: pour le colmatage du drainage un mélange de ciment et de sable dans la proportion de 1 à 2 en poids plus de l'eau, pour les injections de remplissage, un mélange de sable et de ciment dans la proportion de 1 à 1 en poids plus de l'eau et pour les injections de serrage un mélange de ciment et d'eau.

L'élimination complète des venues d'eau ne fut pas réalisée partout, cela n'était d'ailleurs pas nécessaire, car la pression des venues d'eau qui ne pouvaient être éliminées était supérieure à la future charge de service de la galerie. Cependant, le débit des venues d'eau qui était au minimum de 70 l/sec avant les injections fut réduit à 15 l/sec. Les absorptions de coulis dans cette galerie furent grandes, 400 kg/m dans les tronçons amont où le rocher était bon et 1800 kg/m dans le tronçon aval avec soutènements, ce qui nous donne une moyenne de 1000 kg/m pour l'ensemble de la galerie.

3. 9. ESSAI DE MISE EN PRESSION DE LA GALERIE

L'essai de mise en pression de la galerie, dernier travail avant la mise en service, allait montrer si les dimensions et la qualité de revêtement (béton et injections) satisferaient aux sollicitations de la charge de service et aux exigences de l'étanchéité.

La mise en pression se fit par paliers successifs de 0,5 kg/cm². Après 8 jours, la charge maximum était atteinte sans incident et maintenue pendant 24 heures. Après 10 jours, l'essai de mise en pression était achevé, les impé-

Fig. 11 Galerie d'amenée, entre les Charbonnières et le Fratzet.

ratifs de l'exploitation ne permettant malheureusement pas de le prolonger.

Les apports naturels de la galerie, 15 l/sec, permirent de compenser les pertes jusqu'à 3 kg/cm² au-dessous de la charge maximum, c'est-à-dire jusqu'à la cote 1780 m, la cote maximum étant de 1810 m. Rappelons que la charge maximum au droit de la vanne de prise est de 7 kg/cm² et dans la galerie au droit de la chambre d'équilibre de 10 kg/cm². Lorsque la pression maximum fut atteinte, les pertes étaient de 15 l/sec supérieures aux apports naturels, ce qui pouvait être considéré comme très satisfaisant.

Illustrations

Fig. 1, 8, 10, 11: Photos F. Lehner, Sirnach.
Fig. 5, 6: Photos Germond, Lausanne.

EINWEIHUNG DER 1. ETAPPE DER VORDERRHEIN-KRAFTWERKE

DK. 621.221

Bei zusehends sich aufheiterndem Abendhimmel begab sich eine grosse Schar Geladener auf etliche Postautos verteilt von Chur zum Parc-Hotel Flims-Waldhaus, um am 27. Juni 1963 bei schönstem Sommerwetter als Gäste der Kraftwerke Vorderrhein AG einen Tag der Freude zu begehen; galt es doch, verschiedene Anlagen — die Talsperre Nalps und die Zentralen Sedrun und Tavanasa — der grosszügig konzipierten Kraftwerkgruppe am Vorderrhein feierlich einzuweihen. Von der ersten Ausbau-Etappe ist zur Zeit die Bogentalsperre Curnera im Bau und die Vorarbeiten für die Schaffung des grössten Speicherbekkens dieser Werkgruppe — Sta. Maria am Lukmanierpass — wurden aufgenommen. Die Disposition dieser von den Nordostschweizerischen Kraftwerken (NOK) geplanten bedeutenden Kraftwerkgruppe ist aus Fig. 1 ersichtlich; über das Projekt wurde in dieser Zeitschrift bereits eingehend berichtet und es sei hier besonders darauf verwiesen.[1] Die wichtigsten technischen Daten der 1. Etappe der Vorderrhein-Kraftwerke sind aus den beigegebenen Tabellen ersichtlich.

Der offiziellen Ansprache von Dr. P. Meierhans, Präsident des Verwaltungsrates der NOK, seien auszugsweise folgende Ausführungen entnommen:

Es sind genau zehn Jahre her, seit der Kleine Rat des Kantons Graubünden dem Verwaltungsratsausschuss der NOK den Vorschlag unterbreitete, die NOK möchte sich

[1] WEW 1956 S. 72/86

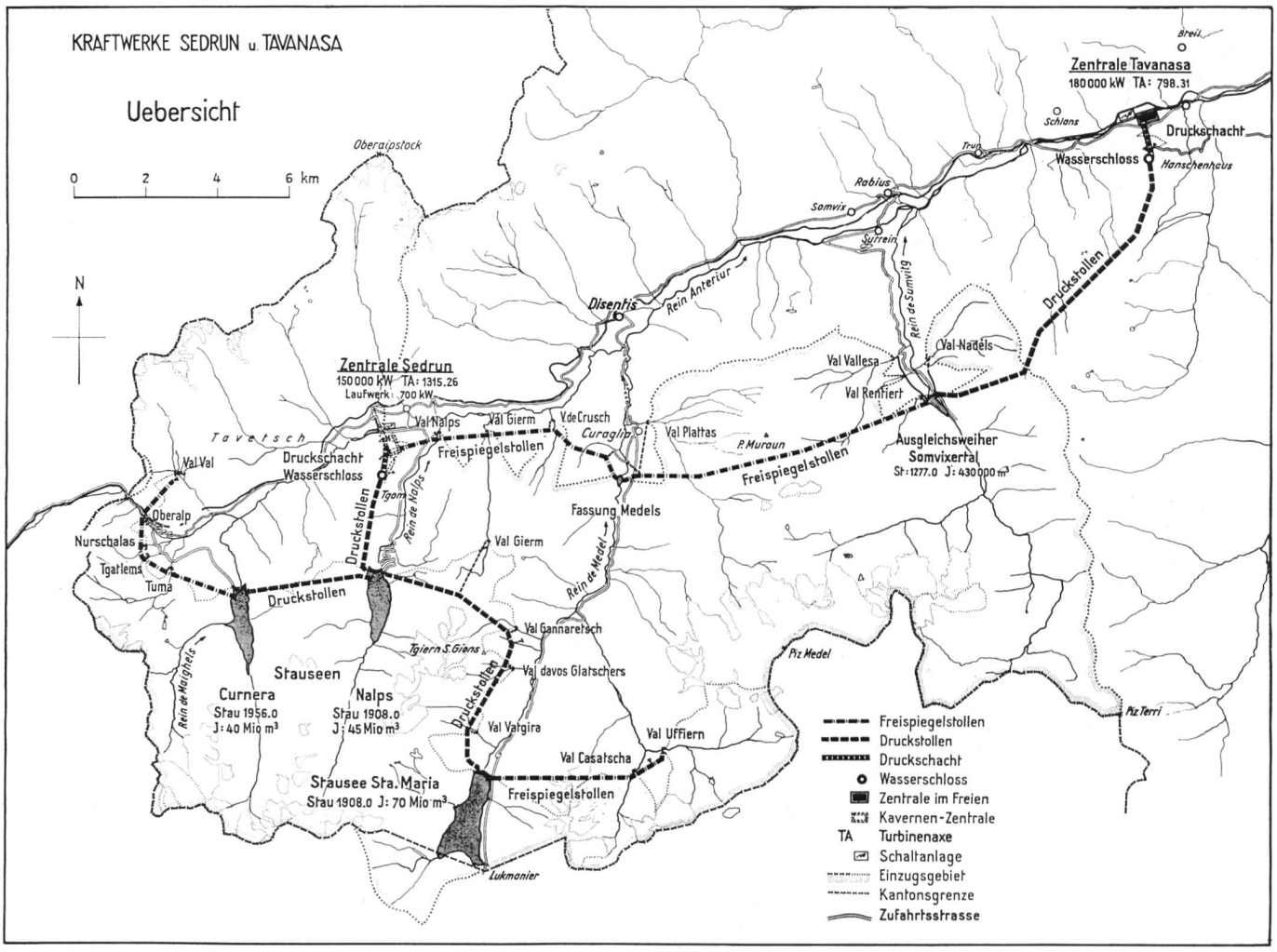


Fig. 1 Uebersichtsplan der Kraftwerkgruppe Vorderrhein, 1. Etappe.