

Le barrage de la Dixence

Autor(en): **Stucky, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **72 (1946)**

Heft 4

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-54615>

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.

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 17 francs

Etranger : 20 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 14 francs

Etranger : 17 francs

Prix du numéro :

75 centimes

Pour les abonnements
s'adresser à la librairieF. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; † E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

Publicité :
TARIF DES ANNONCESLe millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions
de pages.En plus 20 % de majoration de guerre
Rabais pour annonces
répétées.

ANNONCES-SUISSES S.A.

5, rue Centrale
LAUSANNE
& Succursales.

SOMMAIRE : *Le barrage de la Dixence*, par A. STUCKY, professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne. — *Le problème de l'habitation : Etude d'un immeuble locatif d'une conception nouvelle.* — *Section genevoise de la Société suisse des ingénieurs et des architectes.* — COMMUNIQUÉ. — RECTIFICATION. — SERVICE DE PLACEMENT.

Le barrage de la Dixence¹

par A. STUCKY,

professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne.

Avant-propos.

La S. A. « L'Energie de l'Ouest-Suisse » (EOS) qui, avant d'absorber la S. A. « La Dixence » en avait le contrôle, chargea cette dernière d'étudier l'aménagement des forces hydrauliques de la Dixence et lui confia l'exécution des travaux, en particulier la construction du grand barrage du Val des Dix. L'étude et les calculs de cet ouvrage ont été faits en collaboration avec M. le professeur A. Stucky, en qualité d'ingénieur-conseil.

L'élaboration du projet de barrage évidé de la Dixence, le premier de ce genre en Suisse, a posé toute une série de problèmes, en partie nouveaux pour l'époque. Comme il était particulièrement intéressant de pouvoir suivre certains aspects de ceux-ci aussi bien pendant la construction du barrage que pendant son exploitation, la Société « La Dixence » a fait placer des thermomètres électriques pour mesurer la température du béton et de l'air ambiant, et des pendules permettant de déterminer en quelques endroits caractéristiques les déformations du barrage.

Après l'achèvement des travaux, « EOS. » devenue propriétaire des ouvrages de la Dixence, a continué l'observation régulière des températures et des déformations du barrage.

« L'Energie de l'Ouest Suisse » mit à la disposition de l'auteur de la présente étude les résultats des mesures effectuées quotidiennement sur le barrage, depuis l'achèvement des travaux jusqu'en juillet 1943, soit pendant plus de sept ans, ainsi que la documentation nécessaire.

Lausanne, 1944.

S. A. L'Energie de l'Ouest Suisse.

I. Description de l'ouvrage.²

1. Caractéristiques générales.

Le barrage destiné à créer la retenue de 50 millions de m³ utiles dans la partie supérieure du *Val des Dix* (Valais), est situé immédiatement à l'aval de l'Alpe de la Barmaz. (fig. 1, 2, 3, 4 et 5.) Du type gravité élégi, il se compose d'une succession de contreforts ou piliers triangulaires en béton non armé, épaissis à l'aval et à l'amont de manière à réaliser des masques continus, en laissant à l'intérieur de l'ouvrage d'importants évidements en forme de cellules verticales, dont le fond est au niveau de la fondation et le sommet à 20 m au-dessous du couronnement. Le barrage, arrasé à la cote 2241, mesure 458,50 m de longueur développée au couronnement, y compris le déversoir de 28,50 m, situé sur la rive droite ; sa hauteur maximum au-dessus de la fondation du parafoille amont est de 87 m.

2. Implantation

Pour s'adapter aussi parfaitement que possible à la topographie du rocher (fig. 3) l'ouvrage est incurvé en plan suivant trois courbures différentes, dont les rayons, mesurés sur le parement amont du couronnement, sont successivement :

| | | |
|----------------|--------------|-------------|
| Rive gauche | sur 190,50 m | R = 450 m |
| Partie médiane | sur 138,00 m | R = 287 m |
| Rive droite | sur 101,50 m | R = 140 m |
| Déversoir | sur 28,50 m | rectiligne. |

¹ La Commission suisse des grands barrages publie actuellement un remarquable volume donnant la description de tous les grands barrages exécutés en Suisse ainsi qu'une riche documentation sur les mesures et observations faites sur ceux-ci. Il nous a paru indiqué d'offrir à nos lecteurs un article original sur le barrage de la Dixence comportant, en plus d'une description de l'ouvrage et de son exécution, de larges extraits de la publication précitée (Réd.).

² On trouvera des renseignements sur les autres ouvrages de l'aménagement de la Dixence, la plus haute chute du monde, dans la publication « EOS 1919-1944 » éditée à l'occasion du 25^{me} anniversaire de la fondation de la S. A. « L'Energie de l'Ouest-Suisse », à Lausanne.

La courbure en plan ne joue qu'un rôle négligeable pour la résistance de l'ouvrage, à cause de la présence des joints de contraction, qui peuvent rester ouverts et empêcher tout effet de voûte de se produire, comme le confirme l'étude des déformations du barrage.

3. Géologie.

La configuration de la surface du rocher à l'emplacement du barrage s'est révélée assez complexe dès le début des études, sans présenter cependant d'accidents tectoniques importants. Le rocher en place apparent constitue le flanc gauche de la vallée et affleure en outre au milieu du barrage, sous la forme d'un important verrou, dont le sommet est à l'altitude 2200, soit environ 40 m au-dessous du couronnement. Le flanc droit est recouvert d'une couche d'éboulis relativement épaisse.

Entre le verrou rocheux central et les deux flancs de la vallée, deux dépressions, dont celle de gauche donnait passage au torrent, sont comblées d'alluvions et de matériaux éboulés. Afin de déterminer exactement l'importance de ces matériaux de remplissage, on fora, dans le rocher, un réseau de galeries débouchant dans un tunnel situé sous le verrou central et destiné à servir ultérieurement de galerie de dérivation durant les travaux. Ces galeries, terminées par des puits inclinés disposés en épis, permirent de reconnaître d'une manière indiscutable la position du rocher en 12 points, en donnant en même temps de précieux renseignements sur la nature de la roche. Ces galeries et puits, d'une longueur totale de 1023 m, permirent de constater que dans la dépression de gauche, occupée par le torrent, le rocher ne se trouvait qu'à quelques mètres au-dessous du lit, tandis que l'autre dépression était comblée de matériaux d'apport sur une épaisseur d'une trentaine de mètres.

Les roches qui forment les assises du barrage et les flancs de la vallée sont des schistes métamorphiques de bonne résistance. A l'emplacement même du barrage, on trouve : des gneiss chloritiques à l'amont, des gneiss amphibolites à l'aval, tous deux d'excellente qualité, et entre eux une intercalation de 30 m d'épaisseur de schistes micacés ou schistes séricitiques plus tendres. Ces couches rocheuses saines traversent la vallée, suivant une direction sensiblement est-ouest ; elles sont résistantes et étanches.

Les seuls accidents morphologiques du rocher de fondation apparus lors du déblaiement des fouilles furent, sous le torrent, des marmites atteignant 4 à 10 m de profondeur, sur une largeur de quelques mètres à peine, et provenant de l'érosion. Il a suffi de les bourrer de béton après en avoir décapé la surface.

4. Dispositions constructives.

a) Caractéristiques des contreforts.

Le barrage est formé de 31 contreforts ou piliers en béton non armé, jumelés deux à deux, dont l'épaisseur, minimum dans la partie centrale, augmente progressivement au voisinage des parements amont et aval, de façon que deux contreforts voisins s'y touchent et que la surface extérieure de l'ouvrage soit continue, exactement comme celle d'un barrage massif ordinaire (fig. 4 et 5).

A cause de la haute altitude de l'ouvrage (2240 m), on a tenu, en fermant les évidements par un masque aval, à rendre aussi faible que possible la surface extérieure du barrage soumise à de grandes variations de température et au gel. On empêchait ainsi les amas de neige et de glace entre les piliers et l'on évitait d'exposer les faces des contreforts à de trop grandes variations de température et leurs arêtes au

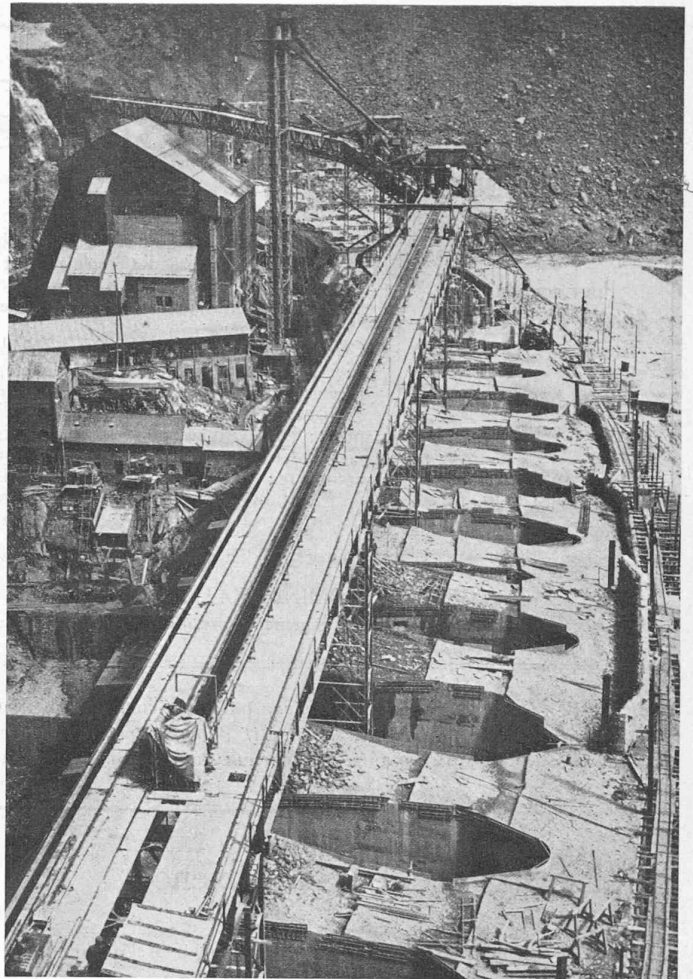


Fig. 2. — Barrage de la Dixence.

Le barrage en construction. On distingue nettement les évidements, les redans inclinés des reprises de bétonnage, et, sur le parement amont, le revêtement de moellons servant de coffrage au béton frais.

gel sur deux côtés. On ne doit pas, avec le climat de nos Alpes, adopter pour les barrages évidés des types où les contreforts seraient isolés, et exposés ainsi au refroidissement sur les deux faces.

L'écartement des contreforts, mesuré sur l'axe du barrage est de 13,00 m pour les plus hauts contreforts, dans la région du barrage où le rayon de courbure vaut 450 m, et de 12,00 m dans le reste de l'ouvrage.

La section horizontale des contreforts a la forme d'un double T, dont l'âme, de largeur constante à un même niveau, se raccorde par un gousset, c'est-à-dire un épaississement progressif, aux ailes constituant les masques amont et aval. Les évidements créés par la différence entre la largeur des ailes et l'épaisseur de l'âme forment de grandes cellules comprises entre la fondation et la cote 2220,50. Au-dessus de cette cote, les deux masques amont et aval se rejoignent en un massif plein, constituant le couronnement du barrage. A la base des évidements, le rocher laissé à nu permet aux infiltrations qui auraient pu passer sous le parafoinille de trouver un point de résurgence, et limite à la fondation du masque amont la zone susceptible de subir des sous-pressions.

Ces grandes cellules, laissant accessible une proportion importante du rocher de fondation, permettent de contrôler

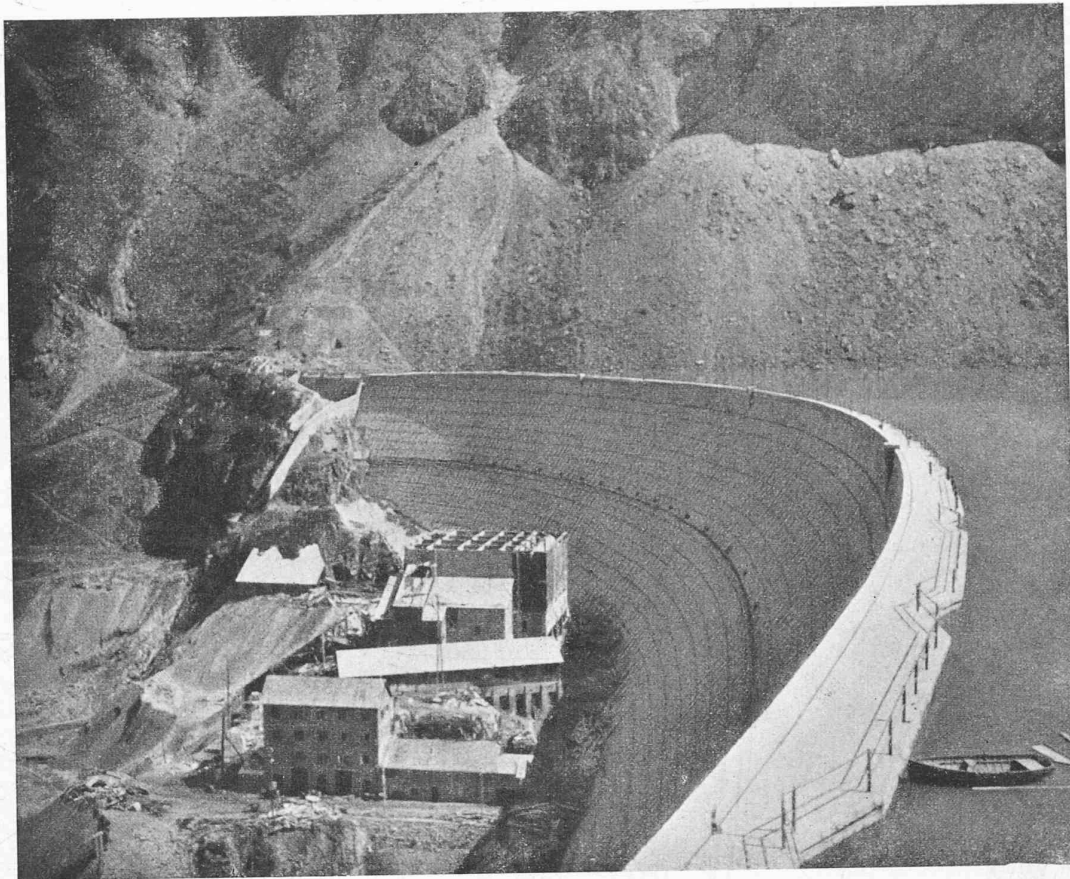


Fig. 1. — Barrage de la Dixence.
Le barrage achevé. Le couronnement épouse la forme polygonale des têtes amont des contreforts.

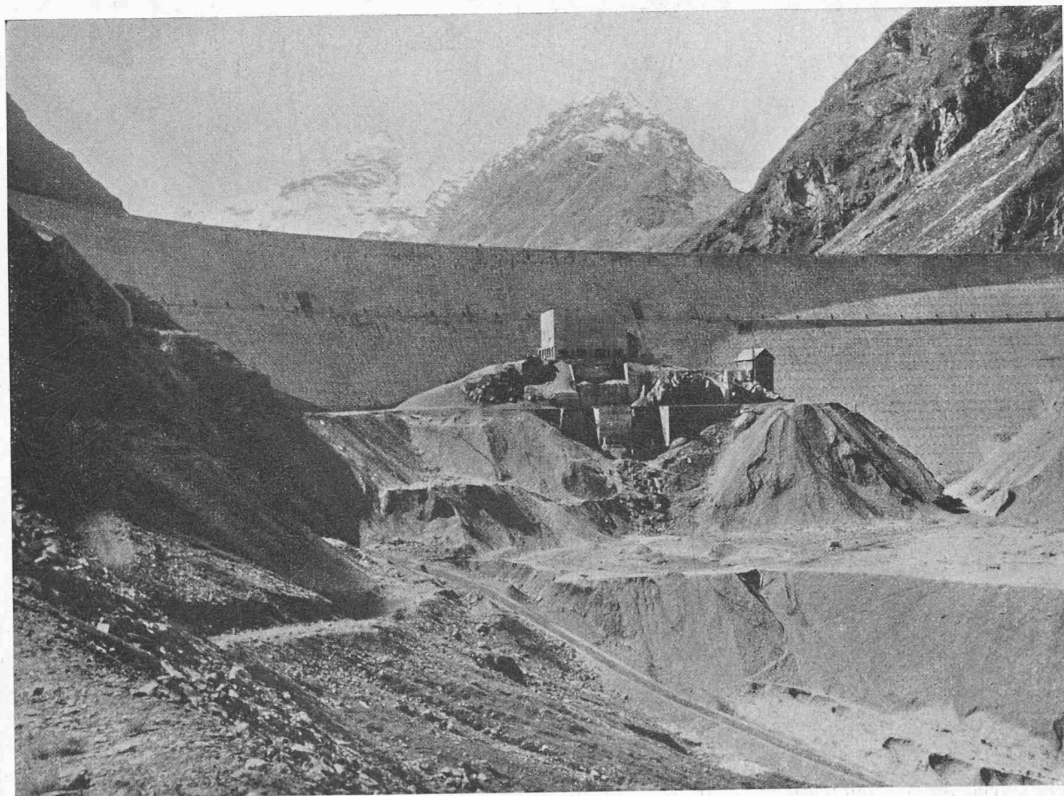


Fig. 1 bis. — Barrage de la Dixence; vu d'aval.

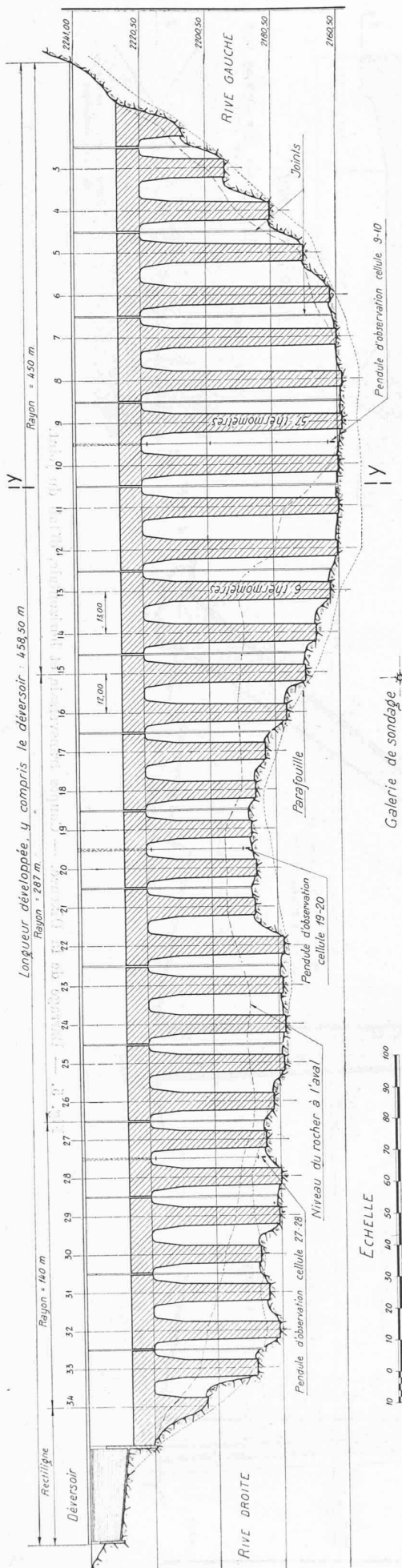


Fig. 4. — Barrage de la Dixence. — Coupe longitudinale vue d'aval.

régulièrement son état et d'entreprendre au besoin des travaux confortatifs; c'est là un avantage appréciable par rapport au barrage massif.

Le parement amont, rectiligne, est incliné de 4% sur la verticale, tandis que le fruit du parement aval, légèrement concave, varie de 0,73 dans la partie supérieure à 0,86 dans la partie au-dessous de la cote 2180,50. Sous l'action du poids propre et de la poussée de l'eau, la concavité du parement aval a pour effet de presser le masque contre l'âme du contrefort et d'en assurer une meilleure solidarité. Un masque aval rectiligne ou bombé vers l'extérieur aurait au contraire tendance à se détacher de l'âme du contrefort. La concavité du parement se révèle surtout utile pour les ouvrages de grande hauteur, dans lesquels on est souvent conduit à renforcer notablement les parties inférieures du masque aval, pour limiter les contraintes de compression maximums aux valeurs admissibles. Il importe aussi que tout épaissement se fasse progressivement, pour ne pas créer des contraintes secondaires importantes.

Considéré en section horizontale, le masque amont peut être assimilé à une poutre avec consoles, appuyée sur l'âme de deux contreforts et supportant la pression de l'eau. Pour faire disparaître les contraintes de traction horizontales qui en résulteraient sur le parement amont, on a donné une forme polygonale au parement: la pression latérale de l'eau, qui peut s'exercer sur toute la partie ouverte des joints à l'amont du dispositif d'étanchéité, produit une force additionnelle de compression transversale, agissant suivant l'axe de la poutre et suffisante pour annuler les tractions résultant de la flexion.

Les contreforts ont été jumelés deux à deux pour leur assurer une plus grande rigidité transversale, les joints de contraction étant placés dans l'axe d'un évidement sur deux. L'état de tension du masque amont constitué par une voûte épaisse n'est pas très clair; en isolant chaque contrefort, on éviterait cette incertitude, chaque tête amont polygonale étant soumise à une compression sur trois côtés. Des études faites ultérieurement montrent que le flambage des contreforts de ce genre de barrages n'est pas à craindre, de sorte que l'on peut, sans inconvénient, isoler chaque pilier.

Il ressort de la coupe verticale du barrage de la Dixence (fig. 4) que l'âme des contreforts est plus mince dans sa partie inférieure qu'au sommet; cette particularité peut surprendre au premier abord; elle s'explique par des raisons d'ordre purement constructif: l'extrémité aval des cellules est constituée par une voûte inclinée; le barrage étant cintré, les contreforts convergent vers l'aval; si l'âme des piliers était à faces parallèles, la largeur de cette voûte irait en augmentant vers le haut du pilier; il en serait résulté des complications dans la réalisation du cintre. Par cet épaissement du contrefort vers le haut, on a pu réaliser la voûte inclinée du masque aval avec un même cintre sur toute la hauteur. Les expériences faites sur le chantier de la Dixence semblent prouver que l'on pourrait à l'avenir renoncer à cette mesure, qui n'a d'ailleurs de sens que pour les barrages cintrés en plan.

b) Revêtement des parements extérieurs.

Pour protéger le béton contre les effets du gel, les parements extérieurs amont et aval des contreforts sont revêtus d'une maçonnerie de mœllons, de 70 cm d'épaisseur maximum, posée en assises régulières de 20, 25 ou 30 cm de hauteur. La largeur de la base des mœllons, préparés d'avance en carrière, varie de 30 à 60 cm, et la longueur des queues de 40 à 70 cm. Le mortier de pose de cette maçonnerie est

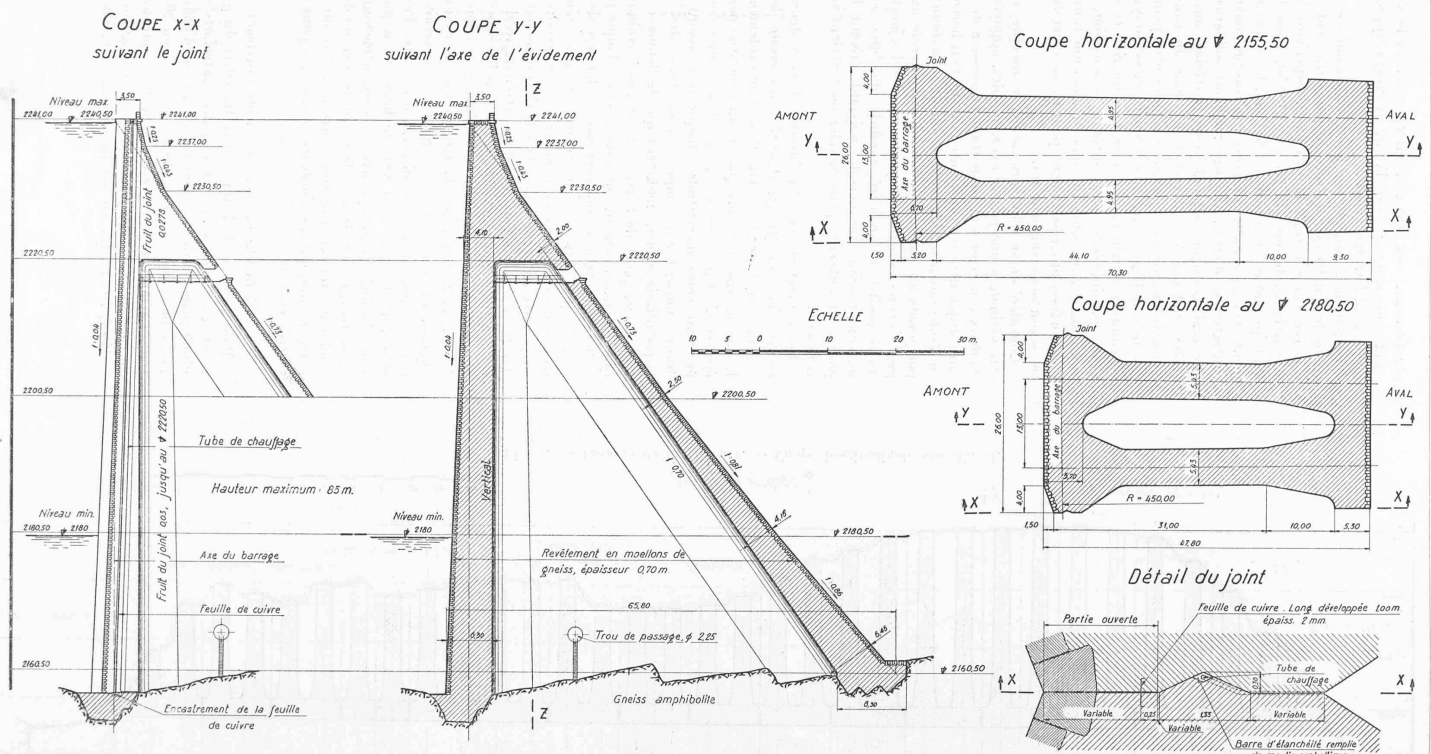


Fig. 5. — Barrage de la Dixence. — Coupes transversale et horizontale, détail du joint.

normales, tangentielles et maximums indiquées sur la figure 7; on constate que la compression la plus grande, calculée dans l'ensemble du pilier, se trouve à l'extrémité aval de l'âme, au niveau 2155,50 (profondeur: 85 m), et vaut 34 kg/cm². Sur les parements, les valeurs extrêmes des contraintes sont les suivantes: (Voir tableau ci-contre.)

c) Secteurs de cisaillement effectif.

Si l'on admet que le coefficient de frottement du béton sur lui-même vaut, par exemple, $tg\varphi = 0,75$, sur toutes les sections où l'effort tangentiel est inférieur aux 75 % de l'effort normal, le premier peut être absorbé par frottement, et la stabilité est assurée sans que la résistance du béton au cisaillement proprement dit ait à intervenir; des contraintes effectives de cisaillement n'apparaissent que dans la mesure où les contraintes tangentielles totales τ_z dépassent 75 % des contraintes normales (fig.8). Le cercle de Mohr permet de définir aisément l'orientation de ces sections, dont l'ensemble forme les «secteurs de cisaillement effectif». Les reprises de bétonnage seront orientées de préférence suivant des directions exemptes de cisaillement effectif, de sorte que la simple pression des éléments en contact le long du joint suffise à éviter tout glissement.

Les secteurs de cisaillement effectif calculés pour le barrage de la Dixence sont reproduits à la figure 8, avec la disposition de principe adoptée pour les joints de bétonnage.

d) Stabilité au glissement.

Les assises des contreforts sur la fondation et les arrêts de bétonnage sont inclinés d'au moins 12 % vers l'amont, afin d'augmenter encore la résistance au glissement. En effet, ΣH étant la résultante des forces horizontales (poussée de l'eau) et ΣV la somme des forces verticales (poids pro-

Contraintes sur les parements, en t/m²

| | Amont | | | Aval | | |
|---|------------|------------|---------------|------------|------------------|--------------|
| | σ_v | σ_I | σ_{II} | σ_v | Com-pression max | τ_{max} |
| Au niveau 2200,50, à 40 m de profondeur | | | | | | |
| Poids propre | -105 | 0 | -105 | -10 | -15 | 8 |
| Poussée de l'eau ... | +76 | -40 | +76 | -82 | -126 | 63 |
| Cumulées... | -29 | -40 | -29 | -92 | -141 | 71 |
| Au niveau 2180,50, à 60 m de profondeur | | | | | | |
| Poids propre | -140 | 0 | -140 | -16 | -26 | 13 |
| Poussée de l'eau ... | +101 | -60 | +101 | -120 | -199 | 100 |
| Cumulées... | -39 | -60 | -39 | -136 | -225 | 113 |
| Au niveau 2155,50, à 85 m de profondeur | | | | | | |
| Poids propre | -210 | 0 | -210 | -20 | -35 | 18 |
| Poussée de l'eau .. | +159 | -85 | +159 | -164 | -285 | 143 |
| Cumulées... | -51 | -85 | -51 | -184 | -320 | 161 |

Le signe + σ indique une contrainte de traction
le signe - σ une compression,
 σ_I et σ_{II} sont les contraintes principales.

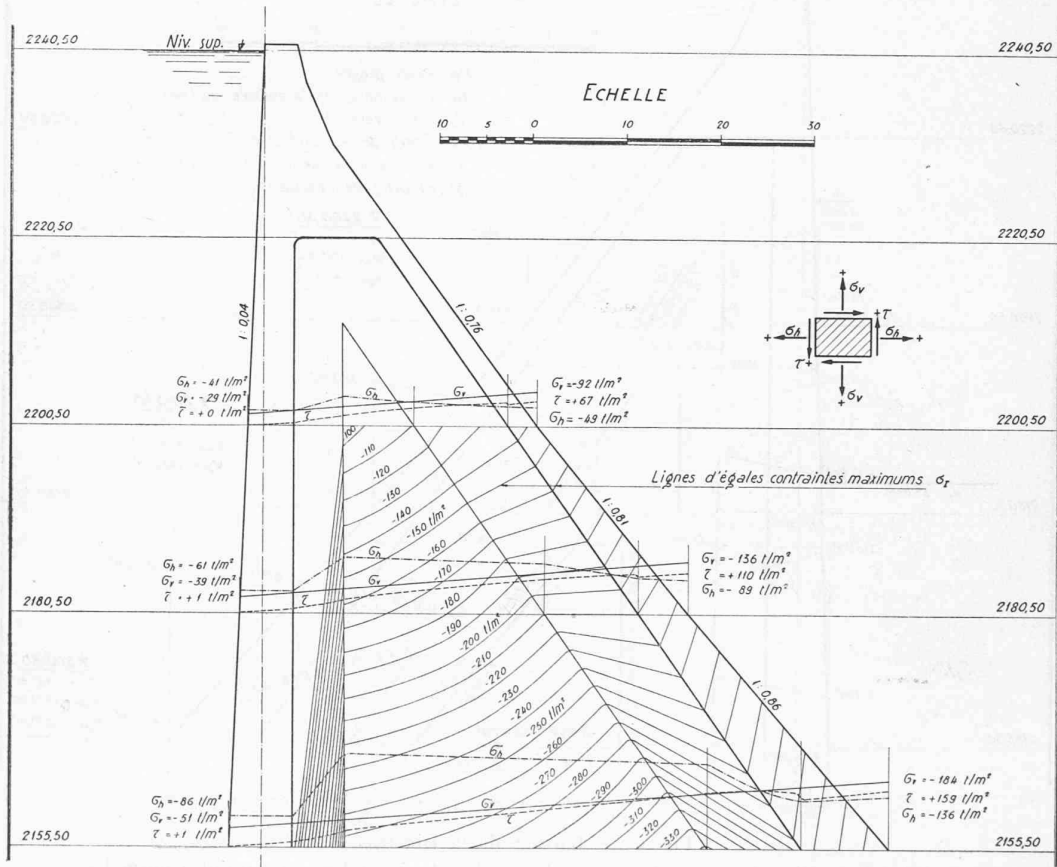


Fig. 7. — Barrage de la Dixence.

Stabilité d'un pilier: contraintes σ_v , σ_h et τ en t/m² sur les sections horizontales et contraintes maximums sous l'effet cumulé du poids propre et de la poussée de l'eau.

pre et poids de l'eau sur le parement amont), le coefficient de glissement g sur une assise inclinée, suivant une pente $tg\alpha$, vaut

$$g = \frac{\frac{\Sigma H}{\Sigma V} - tg\alpha}{1 + \frac{\Sigma H}{\Sigma V} \cdot tg\alpha}$$

Les valeurs obtenues pour la Dixence sont les suivantes :

Coefficients de glissement d'un contrefort sur sa fondation, inclinée de 12% vers l'amont.

| | | | | |
|---|----------|----------|--------------------------|----------------------|
| Niveaux de la fondation | 2 200,50 | 2 180,50 | 2 159,00 | 2 155,50 |
| Profondeurs en m | 40,00 | 60,00 | 81,50 (max. effectif) | 85,00 (théorique) |
| ΣH eau (en t) . . . | 10 400 t | 23 400 | 43 200 t | 47 000 t |
| Poids propre . . . | 15 700 t | 31 500 t | 53 300 t | 57 500 t |
| Eau | 418 t | 937 t | 1 740 t | 1 880 t |
| Sous-pression (100% sur le parement amont) | -2 190 t | -3 600 t | -5 500 t | -5 900 t |
| ΣV | 13 928 t | 28 837 t | 49 540 t | 53 480 t |
| Stabilité au glissement g sur des assises inclinées à 12% | 0,575 | 0,631 | 0,681 | 0,689 |

6. Principes d'exécution des contreforts.

a) Répartition et dosage en ciment des différents bétons d'un contrefort.

A côté d'autres qualités moins fondamentales, on exige essentiellement d'un béton de barrage qu'il offre une résistance mécanique suffisante et une bonne étanchéité; si l'ouvrage est situé en montagne, comme à la Dixence, on lui demande encore de résister au gel. Ces qualités ne peuvent s'obtenir qu'en limitant la quantité d'eau de gâchage au minimum compatible avec une mise en place correcte, ce qui suppose des agrégats bien gradués et un dosage en ciment convenable.

Le dosage est limité, aussi bien par des raisons d'économie, étant donné l'importance du volume de béton à fabriquer, que pour diminuer les effets du retrait et de l'échauffement dû à la prise du ciment.

On a réalisé à la Dixence trois sortes de bétons, appliquées chacune à des régions du barrage bien déterminées, suivant la nature et l'importance des sollicitations les plus dangereuses.

Pour la région la plus sollicitée du barrage (base des plus grands contreforts) le béton était dosé à 280 kg CP/m³, pour satisfaire à la condition prescrite, que sa résistance garantisse une sécurité d'au moins 5 par rapport aux contraintes maximums calculées; aux essais de contrôle, la résistance effective a montré une sécurité de 7. On a utilisé le même béton pour le masque amont au-dessous de la cote 2216,80, de manière que le béton reste étanche, malgré une pression

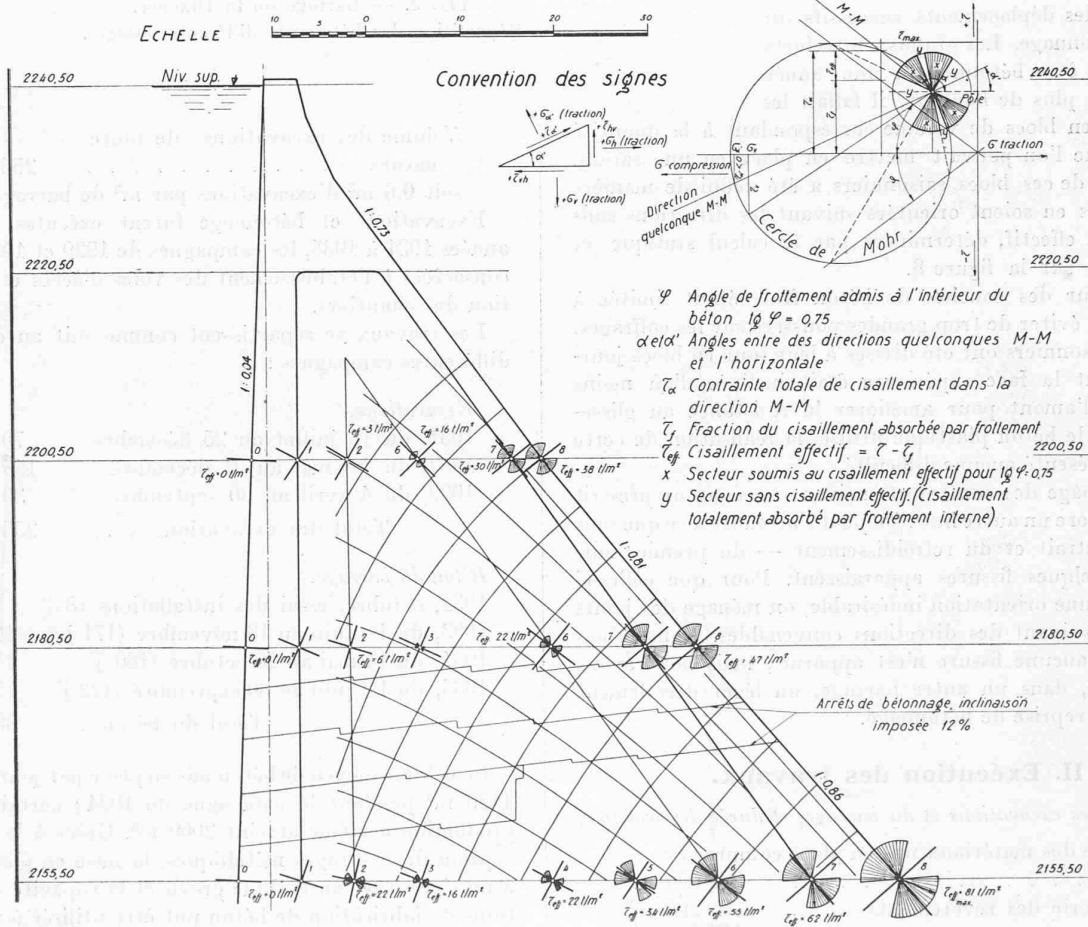


Fig. 8. — Barrage de la Dixence.

Stabilité d'un pilier: lignes isostatiques et directions de cisaillement effectif sous les effets cumulés du poids propre et de la poussée de l'eau.

relativement élevée, qui dans cette région, varie de 2,4 à 8 kg/cm².

Un béton à 250 kg/m³ était utilisé pour les régions soumises à des contraintes modérées (partie centrale du pilier), et pour celles où les variations de la température extérieure jouent un rôle important, comme le masque aval et le couronnement.

Pour le reste de l'ouvrage, où les contraintes sont très faibles, même en tenant compte des effets thermiques, le béton était dosé à 200 kg CP/m³. Dans ce cas, la résistance minimum prescrite ne dépend pas des contraintes ; ce n'est qu'un moyen de contrôler la bonne composition et la mise en place correcte du béton.

La répartition de ces différents bétons dans le contrefort le plus élevé est représentée dans la figure 9.

b) Blocs saisonniers et arrêts de bétonnage journaliers.

Comme c'est généralement le cas pour les barrages dont l'exécution s'étend sur plusieurs années, le programme de bétonnage devait tendre à monter le barrage à un même niveau sur toute sa longueur au cours d'une même campagne, de manière à permettre une mise en eau partielle avant l'achèvement de la construction. Cette exigence concordait à la Dixence avec celle des déplacements successifs du pont de bétonnage. Les grands contreforts ne pouvant être bétonnés en une année sur 80 m et plus de hauteur, il fallait les subdiviser en blocs de volume correspondant à la quantité de béton que l'on pouvait mettre en place en une saison. Le contour de ces blocs saisonniers a été défini de manière que les faces en soient orientées suivant les directions sans cisaillement effectif, déterminées par le calcul statique et représentées sur la figure 8.

La hauteur des couches de béton frais étant limitée à 3,00 m pour éviter de trop grandes poussées sur les coffrages, les blocs saisonniers ont été divisés à leur tour en blocs journaliers, dont la face supérieure était inclinée d'au moins 12 % vers l'amont pour améliorer la résistance au glissement. Avec le béton plastique utilisé, la réalisation de cette pente n'a présenté aucune difficulté.

Le découpage des contreforts suivant un contour prescrit poursuit encore un autre but : On peut s'attendre à ce que sous l'effet du retrait et du refroidissement — du premier surtout — quelques fissures apparaissent. Pour que celles-ci n'aient pas une orientation indésirable, on ménage des joints de reprise, suivant des directions convenables. Dans le cas particulier, aucune fissure n'est apparue ; mais nous avons pu observer, dans un autre barrage, un léger décollement suivant une reprise de bétonnage.

II. Exécution des travaux.

1. Volume des excavations et du barrage, et durée des travaux.

Le volume des matériaux mis en place comprend :

| | |
|--|------------------------|
| Béton | 382 000 m ³ |
| Maçonnerie des revêtements | 39 200 m ³ |
| Soit au total, volume du barrage | 421 200 m ³ |

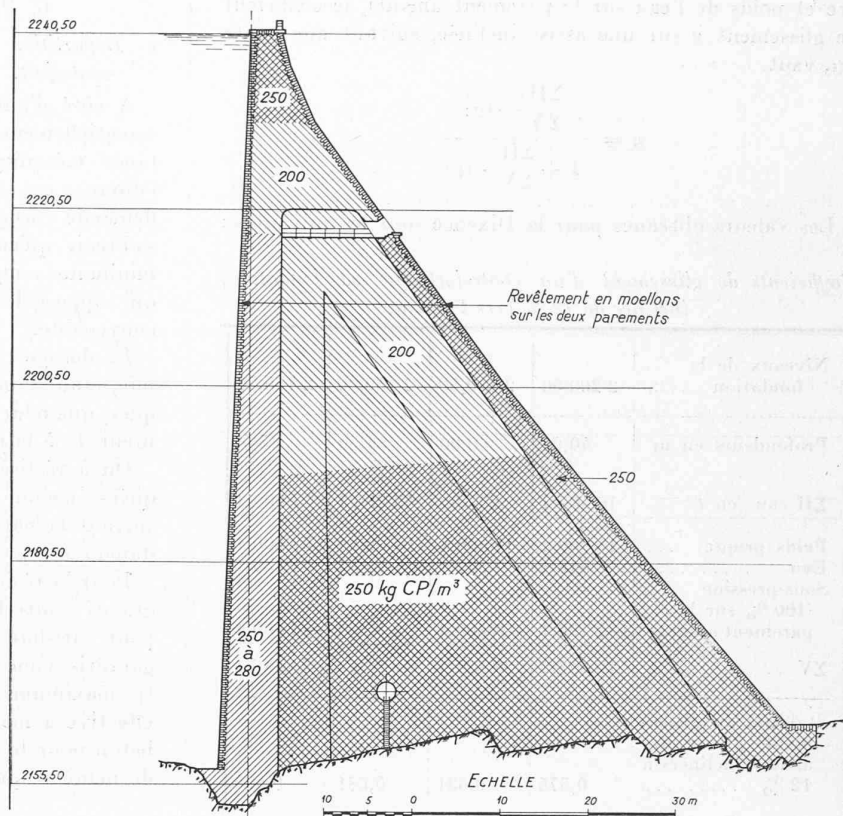


Fig. 9. — Barrage de la Dixence. Répartition des bétons de différents dosages.

Volume des excavations de toute nature 255 000 m³
soit 0,6 m³ d'excavations par m³ de barrage.

Excavations et bétonnage furent exécutés pendant les années 1931 à 1935, les campagnes de 1929 et 1930 ayant été consacrées à l'établissement des voies d'accès et à l'installation des chantiers.

Les travaux se répartissent comme suit au cours de ces différentes campagnes :

| | |
|---|------------------------|
| <i>Excavations.</i> | |
| 1931, du 15 juillet au 25 décembre | 70 000 m ³ |
| 1932, du 1 ^{er} mai au 31 décembre | 155 000 m ³ |
| 1933, du 4 avril au 30 septembre | 30 000 m ³ |
| Total des excavations | 255 000 m ³ |

| | |
|---|------------------------|
| <i>Béton du barrage.</i> | |
| 1932, octobre, essai des installations (8 j) | 870 m ³ |
| 1933, du 1 ^{er} juin au 18 novembre (171 j) | 123 600 m ³ |
| 1934, du 14 mai au 20 octobre (160 j) | 178 930 m ³ |
| 1935, du 1 ^{er} juin au 30 septembre (122 j) | 78 600 m ³ |
| Total du béton | 382 000 m ³ |

Le volume moyen de béton mis en place par jour est monté à 1120 m³ pendant la campagne de 1934 ; certains jours, la production a même atteint 2000 m³. Grâce à la bonne conception des coffrages métalliques, la mise en place du béton a pu s'effectuer au rythme prévu et la capacité des installations de fabrication de béton put être utilisée à plein rendement.

Revêtements des parements en maçonnerie de moellons naturels.

Le volume de maçonnerie posé au cours de trois ans se répartit comme suit :

| | |
|---|-----------------------|
| 1933, du 1 ^{er} juin au 30 octobre | 5 960 m ³ |
| 1934, du 14 mai au 20 octobre | 15 130 m ³ |
| 1935, du 1 ^{er} juin au 15 octobre | 18 110 m ³ |
| Total | 39 200 m ³ |

Représentant une surface de 54 100 m².

Comparaison de la main-d'œuvre nécessaire à l'exécution d'un barrage massif et du barrage de la Dixence.

Il est intéressant de comparer le rendement des travaux du barrage de la Dixence avec celui d'un barrage massif exécuté à la même époque, les relevés sur le chantier ayant été faits de la même manière pour les deux ouvrages. Cette comparaison est donnée dans le tableau ci-dessous :

| | Barrage massif | | Dixence | |
|---|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Volume total y compris revêtements | 290 000 m ³ | | 421 200 m ³ | |
| Durée totale du bétonnage | — | | 461 j | |
| Production moyenne journalière | 580 m ³ /j | | 915 m ³ /j | |
| Production maximum atteinte | — | | 2000 m ³ /j | |
| Puissance des installations | 800 m ³ /j | | 2000 m ³ /j | |
| Campagnes : | 1932 | | 1934 | |
| Volume de béton mis en place pendant une campagne | 81 579 m ³ | | 178 930 m ³ | |
| 1. Extraction et transport des matériaux . . . h | Total | par m ³ béton | Total | par m ³ béton |
| | 359 686 | 4,40 (carrière) | 130 620 | 0,73 (alluvions) |
| 2. Fabrication du béton h | 61 444 | 0,75 | 120 937 | 0,68 |
| 3. Transport et mise en place du béton . . . h | 94 951 | 1,16 | 152 829 | 0,86 |
| 4. Coffrages h | 66 764 | 0,82 | 176 809 | 0,99 |
| 5. Nettoyage du rocher et traitement des surfaces de reprise du béton h | 65 477 | 0,80 | 200 730 | 1,12 |
| 6. Entretien des installations, ateliers, cuisine, divers h | 15 227 | 0,19 | 128 997 | 0,72 |
| Total h | 663 549 | 8,12 | 910 922 | 5,10 |

2. Disposition générale du chantier.

Le projet d'installation du chantier a été dominé par la nécessité de concentrer le travail sur quatre à cinq mois par an, et de mettre les installations à l'abri des avalanches. Ainsi, l'usine à béton, équipée pour une production de 200 m³ par heure, fut placée sur le verrou rocheux au milieu de la vallée.

Un autre problème capital d'une telle entreprise est celui des accès et des transports. Une route accessible aux camions, de 13 km de longueur, fut construite d'Hérémence à Motot (altitude 1892 m). Entre Motot et le chantier, la topographie des lieux ne se prêtant pas à la construction d'une route, un funiculaire de 600 m de longueur fut installé pour accéder à une plateforme, approximativement à l'altitude du barrage ; une voie ferrée reliait la station supérieure au chantier même.

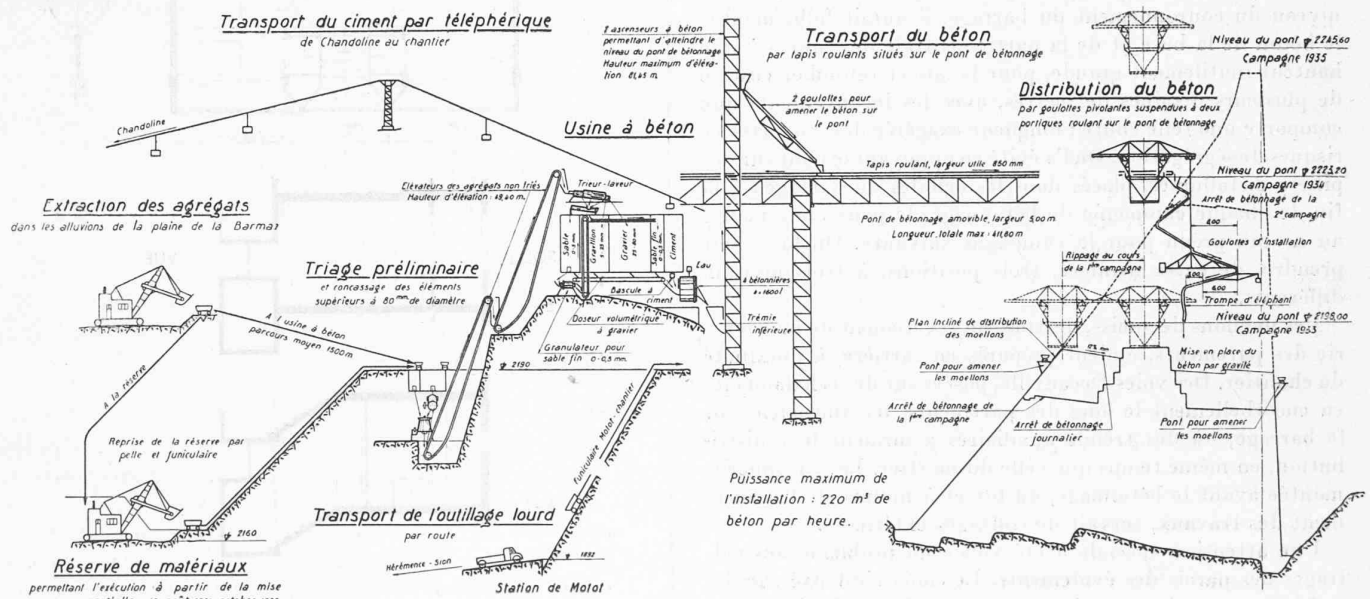
Quant au ciment, un embranchement industriel des C. F. F. l'amenait de Sion à Chandoline, à l'emplacement de la future usine électrique (altitude 490 m), d'où il était repris par un téléphérique de 17,5 km aboutissant directement à l'étage supérieur de l'usine à béton. Le téléphérique permit également de transporter occasionnellement des machines peu encombrantes.

Les sable et gravier extraits de la cuvette du futur lac étaient transportés à l'usine à béton par une voie d'un mètre d'écartement.

3. Fabrication du béton.

Le processus de fabrication du béton est indiqué dans la représentation schématique des installations (fig. 10).

Les alluvions de la Barmaz fournissaient des agrégats roulés convenant parfaitement, après lavage et triage, à la fabrication du béton. Les matériaux, extraits au moyen de pelles à vapeur, subissaient, à leur arrivée à l'usine, un triage préliminaire destiné à séparer les éléments de diamètre supérieur à 80 mm pour les concasser ; réintroduits dans le circuit, ces agrégats concassés étaient transportés par un élévateur avec les autres matériaux tout-venant, jusqu'à l'étage supérieur de l'usine, où se trouvait l'installation de triage et lavage. Le trieur distribuait aux silos, par gravité, les agrégats divisés en trois catégories de diamètres. Une quatrième catégorie, celle des éléments fins, ne se trouvant pas en quan-



F g. 10. — Barrage de la Dixence. Représentation schématique des installations du chantier.

tité suffisante dans les matériaux tout-venant, il était nécessaire d'en fabriquer spécialement au moyen d'un broyeur à boulets.

Les silos en béton armé et en fer qui pouvaient contenir 2400 m³ d'agréments et 800 tonnes de ciment, permettaient d'assurer la fabrication ininterrompue du béton pendant 2 à 3 jours.

On disposait, pour la fabrication du béton, de quatre installations parallèles, comprenant chacune des doseurs volumétriques pour les agrégats, une balance à ciment et une bétonnière de 1600 litres.

La mise en eau du barrage devant commencer avant l'achèvement de la construction, il importait d'extraire tous les agrégats nécessaires avant que les gravières, à l'amont du barrage, fussent inondées. Un dépôt de 350 000 m³ fut constitué au pied aval du barrage avec les matériaux destinés au bétonnage de la partie supérieure. Pour les deux dernières campagnes les agrégats ont été tirés uniquement de cette réserve au moyen de deux plans inclinés à deux bennes chacun, qui les ramenaient à l'entrée de l'usine pour leur faire prendre la voie de la fabrication normale.

4. Transport et mise en place du béton, et revêtements.

Il n'était pas question de réaliser à la Dixence un béton coulé, dont on connaissait déjà les nombreux inconvénients. Le béton plastique fut mis en place sans pervibration (encore inconnue à cette époque) mais avec un simple damage manuel ou mécanique; mais son transport par l'unique moyen de la gravité aurait exigé des goulottes fortement inclinées, qui ne convenaient guère au chantier très étendu qu'il s'agissait ici d'alimenter. Aussi fallut-il prévoir un moyen de transport en direction horizontale. On a construit dans ce but un pont métallique de bétonnage, courant d'un bout à l'autre du chantier et portant un tapis roulant. A la sortie de l'usine, le béton était amené par un ascenseur et deux goulottes sur le tapis, qui le transportait au-dessus du pilier en travail. A cet endroit, un portique roulant portant un système de goulottes pivotantes, permettait de le distribuer au point voulu. C'était la première fois que l'on utilisait systématiquement les tapis roulants pour le transport de béton à grandes distances (le plus long ruban mesurait 148,80 m); le fonctionnement de cette installation fut en tous points satisfaisant.

Si le pont de bétonnage avait été construit d'emblée au niveau du couronnement du barrage, il aurait fallu monter le béton de la base et de la partie centrale des piliers à une hauteur inutilement grande, pour le laisser retomber ensuite de plusieurs dizaines de mètres, avec les inconvénients que comporte une telle chute: longueur exagérée des goulottes et risques de ségrégation. On l'a évité en appuyant le pont sur des piliers métalliques, placés dans les cellules du barrage; à la fin de chaque campagne de bétonnage, le pont était monté au niveau prévu pour la campagne suivante. On lui a fait prendre, de cette manière, trois positions, à trois niveaux différents.

Les moellons de gneiss, destinés au revêtement de maçonnerie des parements, étaient préparés en carrière, à proximité du chantier. Des voies Decauville, posées sur des échafaudages en encorbellement le long des parements, les amenaient sur le barrage, où des treuils auxiliaires assuraient leur distribution, en même temps que celle du mortier. La maçonnerie, montée avant le bétonnage, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, servait de coffrages extérieurs.

Une attention spéciale a été vouée au problème des coffrages des parois des évidements. Le choix s'est fixé sur des coffrages métalliques qui rendirent de bons services pour

les parties verticales. Le coffrage des formes en surplomb de l'aval des évidements fut complété avec des éléments en bois. Une heureuse combinaison de ces deux systèmes fit que la mise en place du béton ne fut pas retardée par le travail de coffrage. Le tableau de la page 47 montre, en effet, que la main-d'œuvre nécessaire n'a pas été exagérée, contrairement à l'opinion généralement répandue.

(A suivre.)

Le problème de l'habitation

Etude d'un immeuble locatif d'une conception nouvelle.

En 1932, le rédacteur en chef de l'*Architecture d'aujourd'hui*, M. Pierre Vago, commentait en ces termes la construction de l'hôtel « Latitude 43 », à Saint-Tropez, œuvre de l'architecte G.-H. Pingusson :

« Nous ne voulons attirer l'attention de nos lecteurs que sur un seul point. La grande innovation de « Latitude 43 » est la solution ingénieuse, que nous croyons unique jusqu'à présent, du problème de la double vue. G.-H. Pingusson a le très grand mérite d'avoir posé le problème, et d'y avoir apporté une première solution, encore que celle-ci ne soit pas exempte de défauts.

» Ce fait est d'une telle importance (et d'un tel intérêt) que tout le reste passe au deuxième plan. Et sans vouloir entrer dans le détail des avantages, des inconvénients du principe, des mérites et des fautes de la solution, nous félicitons G.-H. Pingusson pour son œuvre remarquable, digne de l'effort créateur des jeunes architectes de France. »

Le parti adopté pour l'hôtel doit son originalité à une particularité locale; en effet, la côte de Saint-Tropez est la seule de tout le littoral français méditerranéen orientée vers le nord, et d'où l'on jouit d'une vue merveilleusement étendue sur le golfe et sur toute la série de montagnes du continent: les Maures, l'Estérel et les contreforts des Alpes qui dominent Nice et Menton. Il était donc indispensable

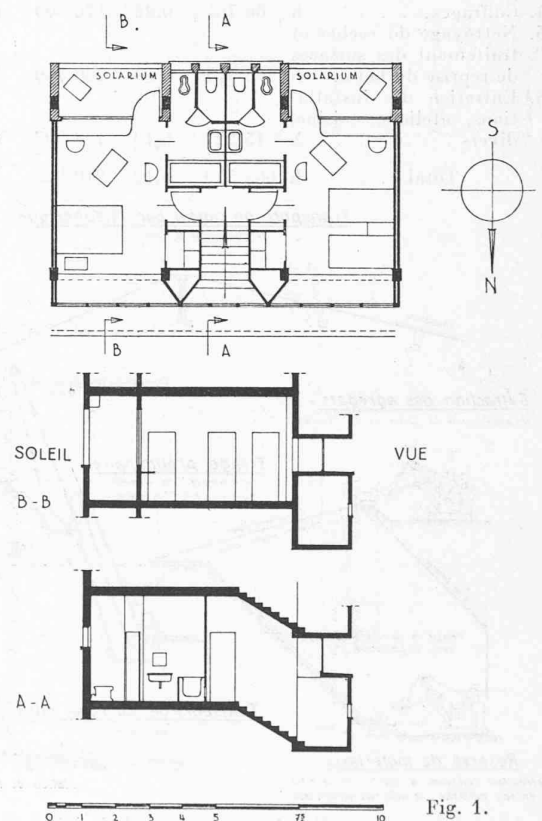


Fig. 1.