

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 48 (1956)  
**Heft:** 7-9

**Artikel:** Le béton des barrages  
**Autor:** Rambert, O.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-921510>

#### 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:** 19.02.2026

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

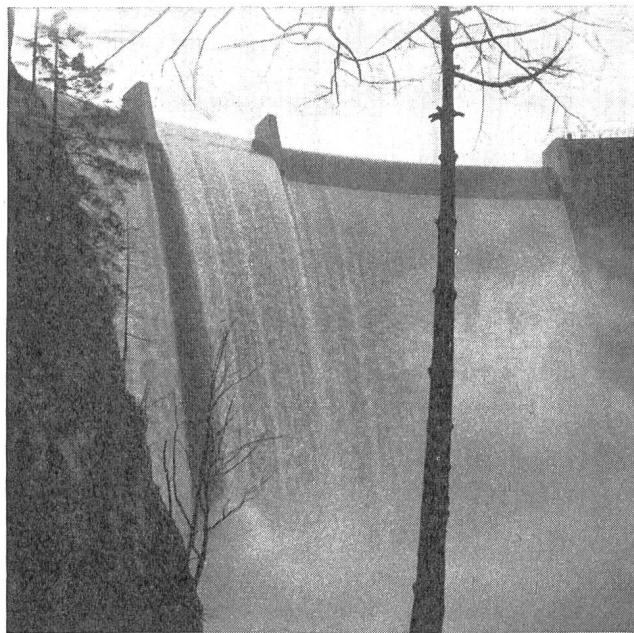


Abb. 3 Staumauer Châtelot, Hochwasser vom 13. Januar 1955  
(Photo C. Schum)

strömen der Krone die Auslösung der totalen Zerstörung bedeutet. Hier wird es notwendig sein, daß die mit aller Sorgfalt ermittelten Spalten noch mit einem besonders hohen Sicherheitsfaktor multipliziert werden. Vom Standpunkt der Sicherheit für den Damm wird man darauf tendieren, bereits große Abflußmengen bei geringem Überstau zu erreichen, damit das Freibord solange wie möglich als Sicherheitsreserve zur Verfügung steht. Diese Forderung steht jedoch in Widerspruch zu derjenigen des Hochwasserschutzes für das Gewässer, bei welchem schon für mittlere Hochwasser eine gewisse Retention erwünscht ist.

Zum Schluß sei noch erwähnt, daß öfters nach Fertigstellung einer Stauanlage der Wunsch auftaucht, den als feste Überlaufschwelle ausgebildeten Hochwasserverfall mit automatischen Organen zu versehen, um, bei gleichbleibendem Maximalstau, den nutzbaren Stauinhalt zu vergrößern. Hierbei wird oft zu wenig berücksichtigt, daß dadurch die Abflußverhältnisse wesentlich verschlechtert werden. Erstens fällt die Retention weg, zweitens wird die totale Überlaufbreite durch Zwischenpfeiler reduziert, und drittens ist meist der Überlaufkoeffizient ungünstiger.

## Le béton des barrages

O. Rambert, ingénieur, Electro-Watt S. A. Zurich

### A. Introduction

La construction de grands barrages a grandement stimulé, au cours des dernières années, les recherches sur le béton. Les ouvrages ayant tendance à devenir toujours plus importants et plus sollicités, une étude approfondie du matériau de base est devenue technique et économiquement de plus en plus nécessaire et les moyens financiers qu'on devait — et pouvait — lui consacrer se sont considérablement accrus.

Les expériences exposées dans cet article sont le fruit des recherches faites en collaboration par le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux (LFEM), le laboratoire de chantier de la Direction des travaux et l'Entreprise du barrage de Mauvoisin qui fabrique le béton et vérifie d'une manière impitoyable le bien-fondé des théories du laboratoire. J'ai tenu donc à aborder mon thème «Le béton des barrages» en me préoccupant spécialement de celui de Mauvoisin, pour bien montrer le mécanisme de collaboration qui doit exister entre le laboratoire et le chantier. Le barrage-vôûte de Mauvoisin avec ses 237 m de hauteur n'est-il du reste pas actuellement l'un des barrages dont le béton est le plus sollicité? (fig. 1 et 2).

Pour l'ingénieur qui s'occupe de béton, ce matériau est un sujet de fréquentes déceptions. Il s'efforce d'en déterminer telle caractéristique et lorsqu'il lui semble l'avoir trouvée, des résultats ultérieurs viennent la démentir. Il faut dire que ces incertitudes se font jour car on arrive actuellement, par une étude méthodique du béton, à la limite de ses performances. Heureusement,

ce que des essais peu nombreux en laboratoire ne peuvent donner, la statistique sur un grand chantier le fournit. Dès qu'un nombre suffisant de mesures permet, par l'établissement de moyennes, d'atténuer l'effet des dispersions, des tendances se dessinent et les diagrammes cessent d'avoir d'inexplicables discontinuités.

Une telle étude statistique a pu être faite avec les essais de Mauvoisin où l'on dispose d'une matière considérable par suite du nombre d'éprouvettes fabriquées (plus de 1000 par le LFEM, 2500 cubes et diverses autres éprouvettes par le chantier durant les deux premières campagnes de bétonnage). Ce nombre élevé de mesures a permis d'éliminer les résultats isolés et peu nombreux.

### B. Le choix des éprouvettes et leur influence sur les résultats d'essais

Les essais de laboratoire sont fortement conditionnés par le type d'éprouvettes utilisé; ils ne peuvent pas être comparés sans autre avec le béton réellement mis en œuvre ou avec un autre type d'essai; non seulement la mesure est différente, mais un phénomène peut apparaître ici et ne pas apparaître là.

On a bien essayé, ces dernières années, de suppléer à l'incertitude des essais de laboratoire en faisant des mesures directes sur l'ouvrage; diverses méthodes non destructives permettent d'estimer les caractéristiques d'un béton, mais aucune relation générale n'ayant pu être établie entre ces mesures et les essais de laboratoire, il faut dans chaque cas procéder à des essais comparatifs.

Les principaux types d'éprouvettes utilisés sur les chantiers de barrages sont les suivants:

cubes	20/20/20 cm
cubes	30/30/30 cm
cylindres	Ø 30 cm, H = 45 cm
prismes	20/20/60 cm.

Grâce au grand nombre d'éprouvettes fabriquées au LFEM lors des essais préliminaires pour le barrage de Mauvoisin, il a été possible d'établir certaines comparaisons. La fig. 3 montre les relations qui existent entre les résistances mécaniques mesurées sur diverses éprouvettes.

Le cube 20/20/20 cm convient mal pour un béton de barrage, car il faut ramener le grain maximum à 60 mm par tamisage. Il en résulte des inconvénients pour la fabrication des cubes et l'interprétation des résultats qui ne peuvent pas sans autre être étendus à ceux d'un béton avec une granulométrie de 0—120 mm.

Les cubes 30/30/30 cm autorisent en revanche une granulation complète, pour autant que le grain maximum ne dépasse pas 120 mm. C'est le type d'éprouvette qui a été adopté pour le barrage de Mauvoisin, en accord avec les autorités de contrôle; ce choix était justifié par le fait que les plus importantes statistiques de résistance étaient déjà rassemblées sur des éprouvettes cubiques.

On a toutefois aussi examiné des éprouvettes cylindriques de 30 cm de diamètre et de 45 cm de hauteur déjà utilisées à l'étranger et maintenant introduites sur les chantiers suisses. Ces éprouvettes devraient donner une résistance plus proche de celle qui existe réellement dans l'ouvrage; la hauteur étant plus grande que la «largeur», l'effet de frette lors de l'écrasement est moins marqué et, la section étant circulaire, la répartition des efforts est plus régulière.

La forme de l'éprouvette a également une grande importance lors des essais de gel, on cherche à en ré-

duire les dimensions, car les installations frigorifiques sont relativement coûteuses. On préfère souvent des éprouvettes «sciées» permettant d'examiner un béton complet, plutôt que de ramener le grain maximum à 60 mm par exemple. Là de nouveau une grande prudence s'impose lorsque l'on compare les résultats des différents chantiers.

### C. Le choix des agrégats

Dans la recherche des agrégats nécessaires, l'attention des ingénieurs s'est portée à Mauvoisin, comme dans plusieurs autres grands chantiers, sur les gravières tapissant le fond de la vallée à l'emplacement de la future retenue. Ce choix n'est toutefois intervenu qu'à la suite d'essais comparatifs avec des matériaux extraits d'une carrière. La graduation naturelle relevée à Torrembé était proche de celle du béton. Une limitation de la grosseur des grains à 120 mm garantissait à la fois une utilisation optimum de la gravière, un bon rendement du point de vue des résistances mécaniques et une maniabilité encore acceptable. Il est peut-être intéressant de signaler à ce sujet que les essais de laboratoire, comme ceux du chantier, ont montré qu'il n'y avait pratiquement aucun intérêt à augmenter le diamètre maximum au-delà de 120 mm, les avantages théoriques que l'on pourrait en retirer étant bien vite compensés par des difficultés de mise en place. La composition granulométrique, qui est sensiblement la même sur la plupart des grands barrages, est la suivante:

	Béton CP 250	Béton CP 160
sable	0— 4 mm	24% 25%
gravillon	4— 10 mm	9% 9%
gravier fin	10— 30 mm	22% 22%
gravier moyen	30— 60 mm	20% 19%
gravier grossier	60—120 mm	25% 25%
	100%	100%

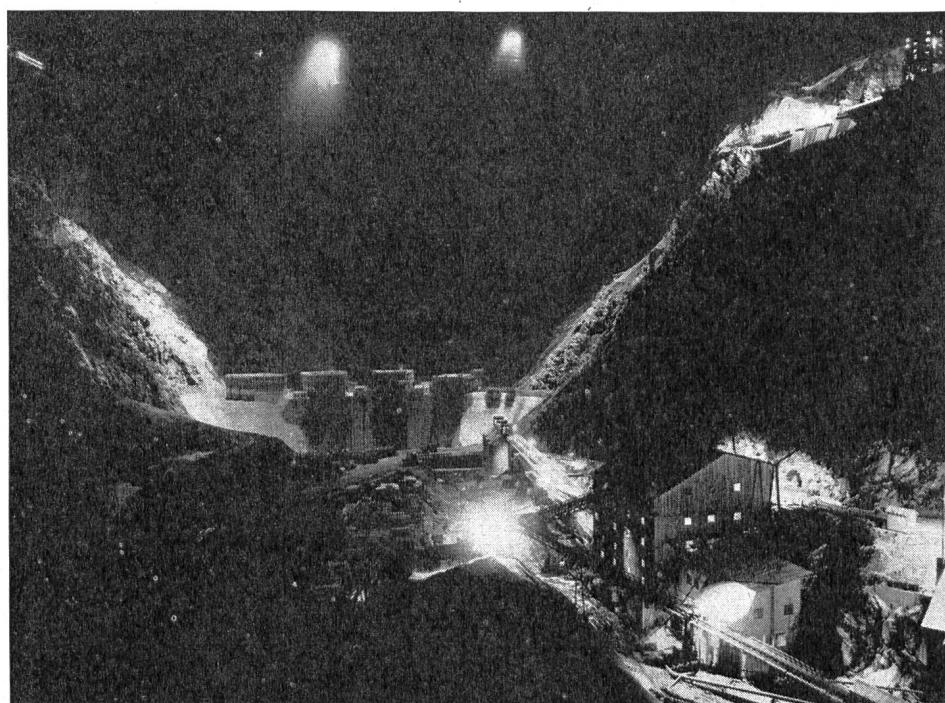


Fig. 1  
Barrage de Mauvoisin.  
Vue nocturne des installations.  
(Photo Mülhauser, Fribourg)

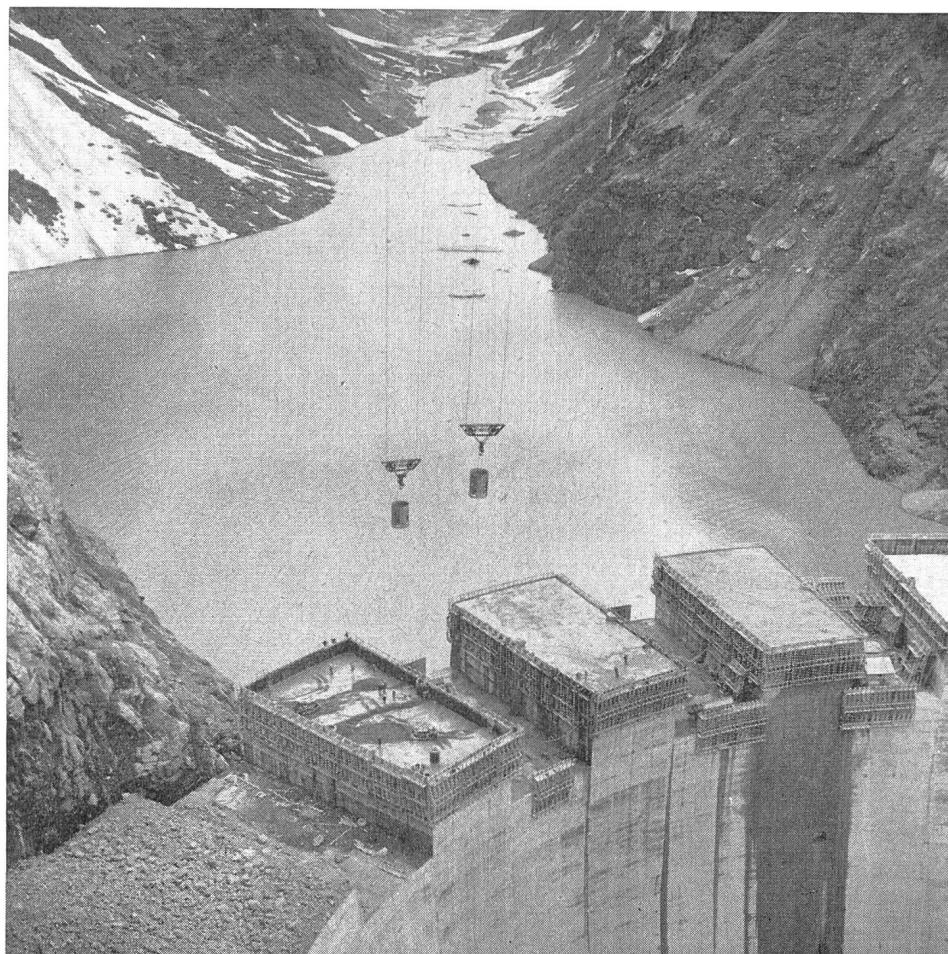
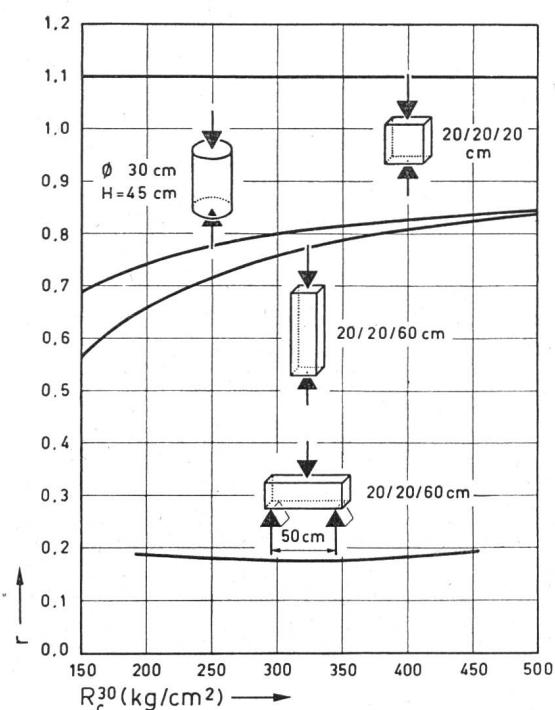


Fig. 2  
Barrage de Mauvoisin. Le barrage en construction et le lac le 15 mai 1956.  
(Photo Mülhauser, Fribourg)



$R_c^{30}$  = Résistance à la compression sur cubes 30/30/30 cm.  
 $r$  = Facteur à appliquer à la résistance  $R_c^{30}$  pour obtenir les résistances sur d'autres éprouvettes.

Fig. 3 Relations entre les résistances mécaniques mesurées sur diverses éprouvettes

#### D. La résistance au gel et l'entraîneur d'air

La résistance au gel d'un béton de parement est certainement aussi importante que sa résistance mécanique. Les exemples sont là pour le prouver. Ne s'agit-il pas d'empêcher la destruction relativement rapide de l'ouvrage? Il y a quelques années encore, on considérait en laboratoire un béton comme non gélif s'il avait résisté à 50 cycles de gel et de dégel. Aujourd'hui bien que les essais de gel tels qu'ils sont pratiqués en laboratoire gardent un caractère assez arbitraire, il est généralement reconnu qu'il faut atteindre 500 cycles au moins pour assurer une sécurité suffisante à un béton exposé au climat des Alpes.

L'armoire frigorifique joue de plus en plus un rôle aussi important que la presse hydraulique pour l'ingénieur qui étudie le béton d'un barrage. La résistance à la flexion — plus que la résistance à l'écrasement — devient un paramètre pour la résistance au gel.

Plusieurs spécialistes s'efforcent d'établir une relation entre les cycles de gel réellement enregistrés à l'ouvrage et les essais de laboratoire. Signalons que des appareils enregistreurs de température ont été placés à cet effet dans le béton du barrage de Mauvoisin.

Les principaux facteurs qui influencent la résistance au gel d'un béton sont:

- les agrégats, leur forme, leur pétrographie, leur granulométrie;
- le ciment, son origine, son dosage;
- l'entraîneur d'air;

- le rapport eau : ciment;
- la mise en place du béton (malaxage, vibration, conservation).

Parmi ces facteurs, il est intéressant de s'arrêter plus spécialement à l'entraîneur d'air qui d'une manière indiscutable améliore la résistance au gel ainsi que la fig. 4 le démontre clairement.

Tous les bétons sans air occlus ont été détruits d'autant plus rapidement que leur dosage était faible; les bétons à air occlus ont en revanche tous atteint 700 cycles de gel et de dégel sans révéler de chute du module d'élasticité (mise à part la chute initiale qui est habituelle et environ la même pour tous), ou une différence appréciable de comportement selon l'adjuvant utilisé.

Il faut toutefois signaler que, d'une manière générale, l'emploi des adjuvants est délicat; il suffit de petites irrégularités, non seulement dans la nature du sable, mais surtout dans la teneur en eau pour que la formation d'air occlus devienne assez variable, il s'ensuit une variation de la maniabilité et de la résistance.

Avant de clore le chapitre relatif à la résistance au gel, il y a lieu de signaler que l'origine et le mode de fabrication du ciment jouent aussi un rôle important. Il a été constaté notamment de plusieurs côtés que les différents entraîneurs d'air agissent inégalement suivant le ciment utilisé. Avant de juger de la résistance au gel d'un béton, il faut donc se préoccuper surtout de la résistance de la pâte liante.

#### E. Le choix des compositions pour le bétonnage au chantier

Pour les ouvrages de faible dimension, on utilise généralement, afin de ne pas compliquer le travail du

chantier, un béton unique dont la résistance coiffe, avec une certaine marge de sécurité, la contrainte maximum calculée. Dans le cas de grands barrages, il serait irrationnel d'aligner la qualité de l'ensemble du béton sur les sollicitations maximums de caractère local. Une différenciation s'impose qui, avec des installations modernes, ne gène pas le processus de fabrication et de mise en place du béton.

Une première distinction doit être faite entre le *béton de parement* qui doit être parfaitement étanche, résistant au gel, et doit avoir les meilleures caractéristiques mécaniques (notamment pour un barrage-vôûte) et le *corps du barrage*, où le gel ne joue aucun rôle, la perméabilité un rôle secondaire et où des résistances mécaniques moins élevées suffisent.

Le dosage du *béton de parement* a été fixé à Mauvoisin, comme pour d'autres grands barrages, à 250 kg/m<sup>3</sup>. Le problème de la granulométrie du béton de parement a été souvent discuté; on a maintenu le grain maximum à 120 mm, car les essais montrent que la résistance au gel n'est en général guère diminuée par une augmentation des grains maximums, pour autant que l'on ne dépasse pas 100 à 120 mm, mais qu'elle dépend bien davantage d'autres problèmes comme nous l'exposons au chap. D.

La composition du *béton de masse* doit tenir compte des possibilités pratiques de mise en place (régularité de la vibration, absence de nids de gravier) ce qui implique dans certains cas une diminution des résistances mécaniques. Ces considérations conduisent par exemple à augmenter légèrement la teneur en sable fin < 0,12 ainsi que la teneur en sable 0,12—4 mm, voire même à diminuer la composante 60—120 mm, suivant la plasticité du béton.

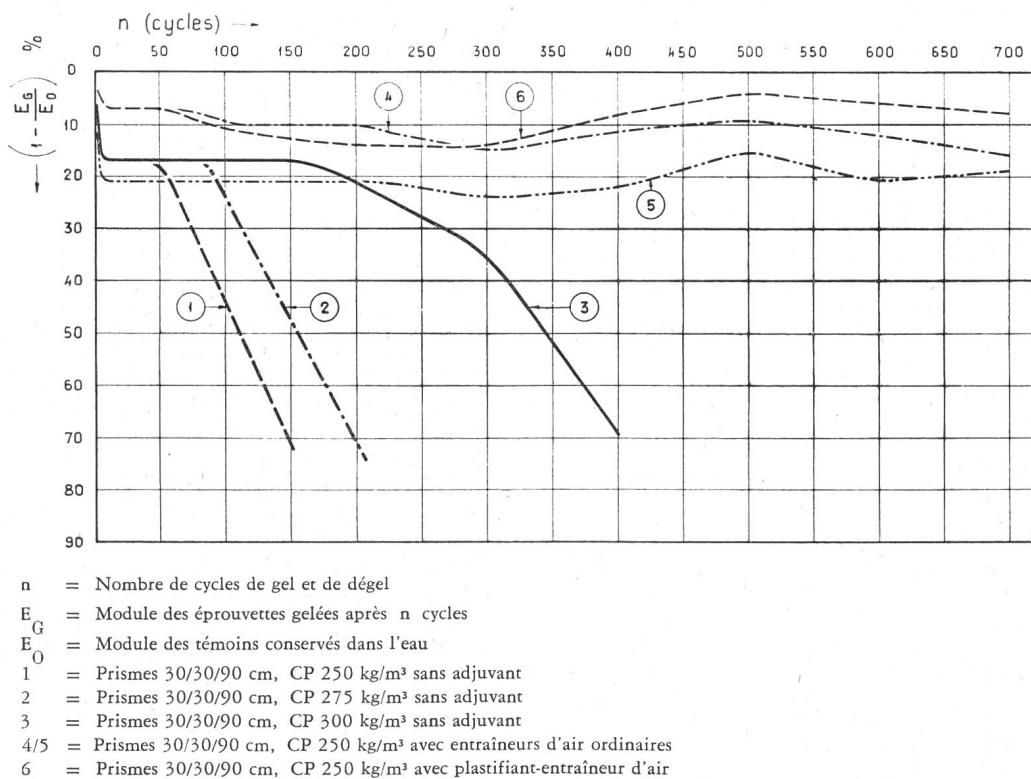


Fig. 4 Influence d'entrepreneurs d'air sur la résistance au gel du béton.  
 Age du béton au début de l'essai: au moins 3 mois. Conservation à l'air à 18° C et à 90% d'humidité relative, puis dans l'eau le dernier mois avant l'essai.

Les fig. 5 et 6 montrent les résistances à la compression que l'on peut atteindre sur un grand chantier de barrage, où l'on produit journallement plus de 5000 m<sup>3</sup> de béton. Ces résistances se rapprochent d'une manière satisfaisante de celles obtenues en laboratoire. Les diagrammes indiquent également les dispersions quadratiques moyennes des résultats du chantier.

Ces résultats ont permis l'adoption d'un coefficient de sécurité voisin de 4, tenant compte des résistances sur cubes 30/30/30 cm à l'âge de 90 jours. Le dosage minimum du béton de masse a été fixé à 160 kg CP par m<sup>3</sup>.

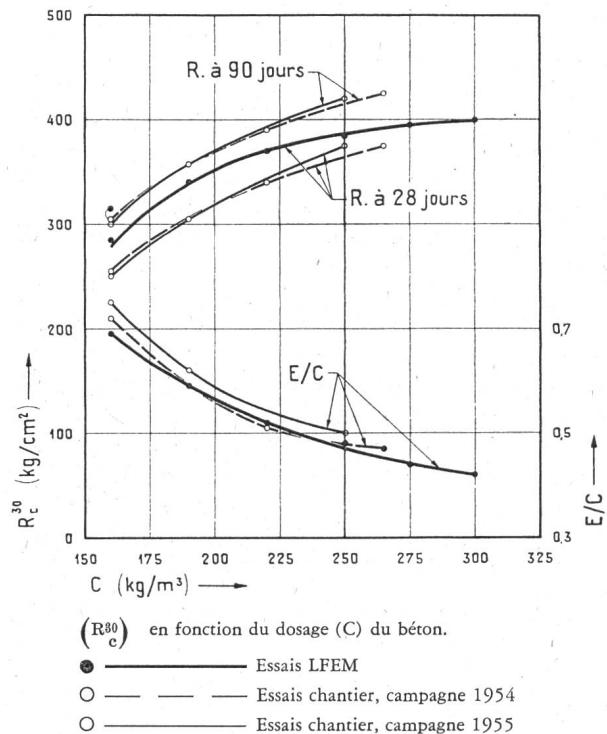


Fig. 5 Résistance à la compression sur cubes 30/30/30 cm

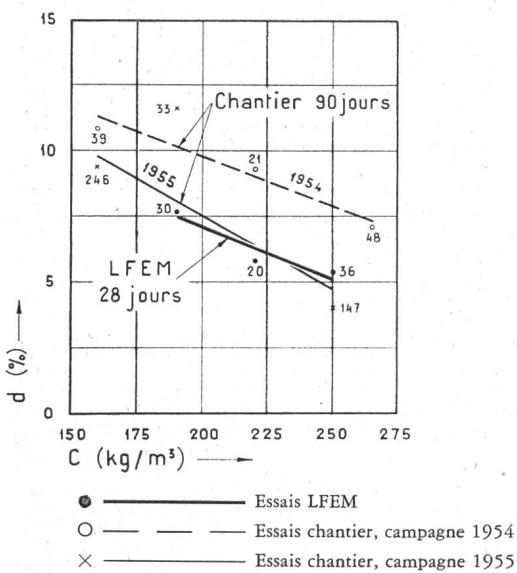


Fig. 6 Dispersion moyenne quadratique (d) des résultats dont les moyennes sont données à la fig. 5

## F. La mise en place du béton

L'emploi de bennes de 6 m<sup>3</sup> augmente la capacité de bétonnage, mais ne facilite pas toujours la mise en place. Les méthodes de vibration utilisées actuellement donnent les meilleurs résultats avec des couches d'environ 50 cm d'épaisseur, 6 couches représentant une levée journalière de 3 m. Il s'agit donc, avant de pouvoir vibrer le béton, de le répartir aussi régulièrement que possible. Les expériences faites à Mauvoisin avec un petit «bulldozer» ont permis de gagner un temps appréciable et d'économiser de la main-d'œuvre (fig. 7). Cette méthode assure une régularité plus grande dans

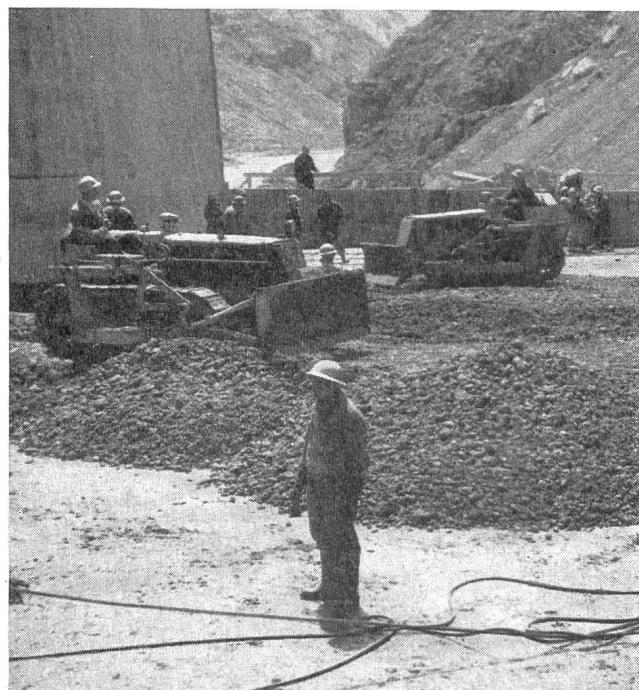


Fig. 7 Barrage de Mauvoisin. Répartition du béton par les «bulldozer»

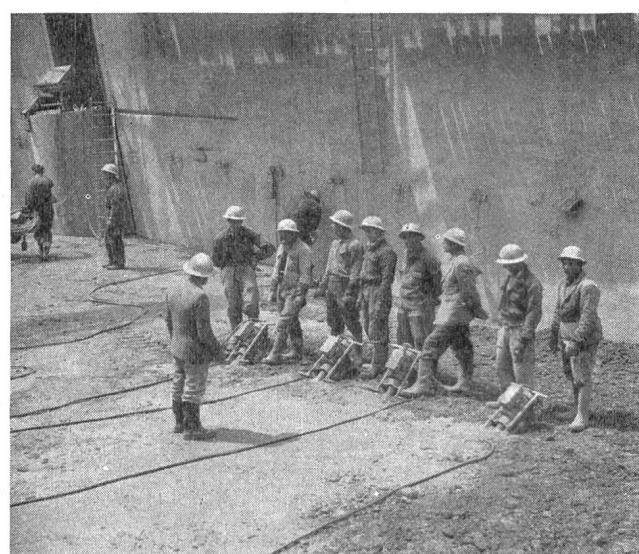


Fig. 8 Barrage de Mauvoisin. Système de vibration. Les ouvriers travaillent coude à coude sur un seul rang

la vibration, car elle rend le travail des hommes qui manient le vibrateur plus systématique (fig. 8). Le nombre des vibrateurs doit être adapté à la cadence de bétonnage. A Mauvoisin par exemple, pour un blondin travaillant au rythme de 1500 m<sup>3</sup> par 22 heures, 4 vibrateurs suffisent. A un rythme plus rapide doit correspondre une augmentation du nombre des vibrateurs. Le temps de vibration se situe entre 2½ et 3 minutes par m<sup>3</sup> de béton (temps d'immersion d'un vibrateur: environ 30 secondes).

### G. Le contrôle du béton

Le contrôle du béton pendant la construction est confié à un laboratoire aménagé sur le chantier et dirigé par un ingénieur de la Direction des travaux. Il est chargé de vérifier chaque jour les propriétés des grandes masses de béton mises en place et doit déceler à temps tout défaut ou dérangement aux installations, toute modification des caractéristiques des agrégats, du ciment et de l'adjuvant. Lorsque le béton a été mis en place sur le barrage, il est trop tard pour intervenir; l'ingénieur du béton doit donc en quelque sorte connaître à l'avance les caractéristiques du béton qu'il contrôle, pour prendre à temps les mesures nécessaires (augmentation du dosage ou de l'épaisseur du béton de parement dans le cas d'un barrage-vôûte).

Ces mesures de contrôle pendant la construction comprennent:

1. Le contrôle du ciment, exécuté en principe au Laboratoire fédéral d'essais des matériaux.

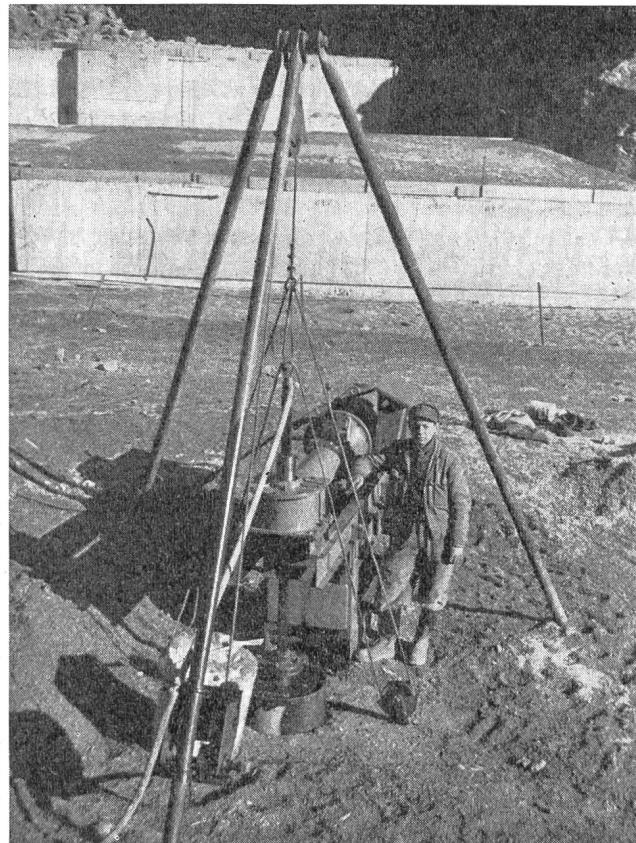


Fig. 9 Barrage de Mauvoisin. Prélèvement de carottes de béton (Ø 50 cm) au moyen d'une foreuse

2. Le contrôle de la propreté et de la composition granulométrique des agrégats, ainsi qu'un contrôle permanent de leur teneur en eau.
3. Le prélèvement quotidien à la tour à béton d'une certaine quantité de béton frais pour fabriquer des éprouvettes et suivre l'évolution de la résistance après 7, 28, 90 et 365 jours.

Ces contrôles ne permettent toutefois pas de vérifier la qualité du béton sur l'ouvrage, notamment le serrage du béton. Pour cela une foreuse spéciale permet d'extraire des carottes de contrôle de 50 cm de diamètre jusqu'à une profondeur de 12 à 15 m dans le béton en place (voir fig. 9 et 10).

L'examen macroscopique des carottes (voir fig. 11) décèle tout défaut: excès ou manque d'eau de gâchage, insuffisance de la vibration, porosité excessive, démêlage du béton lors de la mise en place. Elles sont

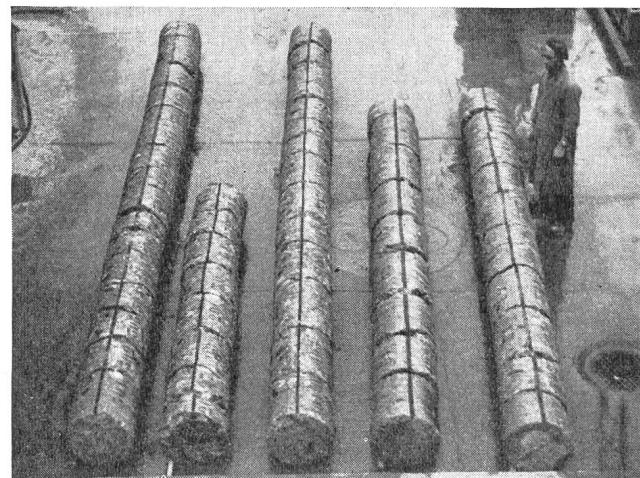


Fig. 10 Barrage de Mauvoisin. La forte torsion à laquelle sont soumises les carottes lors de l'extraction provoque des cassures

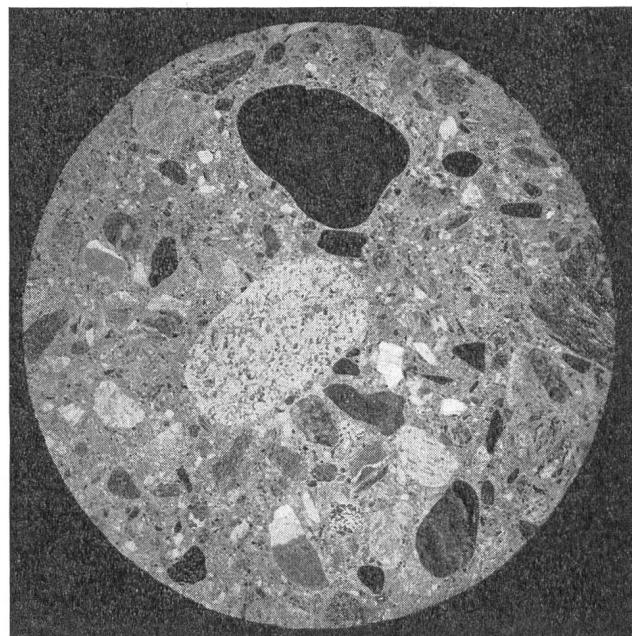


Fig. 11 Barrage de Mauvoisin. Carotte sciée et polie pour l'examen macroscopique

débitées en cubes de 30 cm d'arête identiques à ceux moulés au laboratoire; leur résistance moyenne à la compression atteint 90—100% de la résistance de ces derniers suivant les dosages.

Ces carottages permettent en outre le contrôle des joints de reprise.

#### H. Les installations de chantier

Bien qu'il ne soit pas dans le propos de cet article de s'étendre sur les installations de fabrication du béton, quelques remarques s'imposent au sujet de la préparation et du stockage du sable. Les expériences récentes montrent les avantages d'une installation où le sable est préparé, stocké et acheminé à la tour à béton en deux composantes (0,12—1 mm et 1—4 mm),

pour permettre d'adapter sa granulométrie au dosage en ciment. Le triage est obtenu par des décanteuses-trieuses.

Le problème des variations d'humidité du sable est à la base même de la régularité dans la fabrication du béton. Une amélioration très sensible a été apportée dans ce domaine par l'entreprise du barrage de Mauvoisin qui a aménagé dans la tour à béton un système de mesures par résistances électriques permettant à chaque instant de connaître la teneur en eau du sable et d'en tenir compte à temps dans le calcul de l'eau de gâchage. L'esorage du sable dans les silos, notamment pour le sable 0,12—1 mm, a fait récemment, grâce aux recherches de plusieurs grandes entreprises suisses, un grand pas en avant, ce qui apporte une garantie de plus pour la régularité du rapport E/C.

## Sondierungen und Injektionen für Talsperren

Dipl.-Ing. Charles F. Blatter, Direktor der Swissboring, Zürich

Der Ausbau der Wasserkräfte muß heute auch Talsperren berücksichtigen, deren Baugrund nicht mehr idealen Voraussetzungen entspricht und früher sogar als ungeeignet bezeichnetet, so daß die Anlage als nicht bauwürdig klassiert wurde. Je mehr man sich mit solchen weniger günstigen Ausbauobjekten befassen muß, um so wichtiger werden die Voruntersuchungen des Bodens, und es gibt kaum mehr eine Talsperre, deren Untergrund nicht vor dem Bau durch Sondierungen mehr oder weniger eingehend erforscht wurde. Dazu kommt auch der Umstand, daß die Abmessungen der Talsperren immer größer werden und demzufolge auch die Beanspruchungen im Untergrund zugenommen haben. Auf Grund der Bodenuntersuchungen zeigt es sich dann meistens, daß die angetroffenen Gesteine den verlangten Anforderungen in bezug auf Dichtigkeit und Tragfähigkeit nur genügen können, wenn sie mit Injektionen besonders behandelt werden. Bei sozusagen allen Talsperrenprojekten werden Injektionen in größtem oder kleinerem Umfange vorgesehen.

Im Stadium des Vorprojektes ist es oft schwierig zu entscheiden, in welchem Umfange die Sondierungen vorgenommen werden müssen, wobei nicht nur die technischen Momente, sondern auch die finanziellen Motive von maßgebender Bedeutung sind. In diesem Zeitpunkt ist noch kein Baubeschluß vorhanden, und es stehen in den meisten Fällen nur beschränkte Kredite zur Verfügung, so daß aus diesem Grunde die Sondierungen nur in reduziertem Umfange durchgeführt werden dürfen. Das Fehlen der Geldmittel verhindert dann das eingehende Studium der Verhältnisse, das eigentlich erst die Bauwürdigkeit des Objektes abklären könnte. Trotzdem vom technischen Standpunkt aus die Notwendigkeit einer detaillierten Erforschung des Bodens unbestritten ist, wird diese gerne auf die Zeit zwischen Baubeschluß und Baubeginn verschoben. Wenn man aber berücksichtigt, daß bei den gegenwärtigen kurzen Terminen oftmals nur eine geringe Zeitspanne vorhanden ist, können die sorgfältige und gründliche Erschließung und Erkundung des Bodens nicht mehr rechtzeitig er-

folgen und so kann dieser Mangel zu Schwierigkeiten beim Bau Anlaß geben.

Der Zweck der Sondierungen kann sehr vielfältig sein, wobei bei uns die Feststellung der Lage und Art des Felsens oft die erste Aufgabe bedeutet. Dann werden die Granulometrie und Petrographie der Überlagerungen meistens eine Rolle spielen, ferner die Durchlässigkeit des Lockergesteins sowie des Felsens, Lagerungsdichte, Grundwasserstand usw.

Die Untergrundverhältnisse an den Sperrstellen in bezug auf die Überlagerung im Talboden sind vielfach einfach; so stand beispielsweise bei den Staumauern von Rossens, Palagnedra, Sambuco und Zervreila der blanke Fels praktisch im Flußbett an. Bei den ersten beiden Sperrstellen mußte jedoch ein epigenetisches Tal neben der Staumauer abgeklärt werden, während bei den beiden letzten Sperrstellen die Talfanken Anlaß zu Untersuchungen gaben. Bei andern Projekten, z. B. Andermatt, Mauvoisin, Göschenen, Marmorera, war die Überlagerung teilweise sehr mächtig und die Bestimmung der Felslage stand im Vordergrund. Aus der genauen Abklärung des Felsprofils konnte die Aushubkubatur berechnet oder im Falle Marmorera der Umfang der Abdichtungsarbeiten festgelegt werden, da der gesamte Aushub bis auf den Felsen unwirtschaftlich gewesen wäre.

Die Bestimmung der Felsüberlagerung ist in vielen Fällen nicht einfach, denn die Lockergesteine in der Schweiz und im Alpengebiet allgemein, bestehend aus Alluvionen, Moräne, Bergsturz- oder sonstigem Schuttmaterial, zeichnen sich durch eine sehr harte und kompakte Lagerung aus und sind meistens von zahlreichen kleinen und größeren Blöcken durchsetzt. Die Sondierungen werden in diesen Schichten als Schlagbohrungen ausgeführt, wobei ein Mantelrohr durch Rammens oder Drehen abgetrieben und gleichzeitig das Bodenmaterial aus dem Innern des Rohres mit einem geeigneten Instrument oder Apparat zutage gefördert wird (Abb. 1). Die Blöcke müssen dann mit dem Fallmeißel durchhört oder mit Rotationsbohrung durchfahren und gesprengt