

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

Artikel: Barrages-voûtes en Suisse
Autor: Stucky, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921507>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

Barrages-voûtes en Suisse

Alfred Stucky, ingénieur-conseil, professeur à l'Ecole-Polytechnique de Lausanne

1. — Evolution des formes des barrages-voûtes

Les deux premiers barrages-voûtes exécutés en Suisse presque simultanément, de 1919 à 1921, sont ceux de Montsalvens, sur la Jogne, et du Pfaffensprung, sur la Reuss. Le premier a une hauteur de 55 m et un volume de béton de 26 000 m³; le second, une hauteur de 32 m. Les barrages-voûtes actuellement en construction (Zervreila, Lienne, Moiry, Mauvoisin) ont de 145 à 230 m de hauteur; leur volume atteint 800 000 et 2 000 000 m³ pour les deux derniers (fig. 1). Ce n'est d'ailleurs pas la seule différence. En comparant les profils, on reconnaîtra d'autres différences fondamentales dans les formes et les dimensions. Ces progrès sont dus à l'évolution des procédés de construction autant qu'au perfectionnement des méthodes de calcul.

Dans les premiers barrages, les épaisseurs sont relativement importantes. La contrainte moyenne dans les arcs calculés isolément ($\sigma = \frac{p \cdot r_{ext}}{e}$) est encore très faible, une vingtaine de kg/cm². Les progrès de la technologie des bétons, ainsi que l'assurance acquise par les premières constructions, ont permis de porter les contraintes moyennes à des valeurs triples, de réduire par conséquent d'autant les épaisseurs. (Pour certains barrages modernes français, tel que celui du Gage dont la hauteur, il est vrai, ne dépasse pas 38 m, la compression moyenne atteint même 100 kg/cm².)

Lors des premières réalisations, on craignait de donner aux parements des formes compliquées. Ceux du barrage de la Spitallamm sur l'Aar (1928—1932) sont coniques (parement aval en gradins). Le barrage de Montsalvens avait déjà une forme moins simple, les rayons de courbure des arcs diminuant du haut vers le bas suivant une loi non linéaire et la ligne des centres n'étant pas rectiligne. Les progrès réalisés dans la technique des coffrages, par l'introduction des coffrages glissants entre autres, ont permis aux constructeurs de s'affranchir des formes trop simples et d'envisager les barrages

à double courbure, en forme de coupole plus ou moins accentuée. Les surplombs n'effrayent plus les constructeurs aujourd'hui.

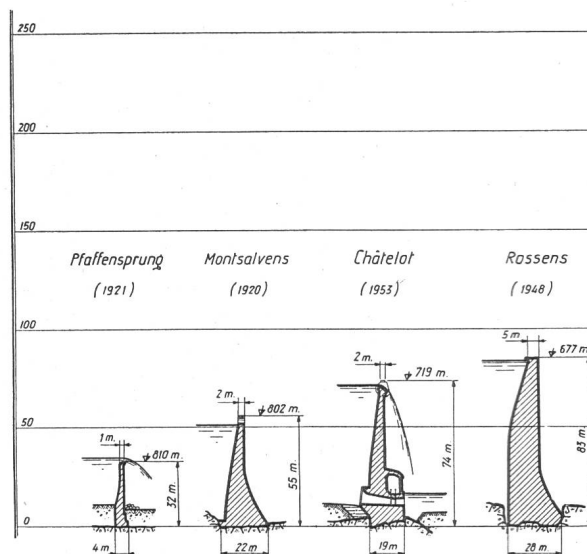
L'évolution des formes des parements a permis de mieux s'adapter à la topographie du rocher, les progrès de la technologie des bétons, de tolérer des contraintes locales beaucoup plus élevées (100 kg/cm² et même davantage à Mauvoisin), ce qui a conduit aux profils beaucoup plus sveltes et élégants des barrages récents (fig. 2, 3 et 4).

On a considéré longtemps que le barrage-voûte n'était réalisable que dans les gorges relativement étroites où la corde du couronnement ne dépassait pas 2 à 2,5 fois la hauteur. Les calculs plus perfectionnés, tels qu'on les effectue couramment aujourd'hui, confirmés par les essais sur maquettes et l'expérience acquise, ont montré que les extrémités du barrage dans un profil de vallée en V, même très ouvert, ne se déforment que très peu, et, par conséquent, qu'elles n'interviennent presque pas dans la résistance de l'ouvrage en tant que voûte. Un profil très évasé n'est plus aujourd'hui un obstacle à la réalisation d'un véritable barrage-voûte; au barrage de Moiry, par exemple, la corde au niveau du couronnement est égale à 3,5 fois la hauteur (fig. 5 et 6).

Les calculs et les essais montrent que l'interdépendance des arcs et des murs dans la région centrale, c'est-à-dire l'effet de plaque ou de coupole, se traduit par une «symétrisation» des déformations. Même des barrages aux contours très dissymétriques ont montré sur maquettes des déformations remarquablement symétriques. Ainsi, les observations des barrages en service, les calculs et les essais sur maquettes permettent aujourd'hui de proposer le barrage-voûte pour des profils de vallées très évasés et même très dissymétriques, si on lui donne la forme adéquate (voir barrage de Moiry, fig. 6).

Fig. 1 Evolution des dimensions et des formes des barrages-voûtes au cours des années 1919 à 1956.

Profils caractéristiques des principaux barrages suisses (pages 230/231)



On verra au paragraphe 2 (Calculs et essais sur modèles réduits) que la double courbure du barrage améliore beaucoup la distribution des contraintes dans l'ouvrage, en les uniformisant. Un autre avantage du barrage à double courbure apparaît dans le fait suivant: si une région de l'ouvrage présente une résistance plus faible que les voisines, par exemple par suite d'un défaut d'homogénéité du béton, ou si, ce qui est plus fréquent, les appuis rocheux ne sont pas de même qualité sur tout le pourtour, c'est-à-dire si certaines couches sont plus ou moins dures, les poussées hydrostatiques peuvent être transmises aux régions plus résistantes du rocher, par un chemin différent du chemin direct. Que le barrage ou ses appuis soient homogènes ou non, le cheminement des forces est toujours celui qui correspond au minimum de travail de déformation; en d'autres termes, les efforts intérieurs peuvent trouver un chemin par les régions les plus résistantes de l'ouvrage, vers les points les plus durs du rocher. C'est ce qui donne au barrage-voûte sa très grande sécurité.

Je m'empresse d'ajouter que cette évolution des formes vers plus de sveltesse et une meilleur adaptation aux contours du terrain apparaît d'ailleurs dans tous les pays où se construisent des barrages-voûtes (Suisse, Italie, France, Autriche, pour ne citer que nos voisins immédiats).

2. — Calculs et essais sur modèles réduits

Quel que soit le soin apporté au calcul, celui-ci ne peut pas prétendre donner une image fidèle de la réalité. On doit donc s'attendre à ce que les résultats qui en découlent ne concordent pas rigoureusement avec les essais exécutés sur une maquette ou avec les mesures qui seront faites sur l'ouvrage en service.

Les principales sollicitations auxquelles un barrage-voûte peut être soumis sont: le poids propre, la poussée de l'eau, les variations de température, l'effet d'une déformation de la vallée et celui des tremblements de terre.

Le barrage étant habituellement construit par voussoirs jointifs, dont les joints seront injectés quelques mois après le bétonnage, on admet en général que le

poids propre est supporté uniquement par les éléments verticaux, comme dans un barrage-poids.

L'effet de la poussée de l'eau peut être déterminé de diverses manières:

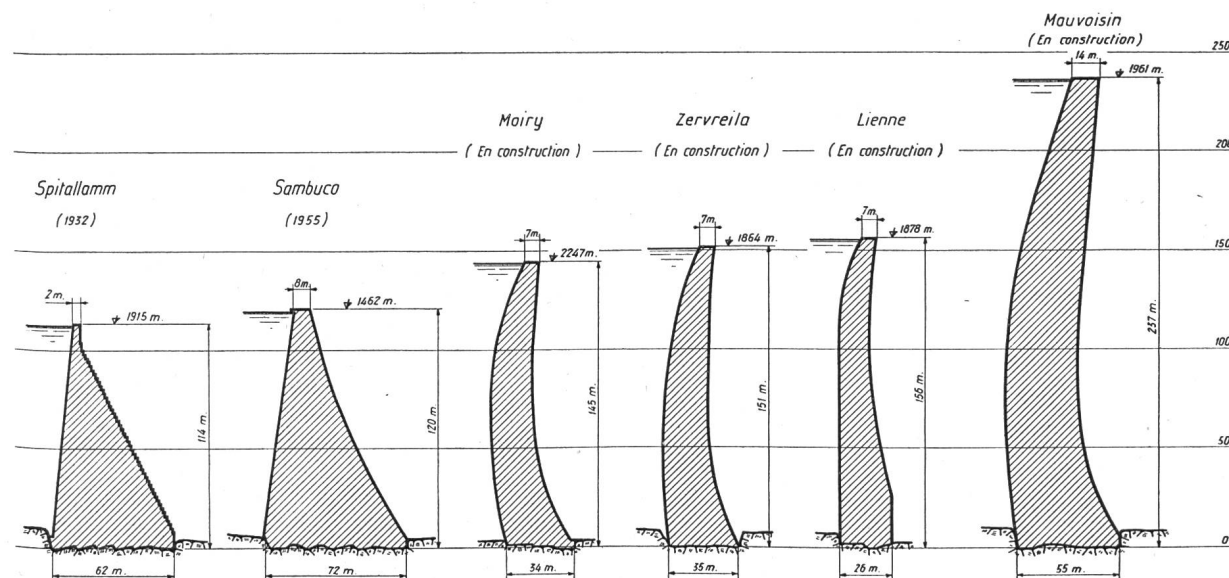
Un premier calcul, très approximatif mais très simple, consiste à considérer le barrage comme formé d'arcs isostatiques horizontaux, indépendants les uns des autres et simplement appuyés aux naissances; chaque arc est calculé par la classique «formule du tube». Cette manière de procéder donne une indication très générale sur la valeur moyenne de la compression.

On sait, par ailleurs, que dans les arcs élastiquement encastrés, la contrainte sur le parement le plus sollicité ne dépasse pas, pour les proportions usuelles des barrages-voûtes, 1,6 fois la contrainte moyenne¹. Ainsi, par un calcul extrêmement simple, on peut avoir une idée de l'ordre de grandeur des compressions auxquelles sera soumis le barrage sous l'effet de la poussée de l'eau.

Pour un calcul plus détaillé, on admet que l'ouvrage est découpé en un certain nombre de tranches horizontales, les arcs, et de tranches verticales, les murs. La poussée hydrostatique est répartie entre ces deux systèmes porteurs, de manière à obtenir une concordance plus ou moins parfaite des déformations à tous les points de croisement. Ce procédé est très artificiel, mais à ce jour on n'en connaît pas d'autre qui soit pratique pour un profil de vallée quelconque.

On peut ajuster les déformations normales dans une seule section verticale au centre de l'ouvrage. Dans un deuxième stade, on peut ajuster les déformations normales dans plusieurs sections verticales. Enfin, dans un calcul plus fouillé, on peut ajuster les trois déformations élémentaires — normale, tangentielle et angulaire — dans un certain nombre de sections verticales. Le premier procédé présente l'avantage de n'être pas très compliqué, mais son approximation est quelquefois insuffisante lorsqu'il s'agit de grands projets. La deuxième

¹ A. Stucky, F. Panchaud et E. Schnitzler: Contribution à l'étude des barrages-voûtes. Effet de l'élasticité des appuis (Bulletin technique de la Suisse romande, 1950).



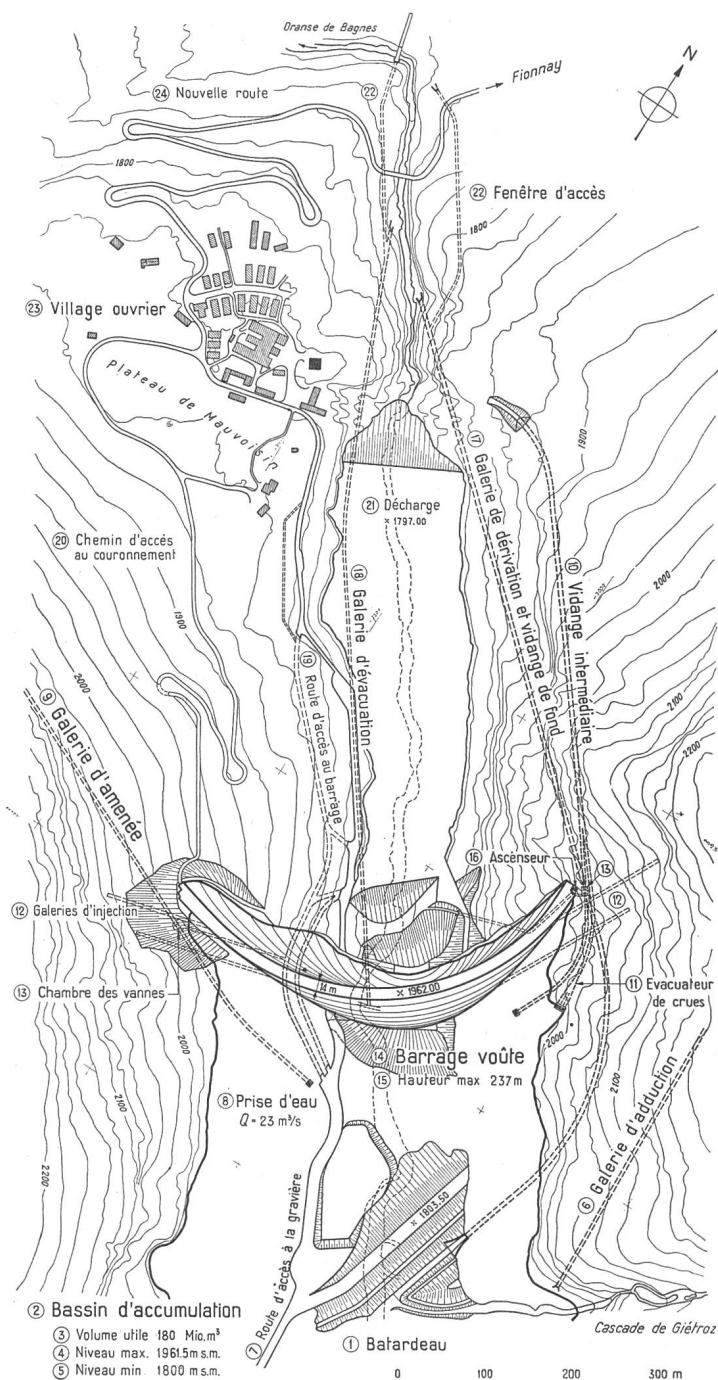


Fig. 2
Barrage de Mauvoisin
Plan de situation

approximation n'est pas très satisfaisante. Si l'on veut faire l'effort nécessaire, il vaut mieux passer directement à la troisième approximation.

Dans ce dernier cas, on peut réaliser l'ajustement par tâtonnements (approximations successives) ou bien par résolution d'un système d'équations dont le nombre variera de soixante à une centaine. C'est donc un travail considérable, qui ne se justifie que pour de très grands barrages et exige des calculatrices électroniques à programmes.

Dans les trois cas d'ajustement des déformations, on peut admettre que le rocher de fondation est indéforma-

ble, ce qui conduit à des moments d'encastrement élevés, ou au contraire, de préférence, que le rocher se déforme sous l'effet des réactions d'appui des arcs et des murs, ce qui est plus conforme à la réalité et conduit à des moments d'encastrement plus modérés. A défaut d'essais de déformation de la roche en place, une hypothèse fréquente consiste à attribuer le même module d'élasticité aux appuis rocheux qu'au béton du barrage².

² A. Stucky: Quelques problèmes relatifs aux fondations des grands barrages-réservoirs. Barrages du Mauvoisin et de la Grande Dixence (Bulletin technique de la Suisse romande, 1954).

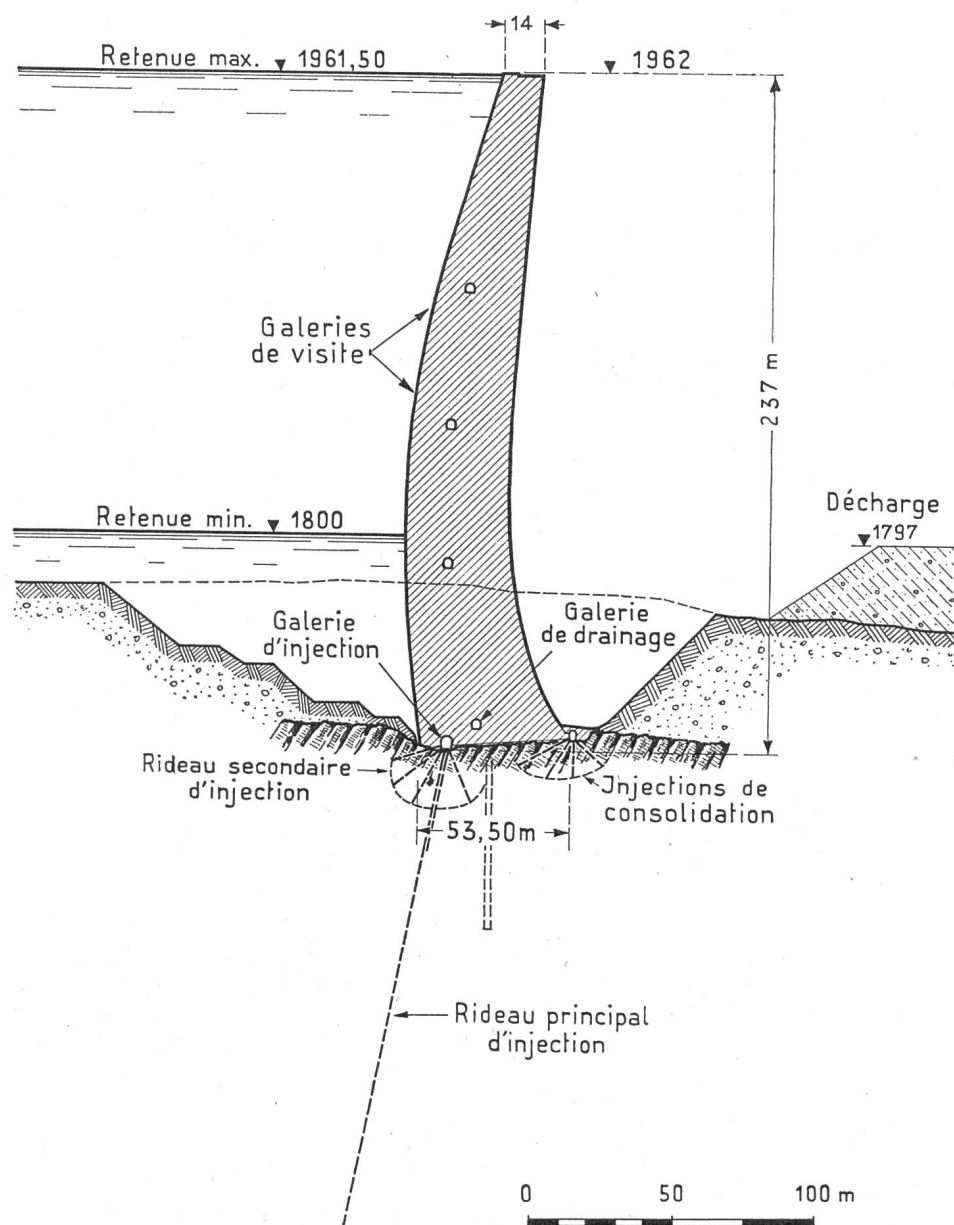


Fig. 3
Barrage de Mauvoisin
Coupe verticale

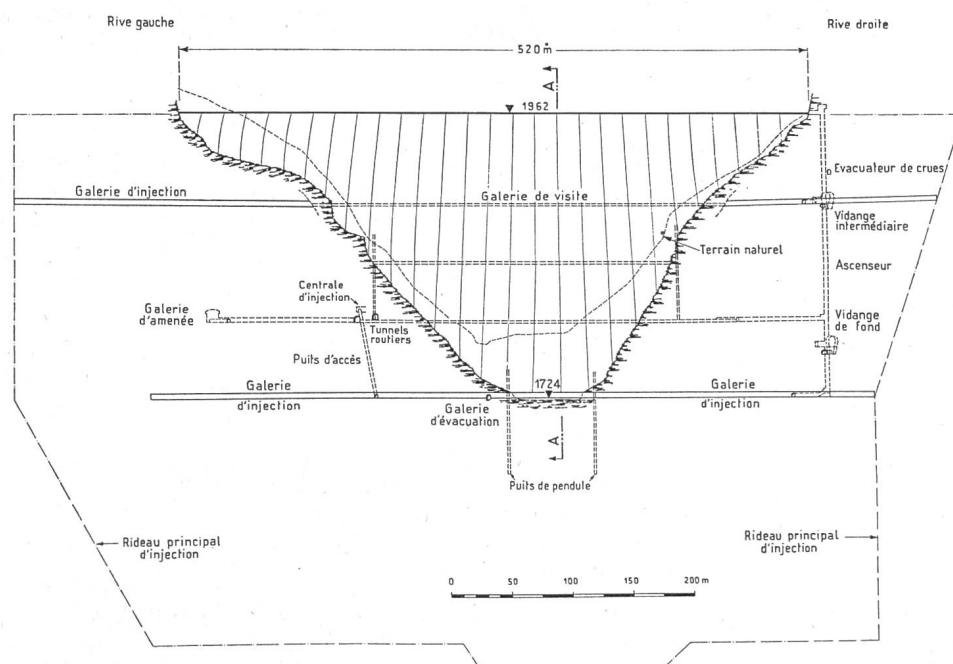


Fig. 4
Barrage de Mauvoisin.
Elévation développée
du parement amont

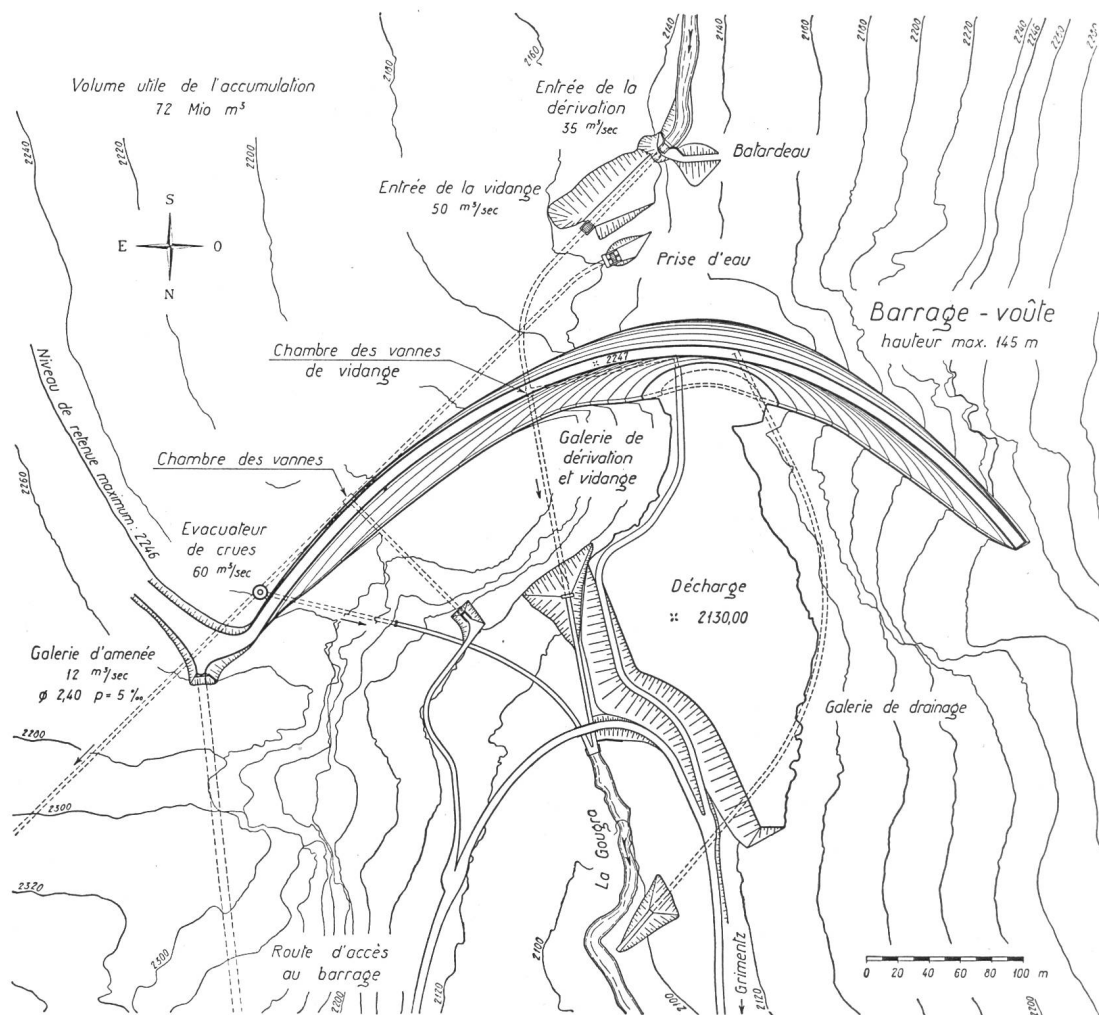


Fig. 5 Barrage de Moiry. Plan de situation

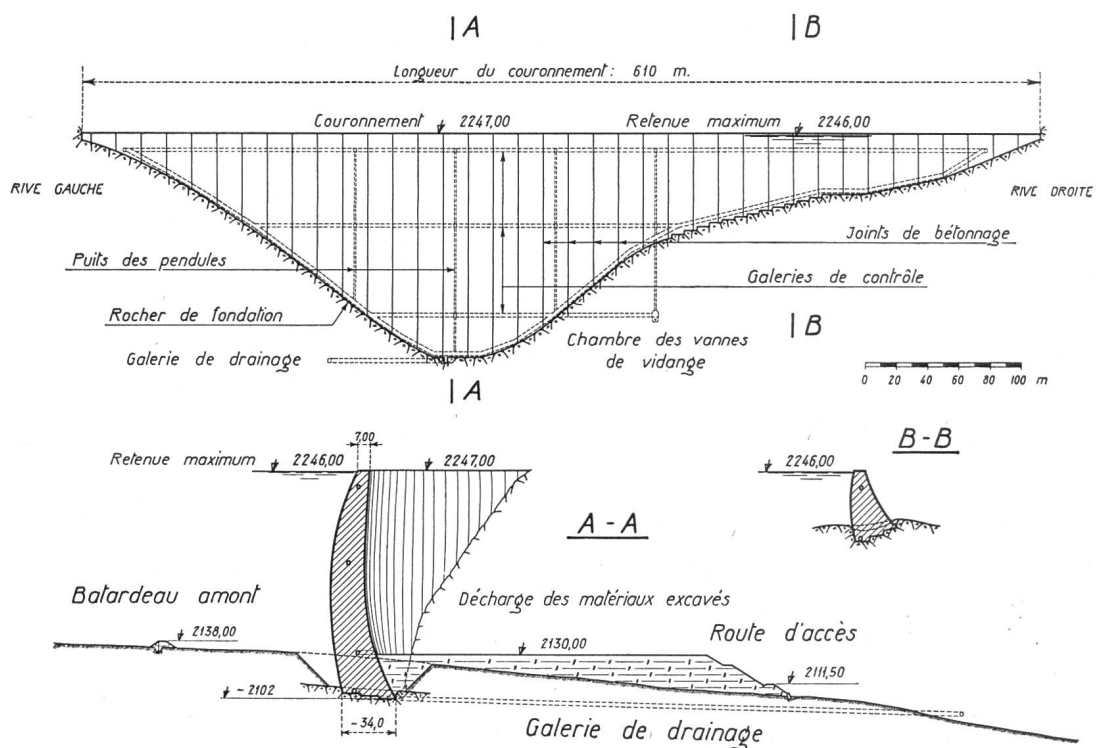


Fig. 6 Barrage de Moiry. Elévation développée du parement amont et coupes verticales

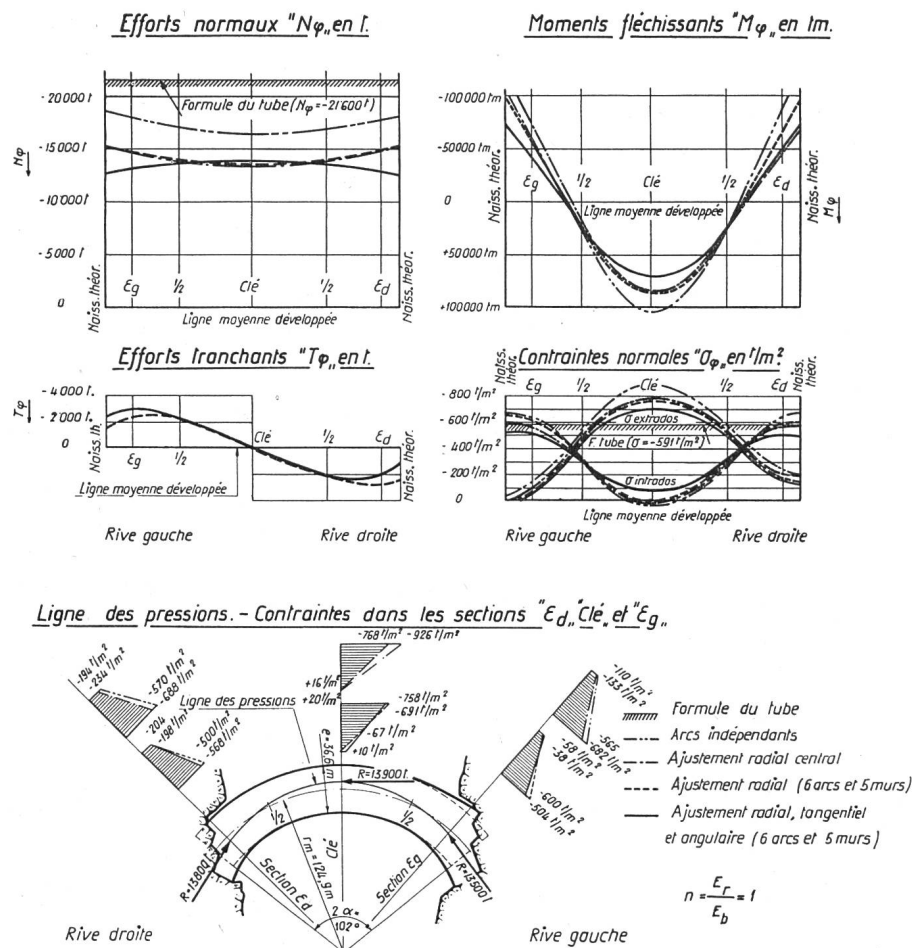


Fig. 7
Barrage de Mauvoisin. Variation des efforts et des contraintes dans un arc sous l'effet de la poussée de l'eau. Influence de divers ajustements des déformations

Il est intéressant de comparer les résultats de ces trois calculs pour un arc déterminé (fig. 7). On constate que pour l'ajustement le plus complet des déformations, les efforts normaux et les moments fléchissants dans les arcs diminuent d'une manière assez sensible, ce qui se traduit par une meilleure répartition des contraintes dans les sections les plus sollicitées, au voisinage de la clé et des naissances. De plus, alors que l'effort normal croît de la clé aux naissances lorsque les arcs sont supposés indépendants ou lorsqu'on réalise un ajustement de degré inférieur (au droit de la section centrale seule, par exemple), cet effort décroît lorsque trois déformations sont ajustées à l'intersection de plusieurs arcs et de plusieurs murs³. Un ajustement des trois déformations élémentaires en un assez grand nombre de points de croisement conduit ainsi à des déformations moindres que celles qui résultent d'un calcul moins poussé. La concordance avec les essais sur modèle réduit et avec les observations sur l'ouvrage terminé est meilleure (fig. 8).

Aux contraintes résultant de la poussée de l'eau, il y a lieu d'ajouter les contraintes résultant des variations de température par rapport aux températures de clavage. On considérera à cet effet différentes époques de l'année.

La solidarité des arcs entre eux tend à égaliser les

déformations d'origine thermique et, par conséquent, atténue la valeur des contraintes qui en résultent dans les arcs les plus chargés. Toutefois, cet effet favorable peut, avec une approximation en général suffisante, être négligé; les variations de température sont alors supposées agir sur des arcs indépendants.

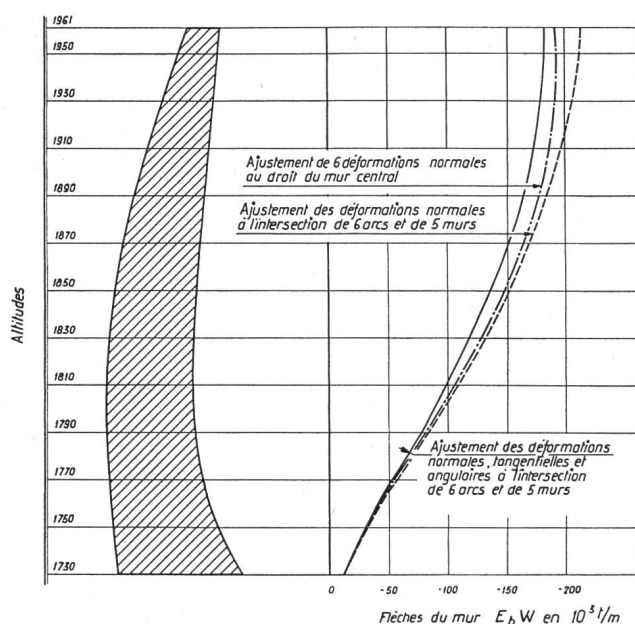


Fig. 8 Barrage de Mauvoisin. Déplacements horizontaux du mur central sous l'effet de la poussée de l'eau. Influence de divers ajustements des déformations

³ Cette constatation, que pour les profils de vallée en V l'effort normal dans les arcs diminue de la clé aux naissances, conduit à choisir pour les arcs la forme de paraboles plutôt que celle d'arcs de cercles. C'est le cas au barrage de Moiry.

Déplacements radiaux EW des points du feuillet moyen. $EW_{\max} = 100 \% = -107\,500 \text{ t/m}^2$

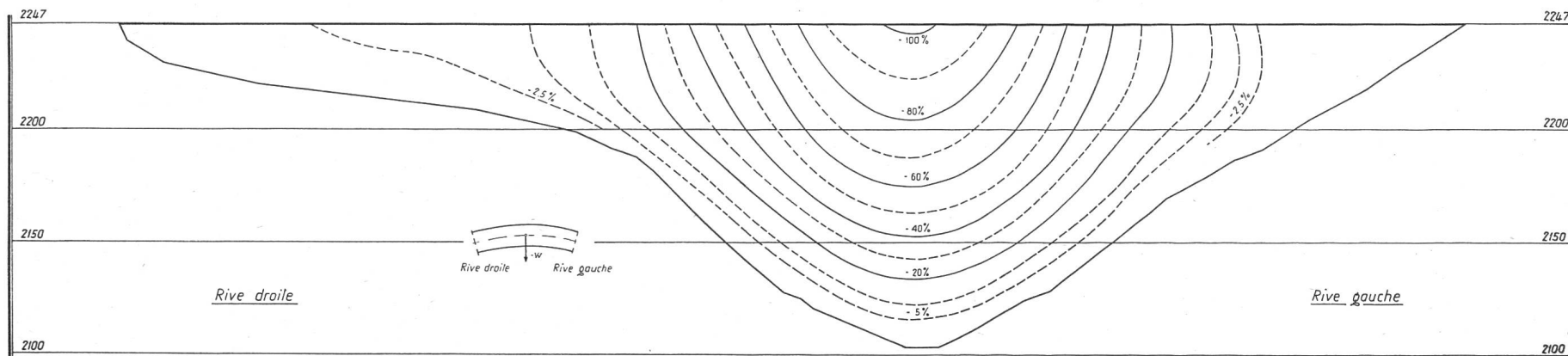


Fig. 9 Barrage de Moiry. Lignes d'égales déformations normales du barrage sous l'effet de la poussée de l'eau.
Résultats de mesures sur modèle en caoutchouc à l'échelle 6 : 1000

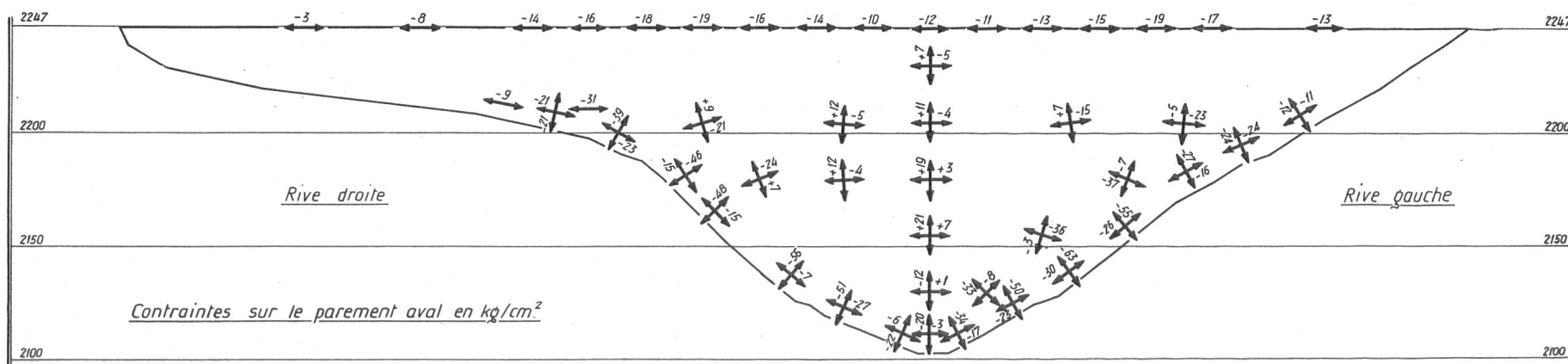


Fig. 10 Barrage de Moiry. Contraintes principales sur le parement aval dues à la poussée de l'eau.
Résultats de mesures sur modèle en caoutchouc à l'échelle 6 : 1000

S'il s'agit d'un barrage de grande hauteur, au delà de 150 m par exemple, la poussée de l'eau a pour effet d'écartier les deux flancs de la vallée. Cet écartement se traduit pour le barrage proprement dit comme une chute de température².

Ces quatre sollicitations (poids propre, poussée de l'eau, variations de température, écartement des flancs de la vallée) constituent les *cas de charge normaux* pour lesquels on peut adopter un coefficient de sécurité de 4,2 dans l'hypothèse que la fabrication du béton permet de garantir une très bonne régularité des résultats³.

Il convient de tenir compte en outre des *secousses sismiques*, selon la théorie de Westergaard par exemple. Ce cas de charge, ajouté aux précédents, constitue le *cas de charge exceptionnel*; on peut alors se contenter d'une sécurité un peu moindre, soit de 3,2.

On détermine ainsi, pour chaque région du barrage, les sollicitations le long d'une section transversale. Suivant les cas de charge, le maximum de compression se présentera sur un parement ou sur l'autre. L'enveloppe des différents cas de charge permettra de déterminer, en fonction des coefficients de sécurité admis, les résistances exigées du béton à 90 jours.

Ce n'est pas le lieu de décrire ici la technique des *essais sur modèles*. Rappelons seulement que pour les barrages-voûtes, on étudie essentiellement sur les modèles l'effet (déformations et contraintes) de la poussée de l'eau. Comme, à l'échelle réduite, cet effet se traduit par des pressions relativement faibles, le modèle doit être exécuté en une matière très déformable, soit à petit module d'élasticité, telle que: béton spécialement traité, caoutchouc, résines, etc. De plus, on peut accentuer les pressions en remplaçant la poussée de l'eau par celle de vérins; dans ce cas, il est nécessaire d'augmenter le poids du modèle dans la même mesure, ce qui peut se faire par exemple au moyen de ressorts exerçant sur le modèle une précontrainte verticale.

L'auscultation du modèle, aisée sur le parement aval mais plus délicate sur le parement amont, se fait au moyen de fleximètres qui permettent de déterminer les déformations normales et tangentielles. On peut ainsi tracer la surface topographique des déformations normales (fig. 9) qui constitue une indication précieuse sur le comportement du barrage dans son ensemble. On constate que, même pour un profil de vallée très dissymétrique, ces déformations sont sensiblement symétriques par rapport à la section verticale principale de la voûte, et qu'elles sont maximums sur cette section; les ailes de l'ouvrage ne se déforment que très peu et travaillent en barrage-poids. Ce fait justifie le calcul de première approximation qui considère le seul ajustement des déformations normales au droit de la section centrale.

L'analyse de la surface déformée permet également de déterminer les contraintes en parements, en particulier au voisinage des encastrement; ces contraintes peuvent d'ailleurs aussi être déduites de la mesure directe des allongements et des contractions au moyen d'extensomètres électriques ou de «strain-gauges». On

peut ainsi tracer le diagramme des contraintes principales sur les parements (fig. 10). On constate que sur la section centrale, les directions principales sont horizontales et verticales, tandis que le long de la ligne d'encastrement, elles sont sensiblement tangentes et normales à cette ligne.

Le long de l'arc du couronnement, alors que l'effort normal calculé est presque constant, les contraintes normales déduites des mesures varient; elles accusent deux maximums situés de part et d'autre de la section centrale et à une certaine distance de celle-ci. Cette variation est la conséquence de la forme en coupole du barrage, non prise en considération dans le calcul, et dont l'effet est de réduire les déplacements normaux dans la partie centrale de l'ouvrage où ils sont les plus grands. Un léger soulèvement du centre du couronnement dû à l'effet de coupole apparaît également dans les mesures de déformations verticales.

3. — Exécution des barrages-voûtes

Il a été fait allusion au rôle important joué par l'interdépendance des différentes parties du barrage, c'est-à-dire à l'effet de plaque ou de coupole. Il faut donc que le mode d'exécution garantisse cette interdépendance, c'est-à-dire limite au minimum le risque de fissuration.

Or, on sait que, pendant la prise et le durcissement du béton, celui-ci s'échauffe de 20° C environ au-dessus de la température extérieure pour un dosage de 160 kg CP/m³ et de 30 à 32° C pour un dosage de 250 kg CP/m³. La quantité de chaleur développée est de l'ordre de 85 à 90 calories par kilogramme de ciment. On se rend compte ainsi de l'énorme *dégagement de chaleur* dans un barrage où l'on met en œuvre journallement 4 à 5 000 m³ de béton.

Comme la température de l'ouvrage doit, par la suite, tomber à la valeur moyenne annuelle du lieu (+ 2° C par exemple dans les Alpes), on conçoit facilement que la contraction correspondante soumette un barrage, même mince, à des efforts de traction inadmissibles. On doit donc ménager dans l'ouvrage des *brèches* ou des *joints* qui isolent des plots ou voussoirs de 15 à 18 mètres de largeur environ.

Si les plots sont jointifs, le barrage peut être considéré, du point de vue thermique, c'est-à-dire du point de vue de son refroidissement, comme un mur de longueur indéfinie; la dissipation de la chaleur ne peut se faire que par les deux faces. Si le barrage est mince, c'est-à-dire si son épaisseur est de l'ordre de quelques mètres seulement, le refroidissement se fait assez rapidement (fig. 11). Dès que l'épaisseur dépasse une douzaine de mètres, le temps nécessaire pour dissiper la chaleur d'hydratation et atteindre la température moyenne du lieu, est considérable; à plus forte raison, si l'épaisseur du barrage dépasse une vingtaine de mètres, ce qui est souvent le cas dans les grands barrages-voûtes actuellement en construction.

Les joints ménagés dans le barrage doivent être injectés ou clavés au moment où la température de l'ouvrage est égale ou à peine supérieure à la température moyenne annuelle. Le barrage ne peut pas être mis en eau, ou du moins que très faiblement, avant d'être clavé sur la hauteur correspondante. On désire donc activer ce refroidissement. Deux moyens peuvent être adoptés:

² loc. cit., page 232.

³ O. Rambert et C. Racine: Quelques considérations à propos de l'étude des bétons du barrage de Mauvoisin (Bulletin technique de la Suisse romande, 1956).

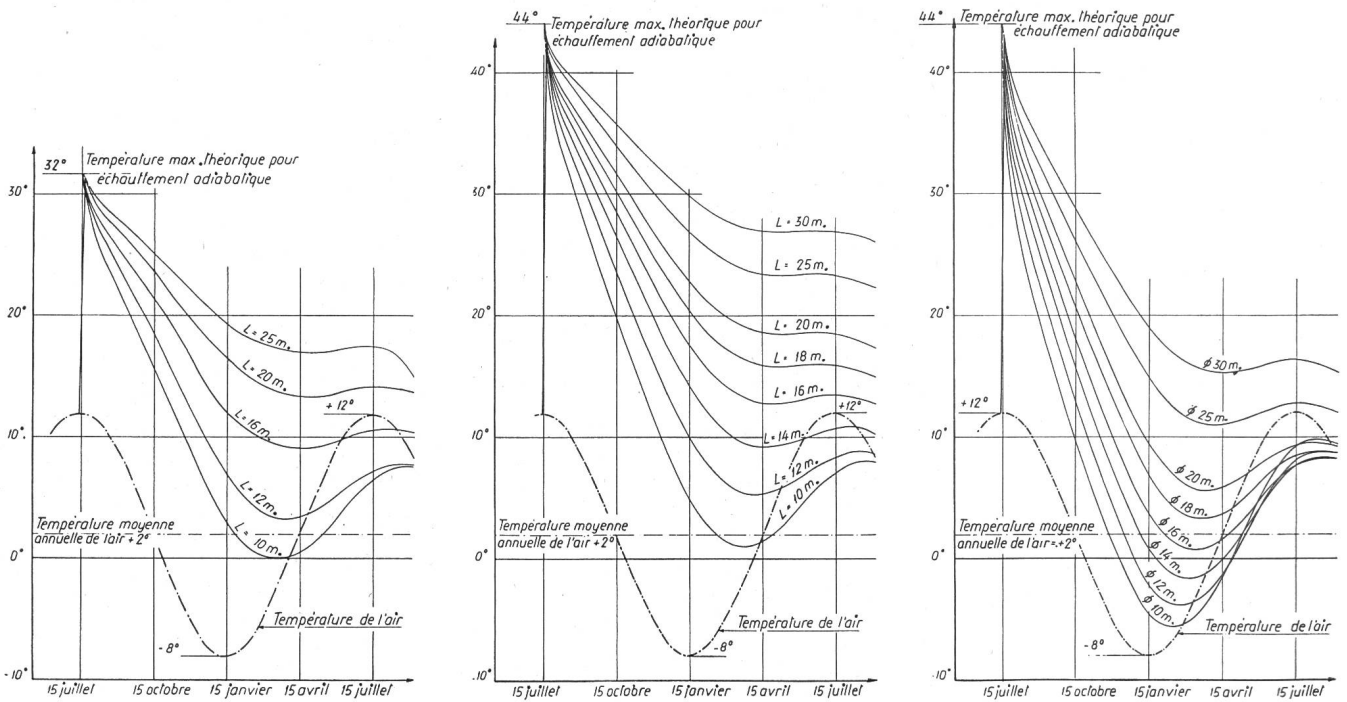


Fig. 11 Exemples de refroidissement naturel de massifs en béton exécutés en été

1. Murs en béton à dégagement de chaleur modéré (élévation de température adiabatique de 20° C correspondant à un dosage de 150—160 kg CP/m³).
2. Murs en béton à fort dégagement de chaleur (élévation de température adiabatique de 32° C correspondant à un dosage de 250—280 kg CP/m³).
3. Cylindres en béton à fort dégagement de chaleur (élévation de température adiabatique de 32° C correspondant à un dosage de 250—280 kg CP/m³).

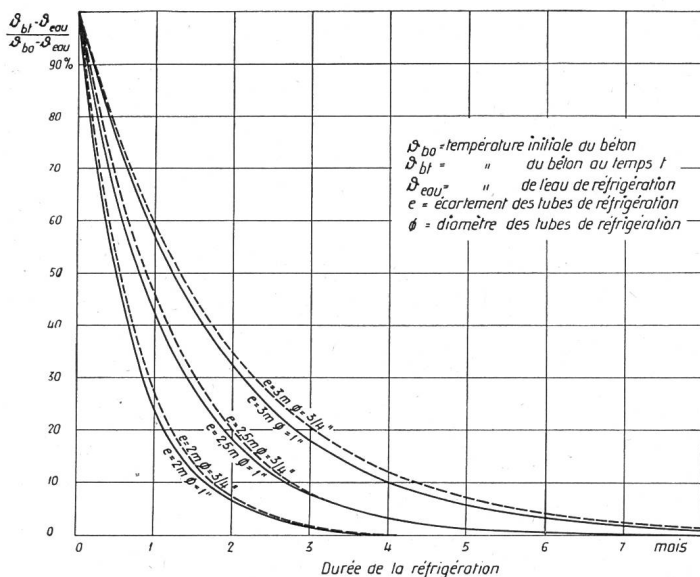


Fig. 12 Réfrigération du béton au moyen de tubes uniformément distribués dans la masse. Evolution de la température moyenne pour différents écartements et des tubes de diamètre 1'' et 3/4'', le débit d'eau étant suffisamment grand pour que sa température ne s'élève pas notablement au passage

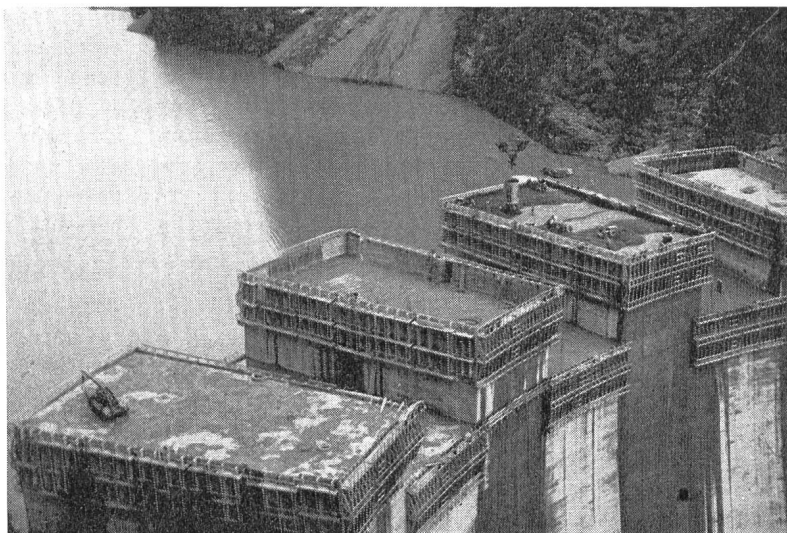
les brèches de clavage, larges de 1,50 m par exemple, ou la réfrigération artificielle.

Les brèches de clavage isolent les plots les uns des autres, de sorte que ceux-ci peuvent être considérés comme des prismes (ou pour la simplicité du calcul assimilés à des cylindres) susceptibles de se refroidir sur tout leur pourtour. On voit par le graphique fig. 11 que le refroidissement naturel de tels prismes ou cylindres est beaucoup plus rapide que celui d'un mur de même épaisseur.

Ces brèches présentent cependant de gros inconvénients pratiques. La surface de coffrages est double; la brèche ayant une largeur de 1,50 m se contracte elle-même; il est donc indispensable de prévoir des dispositifs d'injection sur les deux faces de la brèche. La mise en place du béton des brèches avec un retard de plusieurs mois entrave la bonne marche du chantier. Pour toutes ces raisons, on préfère souvent renoncer aux brèches de refroidissement et les remplacer par la réfrigération artificielle. Celle-ci consiste à faire circuler de l'eau froide dans des serpentins placés en nappes horizontales sur chaque reprise de bétonnage. Dans les Alpes, ce procédé ne présente aucune difficulté. On voit par le graphique fig. 12 que la réfrigération artificielle

Fig. 13

Barrage de Mauvoisin. Arrivée d'une benne à béton, mise en place et vibration du béton frais.
(Photo Coudray)



remplace très avantageusement le refroidissement naturel par les quatre faces d'un plot.

Lorsque soit le refroidissement naturel, soit la réfrigération artificielle ont permis d'atteindre la température basse voulue, à peine supérieure de quelques degrés à la température moyenne du lieu, on peut procéder au clavage au moyen d'*injections de ciment*. Dès cet instant, l'arc est soumis aux variations annuelles de température qui, à l'intérieur de l'ouvrage, sont fortement amorties par la capacité thermique du barrage.

La description de la technique des injections des joints dépasse le cadre de cet article. Il suffit de dire que les injections se font par panneaux de 100 à 200 m² environ au moyen de tuyaux munis de dispositifs qui permettent au lait de ciment de sortir dans le joint, mais empêchent le béton de pénétrer dans le tuyau. Si les dispositifs sont bien conçus, l'injection peut être reprise en deux ou trois opérations si cela est nécessaire.

Des injections bien faites, à une pression de 10 kg/cm², peuvent être considérées comme une légère mise en précontrainte des arcs.

Il est évident que si l'on adopte des contraintes relativement élevées, jusqu'à 100 kg/cm² et davantage, il est nécessaire d'assurer au béton les qualités correspondantes.

La technologie des bétons a mis en évidence, au cours de ces dernières années, l'influence de la *composition granulométrique des sables*. On a pu constater que la présence de limon dont le diamètre est inférieur à 0,1 mm est très néfaste; celui-ci doit donc être éliminé. D'autre part, les proportions des éléments du sable jouent un rôle déterminant. On a donc été amené à préciser les proportions des éléments fins par décantation dans des engins désignés sous le nom d'hydro-classeurs.

Un autre élément extrêmement important est la *teneur en eau du béton*. On sait le rôle que joue le rapport E/C du poids de l'eau au poids du ciment. Dans les

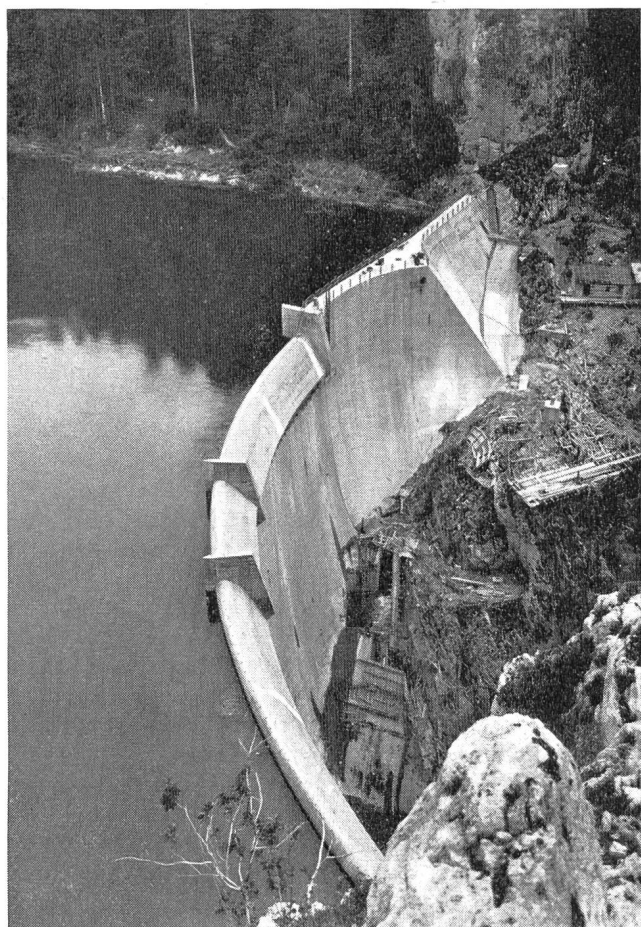


Fig. 14 Barrage du Châtelot. Déversoir et culée de l'aile gauche.
(Photo Muller-Koch)

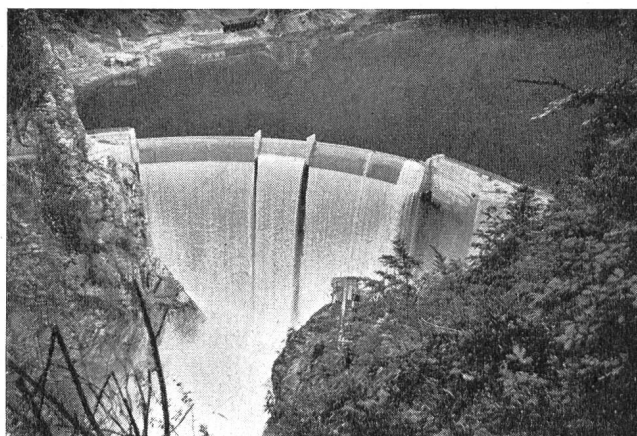


Fig. 15 Barrage du Châtelot. Lane déversante (Photo Muller-Koch)

essais de laboratoire, il est bien facile de maintenir ce rapport constant, ce qui est beaucoup plus difficile à faire sur le chantier où la teneur en eau des sables varie d'un jour à l'autre et même d'une heure à l'autre. Pour que l'eau complémentaire varie dans des limites aussi faibles que possible, il faut prévoir un égouttage très sérieux des sables, d'où la nécessité d'aménager un certain nombre de silos, de manière que l'eau interstitielle s'élimine rapidement.

La mise en place du béton doit également être particulièrement soignée. Le constructeur se trouve toujours placé devant le choix difficile de la quantité d'eau à adopter pour son béton. Selon les indications du laboratoire, la teneur en eau devrait être la plus faible possible. La mise en place du béton exige au contraire un béton pas trop sec. Il s'agit donc de trouver le compromis entre ces deux tendances contradictoires.

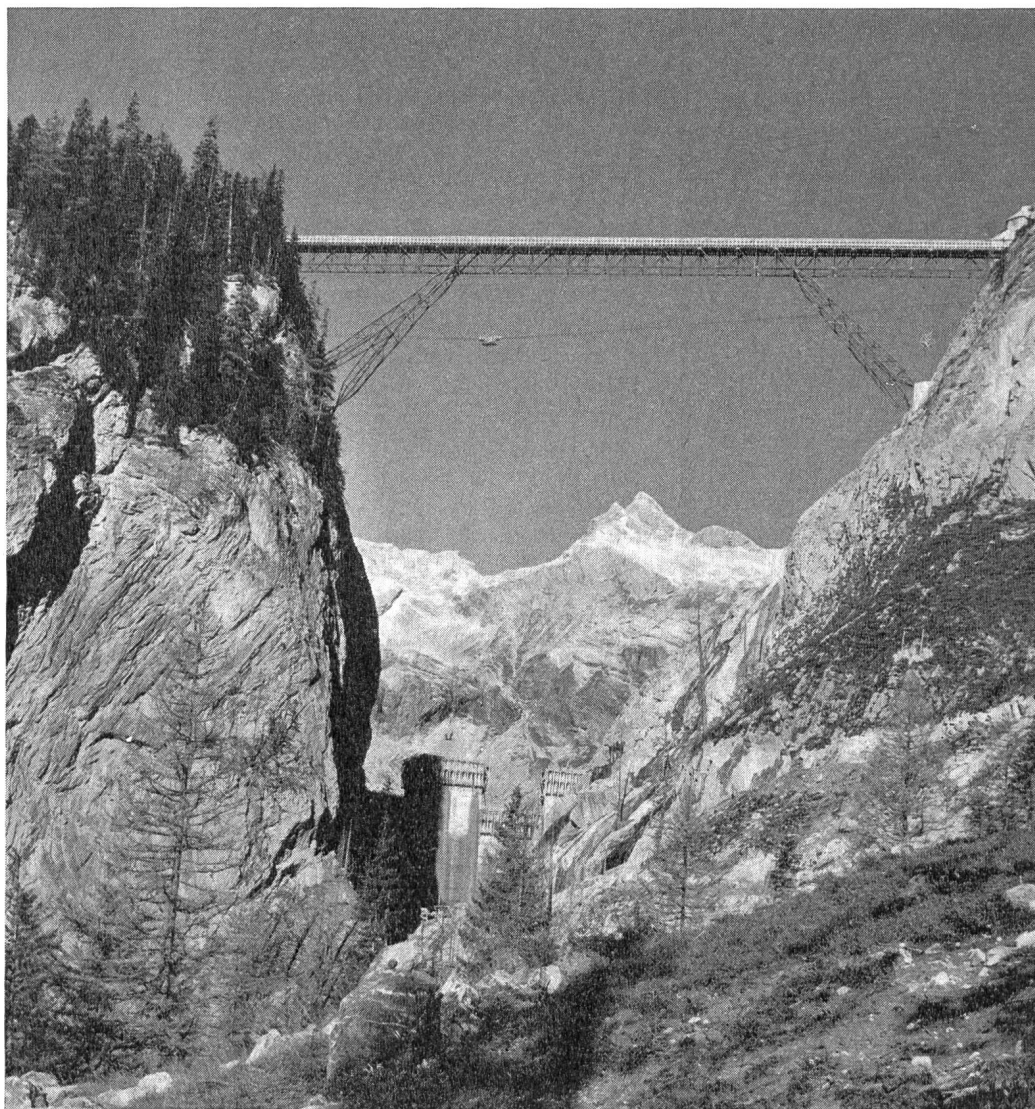
Pour assurer une mise en place parfaite du béton et une vibration aussi complète que possible, il est indiqué de répartir le béton déversé par les bennes au moyen d'un petit bulldozer, que l'on peut très bien déplacer d'un plot à l'autre. On obtient ainsi des couches quasi horizontales et régulières qui peuvent alors être vibrées systématiquement. Cette méthode s'est révélée extrêmement efficace au barrage de Mauvoisin (fig. 13);

on distingue sur cette figure une benne déversant son béton, ailleurs, le bulldozer qui répand le béton de la benne, et ailleurs encore une équipe de vibrateurs⁵.

Grâce à ces différentes précautions, on peut arriver à obtenir non seulement des bétons de haute résistance avec un dosage en ciment raisonnable, mais également de résistance aussi uniforme que possible, c'est-à-dire présentant une dispersion inférieure à 0,12.

Il n'a été possible, dans cet article, que de signaler quelques-uns des nombreux problèmes que pose la construction des barrages-voûtes. On peut cependant en dégager cette conclusion que l'étude de la forme de l'ouvrage en fonction du terrain est essentielle. La forme étant convenablement choisie, peu importe que les épaisseurs soient un peu plus fortes, ou un peu plus faibles. Il en résulte que la sécurité d'un barrage-voûte, bien conçu dans sa forme, est très grande.

⁵ La mécanisation de la mise en place du béton peut encore être poussée plus loin. Les vibrateurs, généralement très lourds, peuvent être portés par un engin tel qu'un bulldozer, comme c'est le cas au barrage de Mauvoisin. L'écartement des vibrateurs ainsi que la durée de la vibration peuvent être réglés exactement, ce qui permet de garantir une bonne homogénéité de la vibration.



Sperrstelle und Staumauer Zeuzier (Lienne-Kraftwerke, Wallis) mit Dienstbrücke, von der Talseite gesehen. (Photo F. Lehner, Sirnach)