

Barrage-poids de la Grande Dixence

Autor(en): **Desmeules, J,**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **53 (1961)**

Heft 6-7

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-920760>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

néanmoins intéressant de signaler, qu'en général, le béton de barrage se comporte comme un matériau élastique, compte tenu des températures, mais, qu'en revanche, la roche présente des déformations plus importantes que celles auxquelles on pouvait s'attendre, puis-

que la flèche d'un barrage de l'ordre de 100 m de hauteur, due à la rotation du sol de fondation, est notablement plus grande que celle due à l'élasticité du béton. En outre, la roche présente une plasticité qui ne se stabilise qu'après plusieurs années.

Barrage-poids de la Grande Dixence

par J. Desmeules, directeur de Grande Dixence S. A., Lausanne

CDU 627.824.7

L'aménagement hydro-électrique de la Grande Dixence utilise les eaux des torrents de la rive gauche du Rhône dans les Alpes valaisannes, depuis la Viège de Zermatt jusqu'à la Borgne d'Arolla.

Un réseau de galeries d'adduction d'environ 100 km de longueur amène ces eaux au bassin d'accumulation situé dans le Val des Dix (haute Vallée d'Hérémence) à 17 km à vol d'oiseau au sud de Sion.

La retenue créée par le barrage-poids de la Grande Dixence a une contenance de 400 000 000 m³ à la cote maximum de 2364 au-dessus de la mer.

1. Caractéristiques générales

Les dimensions exceptionnelles de l'ensemble de l'aménagement et du barrage en particulier imposèrent une réalisation par étapes successives afin d'adapter les dépenses de construction et la cadence de la production d'énergie à celles de l'augmentation des besoins de la consommation. On a ainsi cherché à réduire au minimum nécessaire le volume de béton de chaque étape. Le projet de construction par étapes fut établi tout d'abord en admettant que la capacité de bétonnage des installations et les conditions météorologiques à haute altitude

Fig. 1 GRANDE DIXENCE

Situation du barrage et des ouvrages annexes

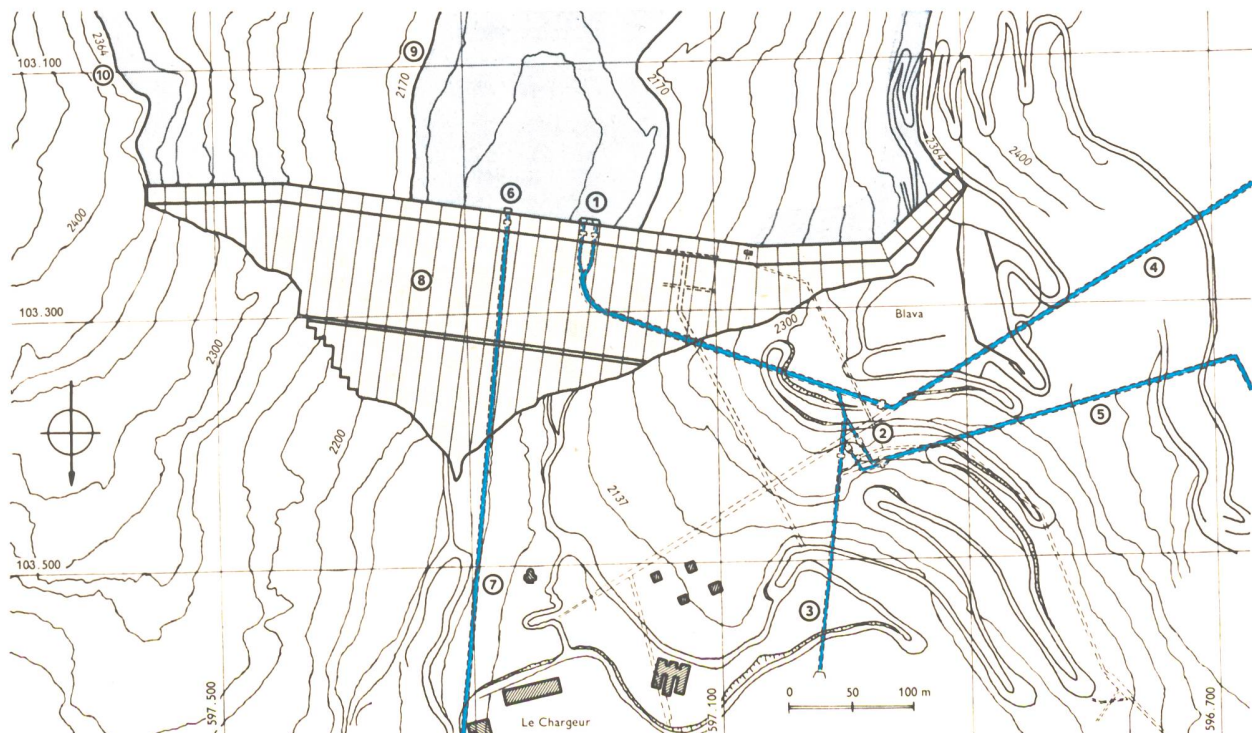
Lageplan der Sperrenstelle und der zugehörigen Bauwerke

Situation of the dam and related structures

- ① Prise d'eau (avec vannes batardeaux)
- ② Chambre des vannes
- ③ Vidange principale
- ④ Galerie d'aménée à l'usine de Fionnay (45 m³/sec.)
- ⑤ Galerie d'aménée à l'usine de Chandoline EOS (10 m³/sec.)
- ⑥ Prise d'eau de la vidange de fond
- ⑦ Galerie d'évacuation de la vidange de fond
- ⑧ Joints transversaux
- ⑨ Retenue minimum (2170)
- ⑩ Retenue maximum (2364)

- Einlaufbauwerk mit Schütze
- Schieberkammer
- Hauptentleerungsstollen
- Zuleitungsstollen zur Zentrale Fionnay (45 m³/s)
- Zuleitungsstollen zur Zentrale Chandoline EOS (10 m³/s)
- Einlaufbauwerk des Grundablasses
- Grundablaßstollen
- Querfugen
- Tiefste Absenkung (2170)
- Höchstes Stauziel (2364)

- Intake structure with gates
- Gate chamber
- Main outlet
- Main intake tunnel for the Fionnay power station (Draught capacity 45 m³/sec)
- Intake tunnel for the Chandoline power station EOS (Draught capacity 10 m³/sec)
- Intake structure for lower outlet
- Lower outlet tunnel
- Transverse joints
- Minimum level of water retained (2170)
- Maximum level of water retained (2364)



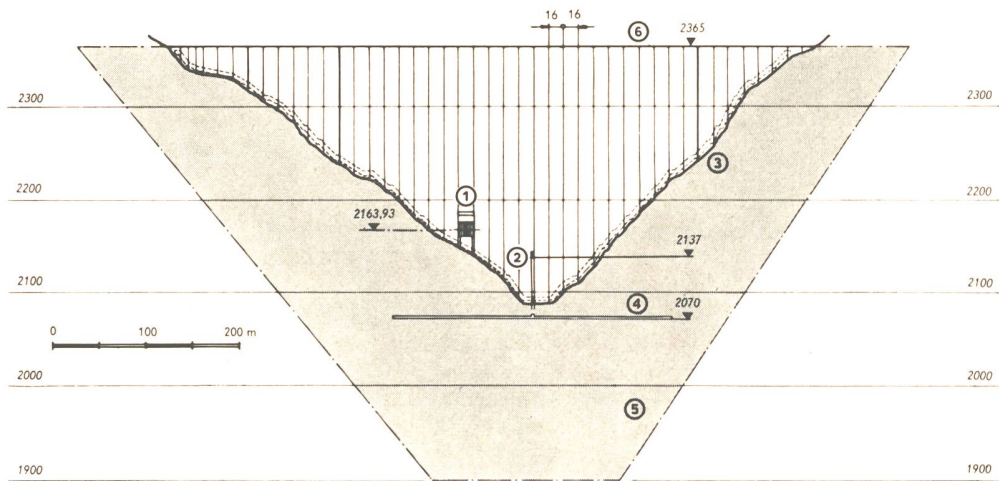


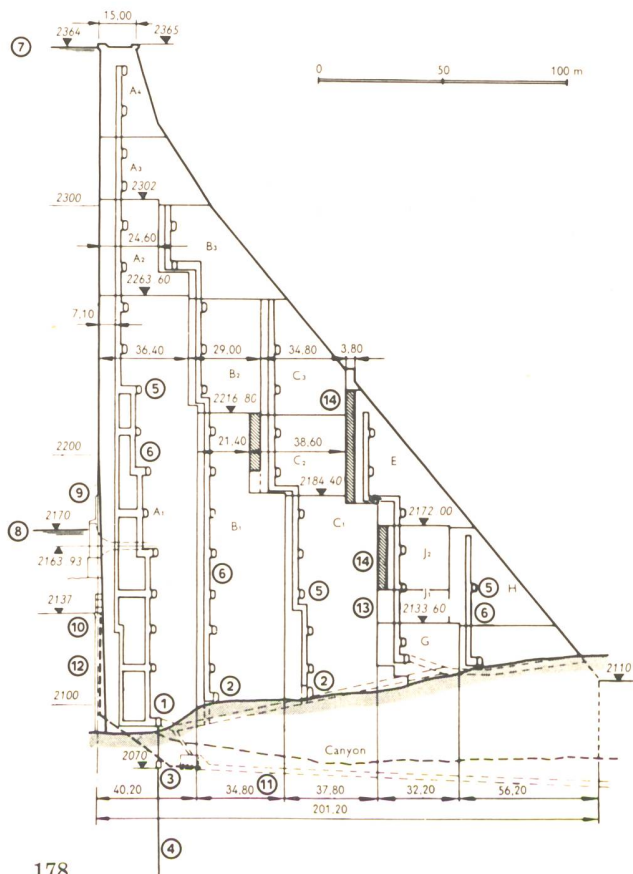
Fig. 2 Elévation amont du barrage
 ① Ouvrage d'entrée de la prise d'eau et vidange principale
 ② Ouvrage d'entrée de la vidange de fond
 ③ Galerie de fond
 ④ Galerie de forage et d'injection
 ⑤ Voile d'étanchéité
 ⑥ Joints de contraction transversaux

Aufriß, wasserseitig
 ① Einlaufbauwerk des Zuleitungs- und Hauptentleerungsstollens
 ② Einlaufbauwerk des Grundablasses
 ③ Begehungsstollen
 ④ Bohr- und Injektionsstollen
 ⑤ Dichtungsschirm
 ⑥ Querdehnungsfugen

Upstream elevation
 ① Structure for main intake and outlet
 ② Structure for lower outlet
 ③ Foundation gallery
 ④ Foundation tunnel for grouting
 ⑤ Foundation grouting
 ⑥ Transverse contraction joints

Fig. 3 Profil-type du barrage dans le plan du joint transversal — Sperrenquerschnitt in der Ebene einer Querfuge — Typical dam section through a transverse joint

- ① Galerie de fond — Begehungsstollen — Foundation gallery
- ② Galeries de drainage — Drainagestollen — Drainage gallery
- ③ Galerie de forage et d'injection — Bohr- und Injektionsstollen — Foundation tunnel for grouting
- ④ Voile d'injection — Dichtungsschirm — Grouting curtain
- ⑤ Galeries horizontales — Horizontalstollen — Horizontal galleries
- ⑥ Puits verticaux de refroidissement et d'injection — Vertikalschächte für Kühlung und Verpressung — Vertical grouting and cooling shafts
- ⑦ Niveau maximum de la retenue — Maximales Stauziel — Maximum high water level
- ⑧ Niveau minimum de la retenue — Minimale Absenkung — Minimum low water level
- ⑨ Ouvrage d'entrée de la prise d'eau et de la vidange principale — Einlaufbauwerk des Zuleitungs- und Entleerungsstollens — Structure for main intake and outlet
- ⑩ Ouvrage d'entrée de la vidange de fond — Einlaufbauwerk des Grundablasses — Intake structure for lower outlet
- ⑪ Galerie d'évacuation de la vidange de fond — Grundablaßstollen — Outlet tunnel
- ⑫ Surplomb de 3 % — Überhang 3 % — Overhang 3 %
- ⑬ Joints longitudinaux — Längsfugen — Longitudinal joints
- ⑭ Brèches de clavage (largeur: 3,80 m) — Verkeilfuge (Breite: 3,80 m) — Interlocking joint (width 3,80 m)



permettraient de réaliser l'ouvrage en 15 à 17 ans. Les expériences faites lors des premières campagnes permettent de constater qu'au lieu de 500 000 m³ de béton par campagne comme admis par mesure de prudence, au début, il était possible d'en mettre en place plus de 1 000 000 m³. De ce fait, il a été possible de regrouper les étapes et de prévoir l'achèvement du barrage en 1961 au lieu de 1965. On a ainsi pu supprimer les phases intermédiaires et passer directement de la 1^{re} phase (avec retenue à la cote 2162) au barrage achevé. La principale caractéristique de ce barrage est la simultanéité de la variation saisonnière régulière du niveau du lac — dès l'achèvement de la première étape en 1957 — avec le bétonnage des zones aval au-dessous de ce niveau. Il en résulte que les bétons mis en place à l'aval du barrage lorsque le lac est à un niveau supérieur à celui de la couche en travail, ne doivent pas empêcher les bétons anciens chargés par la poussée de l'eau de reprendre leur position déchargée lorsque le lac redescend. En effet, une telle entrave réduirait les contraintes verticales de compression au parement amont et rendrait difficile la réalisation de la première des conditions imposées pour le calcul des contraintes dans l'ouvrage.¹

Il a donc été nécessaire d'introduire des «brèches de clavage» dont le rôle est d'isoler du barrage chargé par la poussée de l'eau variable au cours de l'année, les zones en cours de bétonnage. Trois de ces brèches entre les blocs B1/C2, C2/E et C1/J2 ont ainsi été ménagées. Leur remplissage a été exécuté à une époque ultérieure lorsque le niveau du lac avait été abaissé, en général au printemps suivant. Le volume total de béton de ces brèches est de 57 000 m³.

Le barrage est bétonné par plots de 16 m de largeur séparés par des joints transversaux munis de dispositifs d'étanchéité. Les calculs de stabilité ont été conduits en admettant que chaque plot résistait seul à la poussée de l'eau à laquelle il est soumis; en outre, les joints transversaux, dont la surface n'est pas plane mais «gauffrée», sont munis de dispositifs d'injections permettant par plusieurs réinjections successives la réalisation d'un bloc monolithique dont la stabilité plus grande et la résistance améliorée n'ont pas été considérées dans le calcul.

Chaque plot a lui-même été divisé, pour les commodités de l'exécution et pour réduire les risques de fissures de retrait, en blocs séparés par des joints longitu-

¹ Toute cette question a été traitée en détail dans la communication No 34 du 5^e Congrès des Grands Barrages, à Paris en 1955.

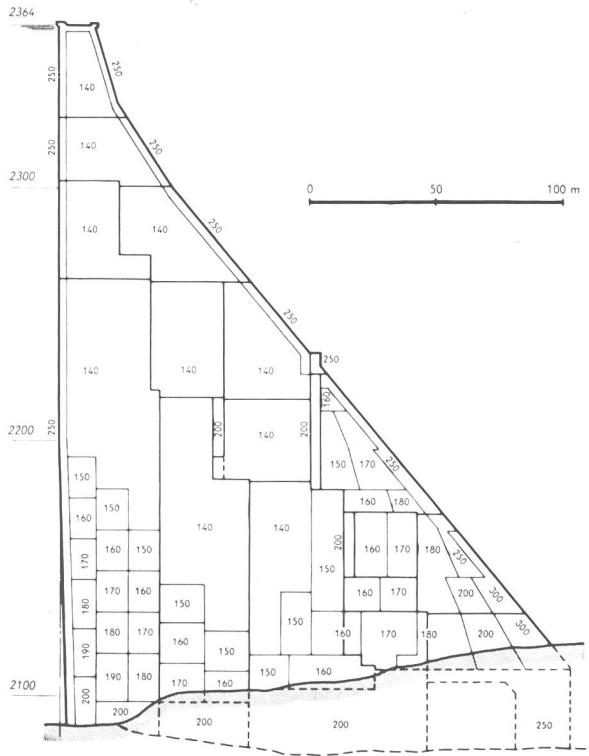


Fig. 4
Répartition des dosages en ciment dans une coupe transversale au milieu du barrage. — Dosages indiqués en kg de ciment Portland normal par m³ de béton fini (kg/m³).

Aufteilung der Betonarten nach Zementgehalt in einem Schnitt im Zentrum der Sperre. — Zementgehalt in kg normalen Portlandzementes auf einen m³ fertigen Beton (kg/m³).

Repartition of concrete with different cement contents in a transversal section in the middle of the dam. — Cement content indicated in kilos of normal Portland cement per m³ finished concrete (kg/m³).

dinaux dont les faces sont découpées en dents de scie. La forme exacte à donner à ces dents de scie pour assurer une parfaite transmission des efforts d'un bloc à l'autre a fait l'objet de recherches systématiques en laboratoire. Comme pour les brèches de clavage, l'injection des joints longitudinaux se fait lorsque le niveau du lac est abaissé.

2. Calcul des contraintes

Dans l'établissement du profil type du barrage-poids, on n'a pas tenu compte du soulagement dû à l'encastrement latéral et on a utilisé la méthode de calcul classique des barrages-poids. Les éléments entrant en ligne de compte pour le calcul statique ont été: le poids propre du barrage, la poussée de l'eau et, dans le cas d'un tremblement de terre, les forces d'inertie du barrage lui-même et de la masse d'eau qu'il retient. Pour ce dernier point les surpressions dues à l'inertie de l'eau ont été déterminées par la méthode de Westergaard (intensité IX de Mercalli).

Les deux conditions imposées dans le calcul du profil type et qui doivent être satisfaites dans tout l'ouvrage ont été les suivantes:

1. Lorsque l'ouvrage est soumis à la seule poussée de l'eau correspondant à l'arasée du couronnement à 2365 m, les contraintes de compression sur le parement amont doivent être à tous les niveaux supérieures à 85 % de la pression hydrostatique (mesurée par la hauteur d'eau au dessus du niveau considéré);
2. lorsque l'ouvrage est soumis, lors d'un tremblement de terre, et avec retenue normale maximum à

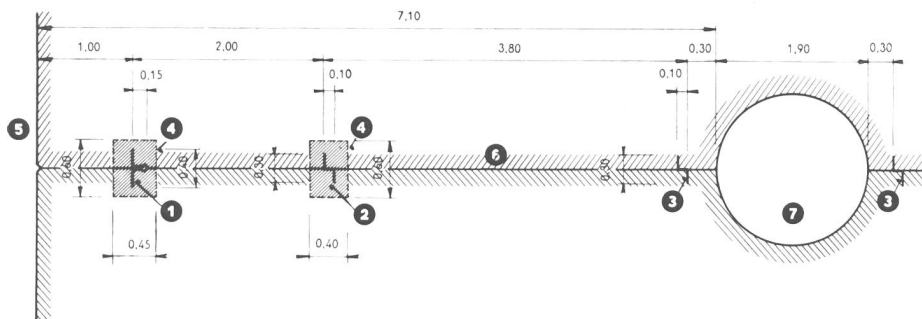


Fig. 5
Détail d'un joint d'étanchéité
Detail einer Dichtungsfuge
Detail of a contraction joint

- 1 Feuille de cuivre en V, épaisseur 1,5 mm (étanchéité du joint) — Kupferblech in V-Form, Blechstärke 1,5 mm (Fugenabdichtung) — Copper sealing strip of V-shape type, thickness 1,5 mm (water stops).
- 2 Feuille de cuivre en Z, épaisseur 1,5 mm (étanchéité du joint) — Kupferblech in Z-Form, Blechstärke 1,5 mm (Fugenabdichtung) — Copper sealing strip of Z-shape type, thickness 1,5 mm (water stops).
- 3 Tôle d'acier en Z, épaisseur 1,5 mm (pour arrêt d'injection) — Eisenblech in Z-Form, Blechstärke 1,5 mm (Abdichtung gegen Preßgut) — Metal sealing strip of Z-shape type, thickness 1,5 mm (grout stops).
- 4 Béton de granulométrie 0—40 mm « Béton mit Korngrößen 0—40 mm — Concrete with fine aggregate from 0—40 mm.
- 5 Parement amont — Wasserseite — Up stream face.
- 6 Joint transversal — Querfuge — Transverse joint.
- 7 Puits de visite — Prüfschacht — Inspection shaft.

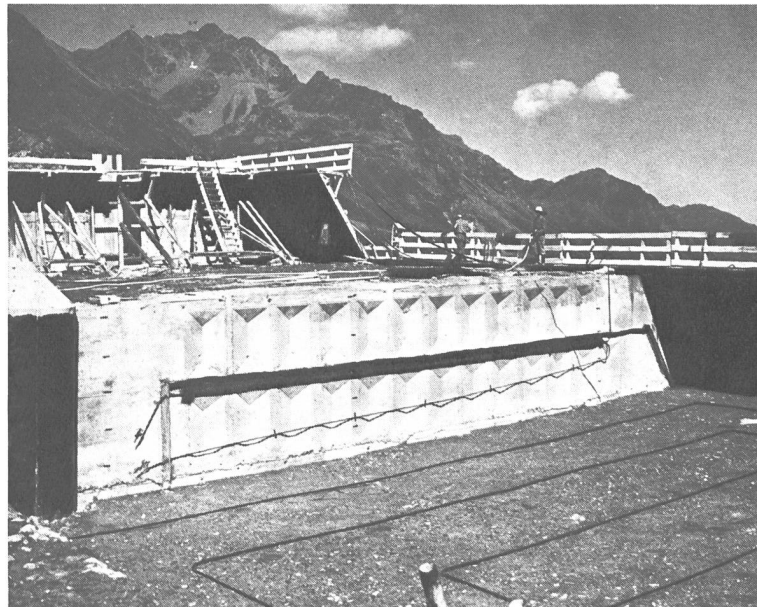
Fig. 6
Vue d'une levée prête au bétonnage; on remarque le serpentín de tubes de réfrigération posés sur la levée précédente. Au milieu de la photo, le joint transversal «gauffré» avec les tubes d'injection.

A gauche le coffrage d'un puits vertical de visite — à droite, le coffrage incliné du parement aval.

Ansicht eines für die Betonierung bereitgestellten Blockes; man beachte die auf der fertig betonierten Schicht verlegte Kühlleitung. In der Mitte ist die verzahnte Querfuge mit der Injektionsleitung sichtbar. Links die Verschalung eines vertikalen Kontrollschachtes; rechts die geneigte Verschalung der Mauer-Luftseite.

View of a lift ready for further concreting. Note cooling water piping installed on completed lift. The keyed transverse joint with grouting pipes is visible in the middle of the photograph.

On the left, forms for a vertical control shaft; on the right, inclined formwork for the downstream face.



2364 m, à son poids propre, aux forces d'inertie du barrage lui-même, à la poussée de l'eau et à la sous-pression admise avec un coefficient de 100 % à l'amont, la résultante de ces forces doit rester à l'intérieur de deux tiers centraux dans chaque section horizontale.

Dans le cas où l'on ne considère pas l'effet du tremblement de terre, la contrainte maximum calculée dans l'ouvrage sera de 75 kg/cm². Cette contrainte se produit au pied aval du barrage. Au même endroit, sous l'effet du tremblement de terre, la compression peut atteindre 130 kg/cm². Sous l'effet du poids propre, les contraintes sont maxima sur le parement amont. Elles atteignent 73 kg/cm² au niveau 2080 m.

On a admis que les contraintes normales sur une section horizontale se répartissent linéairement suivant la règle de Navier, pour toutes les assises se trouvant dans les deux tiers supérieurs de chaque plot. Pour tenir compte de l'importante modification de la répartition des contraintes dans les assises proches des fondations, et pour le calcul des contraintes déterminantes dans la fixation des dosages en ciment, on a augmenté de 50 % les contraintes maxima des parements amont et aval, calculées d'après la règle de Navier. Cette majoration des contraintes est décroissante depuis le parement où elle est maximum jusqu'à une distance égale au 15 % de la largeur du barrage à cet endroit.

3. Rocher de fondation à l'emplacement du barrage

a) Géologie

Les roches formant le soubassement rocheux du barrage sont des roches vertes du type prasinite se rattachant aux schistes de Casanna inférieurs de la nappe du

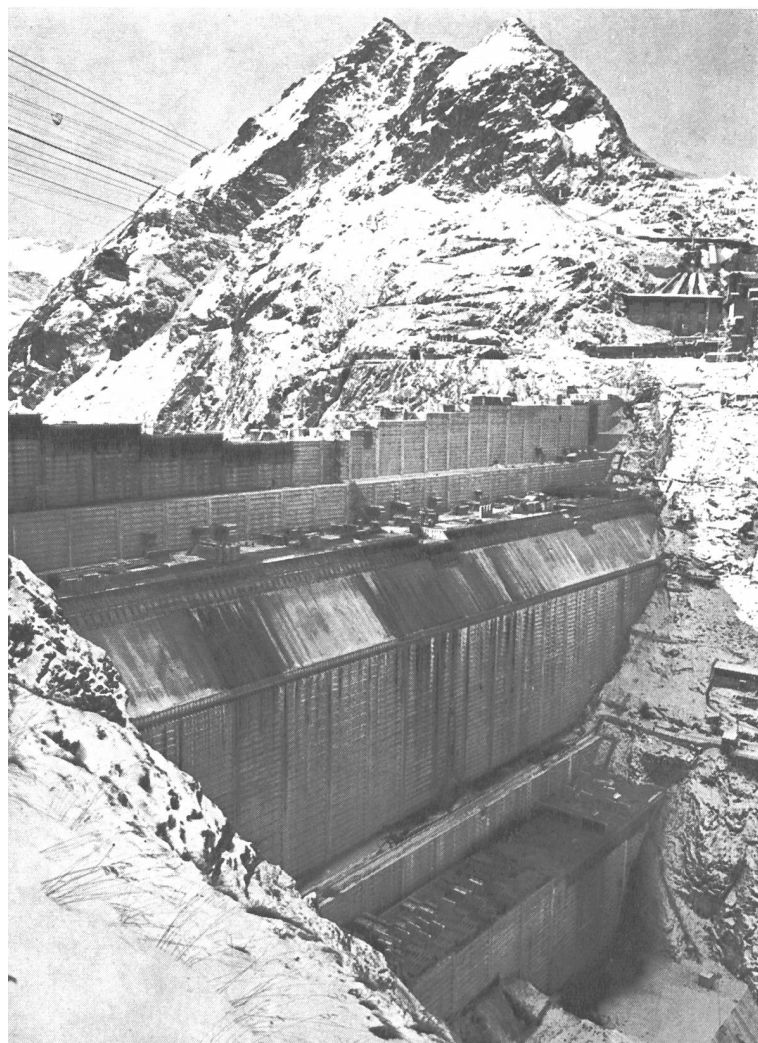


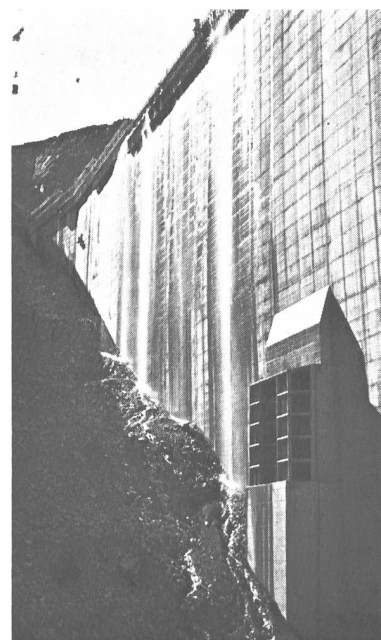
Fig. 8

Vue d'amont vers la prise d'eau principale (en juillet 1957).

Wasserseitige Ansicht mit der Hauptwasserfassung (Juli 1957).

View looking downstream towards the main intake (July 1957).

(Photo Germond, Lausanne)



Grand-St-Bernard. Ce sont des roches dures, fissurées, mais pratiquement inaltérables par les eaux d'infiltration. L'épaisseur moyenne de la zone d'altération superficielle est d'environ 2,50 m.

La structure de la roche de fondation est favorable: sa direction ne s'écarte en effet que de 16° de celle du barrage et son pendage, très redressé, oscille autour de la verticale.

b) Géotechnique

Le module d'élasticité moyen de la roche de fondation a été déterminé par des essais dynamiques et statiques. Ces essais avaient pour but de connaître les bases permettant d'une part de calculer des déformations des flancs de la vallée sous la poussée de l'eau et ainsi l'ouverture probable des joints transversaux, et d'autre part de vérifier le comportement de la fondation sous l'effet des efforts transmis par le barrage. Les principes de ces mesures ont été les suivants:

a) pour les mesures du module statique, le rocher a été soumis à des forces concentrées de 725 tonnes à l'intérieur de cavernes excavées dans le massif d'appui

Fig. 7

Vue depuis la rive droite aval en octobre 1959. — Remarquer les fragments achevés du parement aval et les faces en dents de scie des joints longitudinaux. Le haut de la brèche entre les blocs est visible.

Ansicht der Luftseite von der rechten Talflanke aus (Oktober 1959). — Man beachte die teilweise vollendete luftseitige Maueroberfläche und die Verzahnung der Längsfugen. Der obere Teil der Öffnung zwischen den Blöcken ist sichtbar.

View from right bank looking upstream (October 1959). — Note the completed sections of the downstream side and the keys of the longitudinal joints. The upper part of the opening between blocs can be seen.

(Photo Germond, Lausanne)

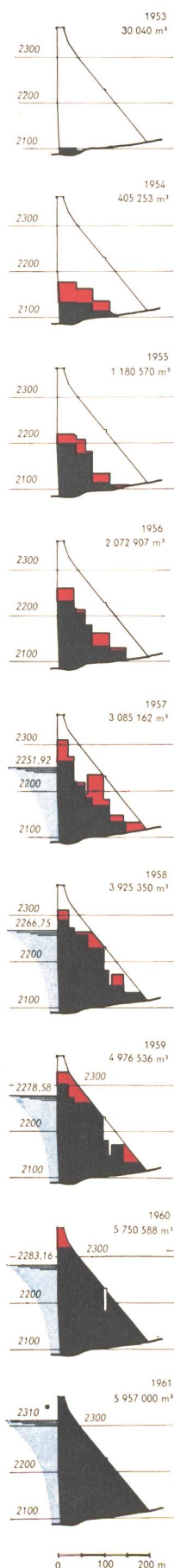


Fig. 9

Avancement des travaux de bétonnage du barrage
 Fortschritt der Betonarbeiten bei der Sperre
 Progress of concreting on the dam

- Niveau maximum atteint
 Maximal erreichte Höhe
 Maximum elevation reached
- Niveau minimum atteint
 Minimal erreichte Höhe
 Minimum elevation reached

* Le remplissage complet du lac d'accumulation (2364) n'interviendra qu'après achèvement de toutes les adductions en 1965.

* Die Füllung des Stausees (2364) wird erst nach Fertigstellung sämtlicher Wasserleitungsstollen im Jahre 1965 erreicht werden.

* The complete filling of the reservoir (2364) will be reached when the works for the water catchment have been completed in 1965.

du barrage; la comparaison de la déformation mesurée avec celle d'un solide élastique soumis aux mêmes modes de charge et que l'on peut calculer d'après Boussinesq permet de déduire la valeur du module de déformation E du rocher. On a trouvé ainsi des valeurs comprises entre 100 et 250 t/cm² dans les 7 chambres aménagées pour les essais. Cependant, ces valeurs correspondent essentiellement aux couches voisines des faces de la caverne, ébranlées par l'explosion et situées relativement près de la surface; les modules ainsi trouvés sont donc trop faibles pour l'ensemble du massif de fondation. On a donc cherché à compléter ces renseignements par

b) des mesures du module dynamique en mesurant, par des méthodes géosismiques, la célérité d'une onde vibratoire à l'intérieur du massif montagneux. On a mesuré également le module d'élasticité d'échantillons de rocher. On a trouvé alors des valeurs comprises entre 500 et 600 t/cm²; ces valeurs certainement trop grandes puisqu'elles font abstraction de la fissuration du rocher sont inutilisables. On a donc admis dans les calculs la valeur prudente de 200 t/cm².

Des essais sur modèle réduit ont été faits au Centre de recherches pour l'étude des barrages par le laboratoire de statique de l'Ecole Polytechnique de Lausanne pour déterminer la déformation de la vallée et l'ouverture des joints transversaux du barrage sous l'effet de la poussée de l'eau. Ces essais ont montré que l'écartement maximum des versants est de l'ordre de 11 mm et qu'il se produit au voisinage du niveau situé au tiers inférieur de la retenue. En ce qui concerne l'effet de cette déformation de la vallée sur l'ouverture des joints, il convient immédiatement de remarquer que l'effet du refroidissement du béton est beaucoup plus grand et que l'effet de la déformation de la vallée n'atteindra au maximum qu'un quart de l'effet dû à un refroidissement du béton de 35°.

Imperméabilité et injections

Les caractéristiques du sol de fondation, la topographie abrupte à l'aval du barrage, la hauteur extraordinaire de la retenue et la nécessité dans un barrage-poids de réduire au minimum les sous-pressions imposèrent la réalisation d'un voile au large ou écran d'injections principales de 200 m de profondeur et débordant de 100 m latéralement sur les deux rives dont l'exécution est en cours; l'absorption moyenne de produits solides est de l'ordre de 100 kg par mètre de forage (74 kg de ciment pur, 21 kg d'argile spéciale et 6 litres/m de silicate). A fin 1959, environ 20 000 m de forage avaient été perforés et injectés. Les forages sont situés dans un plan vertical; l'écartement des forages verticaux est prévu à 8 m. Les forages alternent avec des forages secondaires de profondeur réduite de moitié environ. Les résultats sont vérifiés par un certain nombre de forages et d'injections de contrôle qui recoupent les forages principaux. Les 2/3 environ du programme total d'injections du voile au large ayant été exécutés à fin 1959 et le niveau maximum de la retenue ayant atteint en 1960 la cote 2283, les pertes totales par infiltration constatées à cette époque à l'aval du voile d'étanchéité et provenant des diverses galeries de reconnaissance, de drainage, de sondages et servant aux injections sous le barrage n'ont pas dépassé 2 l/sec. L'étanchéité du sol

de fondation est donc bonne. Les travaux d'injection pour l'achèvement du voile se poursuivent en vue de la réalisation du programme complet.

Un système d'injections de consolidation exécutées à partir des galeries de l'intérieur du barrage est destiné à boucher toutes les fissures de surface du rocher et à assurer un parfait collage du béton au rocher.

4. Béton

Le béton est confectionné avec des matériaux morainiques composés essentiellement de schistes cristallins métamorphiques (schistes de Casanna: gneiss et prasinites) dont le poids spécifique de $2,85 \text{ t/m}^3$ permet d'obtenir des bétons de $2,57 \text{ t/m}^3$ en moyenne.

Les dosages en ciment Portland normal suisse ont été fixés au moyen des coefficients de sécurité, en fonction des résistances exigées découlant des différents cas de charge. Les coefficients de sécurité sont eux-mêmes déterminés en tenant compte de la «dispersion» des résistances effectives sur éprouvettes. (La dispersion étant le rapport entre l'écart quadratique moyen des résistances obtenues durant une certaine période de construction et leur valeur moyenne.) Le coefficient de sécurité appliqué ainsi pour la détermination des résistances exigées dans le cas des charges ordinaires,

sans secousse sismique, est de 4,2 pour une dispersion de 0,12.

Le dosage a été fixé au minimum à 140 kg CP/m^3 dans le béton de masse pour garantir une bonne mise en place et au maximum à 250 kg CP/m^3 pour les parements.

Le béton est mis en place par levées de 3,20 m de hauteur en 5 couches successives de 60—65 cm. Il est réfrigéré au moyen d'un réseau de serpentins de tubes de 20 mm de diamètre avec circulation d'eau froide posés sur chaque couche.

L'espacement des tubes d'acier soudés est variable suivant le temps dont on dispose pour réfrigérer le béton jusqu'au printemps suivant; il est ainsi de 2,25 m au mois de mai et de 1,15 m au mois de novembre; on utilise en moyenne 0,22 m de tube par m^3 de béton et un débit variant selon la saison de 0,25 à $0,5 \text{ cm}^3/\text{sec}$ par m^3 de béton. Le béton doit être refroidi jusqu'à une température de 5° à laquelle les joints sont injectés.

1 060 000 t de ciment Portland normal auront servi à confectionner les $5 957 000 \text{ m}^3$ de béton du barrage de la Grande Dixence.

Le coût total du barrage est d'environ 420 000 000 francs (y compris les installations de bétonnage et les injections).

Fig. 10 GRANDE DIXENCE

Vue générale d'aval en septembre 1960. Le couronnement est atteint sur la rive droite

Ansicht der Luftseite im September 1960. Die Krone ist auf der rechten Talflanke erreicht.

General view looking upstream (September 1960). The dam has reached the maximum elevation on the right bank.

(Photo Paris-Burgat, Lausanne)

