Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 48 (1922)
Heft: 9

Artikel: Etude sur les barrages arqués
Autor: Stucky, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37400

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

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

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

Download PDF: 13.07.2025

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

48e année 29 avril 1922 N° 9

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Etude sur les barrages arqués*, par A. Stucky, ingénieur (suite et fin). — *Les installations électriques de la ville de Lausanne*, par M. G. Cauderay, ingénieur au Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne (suite et fin). — *Sur l'emploi des explosifs à base d'air liquide.* — Nécrologie : *Charles Gaulis.* — Sociétés : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.* — *Association syndicale des Architectes pratiquants du canton de Genève (A. S. I. A.).* — Bibliographie. — Carnet des concours.

Etude sur les barrages arqués

par A. Stucky, ingénieur.

(*Suite et fin*) [1]

V. Résultats du calcul et de l'expérience.

§ 1. *Fatigues admissibles.*

Les fatigues obtenues dans l'exemple précédent paraissent à première vue très élevées, trop élevées même. On ne saurait toutefois comparer sans autre ces résultats à ceux que l'on a généralement obtenus pour les barrages de gravitation. On a cherché ici à se rendre compte aussi exactement que possible des fatigues véritables du matériel, tandis que le calcul des barrages plans est généralement établi d'une façon assez sommaire. Tout calcul complet établi soit pour un barrage plan, soit pour un barrage arqué doit nécessairement aboutir à des résultats analogues.

Les prescriptions fédérales du 25 novembre 1915 pour les ouvrages en béton armé donnent comme limite des fatigues : pour les voûtes de pont par exemple 45 kg./cm² + 0,15 l (où l est la portée de l'arc) pour la compression, 10 kg./cm² pour la traction. La limite de 3 à 4 kg./cm² pour le travail de cisaillement se rapporte au cas du cisaillement pur, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas simultanément compression sur la même section.

Pour les barrages on a toujours admis comme dogme que les efforts de traction devaient être absolument exclus. On a souvent même exigé le long du parement amont une certaine compression, pour combattre les soupressions. La compression ne dépasse en général pas aujourd'hui 18 à 20 kg./cm².

Certains auteurs insistent sur le danger de cisaillement dans le pied du barrage, parement aval. D'après la formule chap. IV, le cisaillement atteint ½ σ compression maximum, soit donc 8—10 kg./cm². Il est intéressant à ce sujet de revenir aux essais sur la résistance du béton.

Les essais de résistance à la compression se font en comprimant un cube entre deux plateaux. On obtient ainsi une résistance variant de 200 à 300 kg./cm² et plus. Etant donné qu'au moment de la destruction le cube se délite et qu'il ne reste en général que deux pyramides superposées, sommet à sommet, on en a tiré la conclusion qu'en réalité la rupture n'était pas due à des efforts de compression, mais à des fatigues de cisaillement dans des plans obliques à 45°. Le phénomène est différent si l'on utilise au lieu de cubes, des prismes dont la hauteur est environ deux fois plus grande que l'arête de base. Dans ce cas l'éprouvette se fend souvent de haut en bas selon des plans verticaux [1]. On arrive à un résultat analogue si on lubrifie les surfaces de contact entre les plaques de compression et le cube. Dans l'expérience classique de compression des éprouvettes cubiques, l'état de tension n'est en réalité pas aussi simple qu'il paraît au premier abord. Nous ne nous trouvons pas en présence d'une compression suivant une seule direction, mais par suite du frottement des plaques contre le cube, la dilatation transversale est gênée dans le voisinage des plaques, c'est-à-dire que le cube est soumis essentiellement à une compression dans le sens de la force mais accessoirement à une compression transversale due au frottement. Or si l'on fait l'expérience soit avec des plaques lubrifiées, soit avec des prismes où l'action du frottement sur le milieu du prisme est de moindre importance, la résistance à la compression diminue considérablement et peut tomber à 50 % environ de celle obtenue par l'expérience classique. — 150 kg./cm² tandis que le cisaillement atteint 75 kg./cm². La rupture n'est donc pas toujours due au cisaillement.

Ces expériences prouvent donc d'une manière indubitable que la résistance au cisaillement peut donc aller jusqu'à 75 kg./cm² au moins, à la condition qu'il agisse sur la même section une compression assez forte. D'ailleurs il est facile de s'en rendre compte si l'on introduit comme nous l'avons fait précédemment dans le calcul des fatigues des barrages (chap. IV) le frottement dû à cette compression.

Dans les sections où agirait du cisaillement pur, ou cisaillement combiné avec traction, il y aurait lieu de fixer comme limite celle donnée par les prescriptions fédérales soit 4 kg./cm². En fixant le taux maximum du travail de compression, on fixe par là, dans une certaine mesure, le taux admissible pour le cisaillement.

Les taux supérieurs, indiqués plus haut pour la compression et la condition que la traction doit être absolument exclue sont justifiés pour les barrages plans que l'on calcule sommairement et où les fatigues calculées

[1] Voir *Bulletin technique* du 15 avril 1922, page 85.

[1] Föppl : « Techn. Mechanik III ».

sont loin d'atteindre la réalité, mais si l'on voulait s'en tenir à ces limites pour les barrages arqués calculés rigoureusement (température y compris) il serait impossible d'en bâtir.

Si l'on s'est toujours tenu pour les barrages à des limites très prudentes, c'est avec raison. Un barrage doit en dehors de sa fonction statique opposer à l'eau une paroi imperméable. Il est clair que dans ces conditions, on ne saurait admettre pour un barrage les mêmes valeurs que pour un arc de pont. Enfin, un barrage est un ouvrage dont la rupture pourrait devenir une telle catastrophe que l'ingénieur a le devoir de travailler avec la plus grande prudence.

Si l'on voulait comparer les résultats auxquels nous sommes arrivés au chapitre IV avec ceux obtenus pour les barrages plans, on ne saurait que partir du premier cas de charge, soit poussée des eaux sans variation de température. On verrait alors que les compressions restent inférieures à 10 kg./cm² tandis que la traction atteint 2 kg./cm².

Nous avons dit au début de ce chapitre que tout barrage calculé rigoureusement doit donner des résultats analogues. Le meilleur moyen d'établir des fatigues admissibles serait de faire soigneusement le calcul pour quelques grands barrages arqués. Ce travail dépasserait le cadre de cette étude. Il est cependant possible de comparer grossièrement ces divers barrages entre eux sans grand calcul, en faisant par exemple abstraction de l'action des murs.

Nous avons vu au chapitre III que les fatigues sont données par la formule

$$\sigma = \frac{R}{e} \pm \frac{\Delta X \cdot y_k}{W}$$

Le premier terme $\frac{R}{e} = \frac{\text{profondeur} \cdot r_{ext}}{\text{épaisseur}}$ est la formule approchée souvent utilisée.

Le second terme provient de la grandeur hyperstatique $\Delta X = kR$. Les deux facteurs de comparaison tout indiqués sont $\frac{R}{e}$ et le coefficient k.

Les trois barrages de Barossa, Salmon Creek et Gibraltar marquent de fortes valeurs $\frac{R}{e}$ jusqu'à 23 kg./cm². Ceci provient de ce que ces trois barrages ont une très grande ouverture (fig. 1) et ont d'autre part un profil très svelte. Ces fortes compressions sont compensées par un coefficient k très favorable. Il en résulte finalement que les fatigues de compression maximum ne sont pas aussi grandes qu'on pourrait le croire au premier abord. Elles se montent approximativement à 35 kg./cm² pour la poussée des eaux seules. Les fortes valeurs $\frac{R}{e}$ se manifestent avantageusement par le fait qu'aux naissances, extrados, il subsiste une compression de quelques kg./cm².

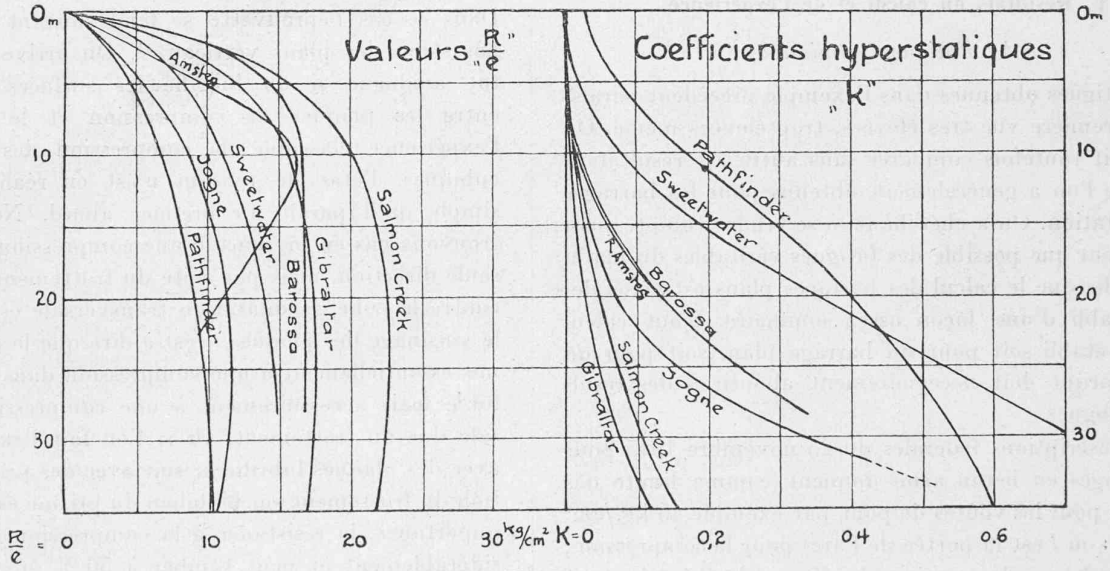


Fig. 25.

Les barrages du Pathfinder, de Sweetwater sont d'un type différent. Les valeurs $\frac{R}{e}$ sont faibles, grâce en partie aux fortes épaisseurs e, mais par contre les coefficients k sont assez défavorables. Les fatigues effectives maxima sont à peu près deux fois aussi fortes que les valeurs correspondantes de $\frac{R}{e}$. Elles atteignent 25 kg/cm². Mais à cause des grandes valeurs k les efforts de traction aux naissances sont assez considérables.

Le barrage de la Jogne se trouve, à cause de ses dimensions moyennes en plan, et à cause de son profil très svelte, faire partie des deux catégories.

Cette comparaison permet de conclure que les fatigues calculées pour le barrage de Broc, bien qu'élevées en apparence, ne dépassent pas, au contraire, celles d'autres grands barrages arqués, en service. Si l'on ne considère que la poussée des eaux et fait abstraction d'une

variation de température, il semble d'après ces exemples que l'on peut monter sans inconvénient à 30 kg./cm² pour les arcs. Pour les sections verticales, il vaut mieux maintenir la limite plus basse 25 kg./cm². Si l'on calcule avec les variations de température, on peut porter la limite plus haut. Avec 35 kg./cm² pour les arcs et 30 pour les murs, on reste encore toujours au-dessous des valeurs obtenues pour le Salmon Creek et le Barossa dam.

On est facilement tenté d'exagérer l'importance des efforts de traction dans les arcs. Il s'est produit des fissures à presque tous les barrages, bien que le calcul statique n'ait probablement donné que des fatigues de compression. Le fait de calculer avec soin les efforts de traction d'un barrage ne saurait rendre pour cela le barrage moins stable. Dans un barrage arqué, les fissures sont moins à craindre. Elles ne risqueront jamais de traverser l'ouvrage de part en part, ce qui pourrait arriver dans un barrage plan.

On peut naturellement se demander s'il ne serait pas possible d'armer les parties soumises à la traction. C'est une question à examiner pour chaque cas particulier.

§ 2. *Dimensions générales des barrages arqués.*

Jusqu'à quelle largeur de vallée un barrage arqué est-il avantageux ? La réponse dépend surtout du rapport de la corde de l'arc supérieur à la hauteur du barrage et aussi de la forme générale du profil.

Certains barrages américains, arqués (Salmon Creek) mesurent à la corde 160 mètres (voir fig. 1). Le rapport, de la corde de l'arc supérieur, à la hauteur du barrage, $\frac{C}{H}$ est voisin de 3. On peut dire d'une manière générale que si la portée C des arcs est trop forte par rapport à la hauteur des murs, l'action des premiers est trop faible. Les barrages américains et quelques exemples que nous avons calculés semblent prouver que le rapport limite est voisin de 2,5.

§ 3. *Influence de la forme de la vallée sur les dimensions du barrage. — Culées.*

Le profil de vallée qui se prête le mieux à l'implantation d'un barrage arqué proprement dit est le rectangle (profil en **U**). Tous les murs étant très hauts sont flexibles, la plus grande partie des poussées est supportée par les arcs. Dans le cas de variation de température, les murs étant très élastiques suivent sans grand effort le mouvement des arcs. Il y aura lieu dans un cas pareil de renforcer un peu l'épaisseur du barrage au pied et le long des butées latérales comme cela se fait pour tous les arcs encastrés. Par contre la partie médiane du barrage aura les dimensions les plus faibles possibles de manière à donner à l'ouvrage toute l'élasticité qui lui est nécessaire afin de pouvoir subir les déformations, en particulier celle de la température, sans être soumis à des efforts exagérés. Ce dernier principe est d'ailleurs valable pour tous les profils de vallées.

Si le profil de la vallée est en forme de **V** les murs latéraux sont plus courts et partant moins flexibles. Leur action est plus considérable que dans le cas précédent, le renforcement le long du pourtour devient indispensable. L'action des murs devient plus considérable aux ailes du barrage lorsque le profil de la vallée est évasé. Le mur peut dans ce cas supporter la presque totalité de la poussée des eaux (voir section II, fig. 20). Dans un tel cas il sera fréquemment préférable d'arrêter les arcs par une grande culée, comme ce fût le cas au barrage de la Jogne (rive gauche). On arrive par cet artifice à se rapprocher de la forme de V et l'on diminue ainsi les efforts exagérés dans les murs. Il peut se présenter que si l'évasement est

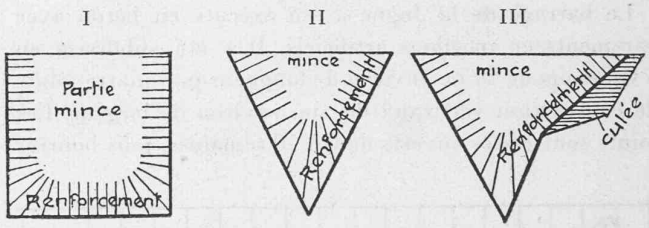


Fig. 26.

très accentué, la culée doive être remplacée par une pile qui supporterait l'arc principal d'un côté et un arc secondaire de l'autre.

On passe ainsi au type de barrage à arcs multiples qui peut dans certains cas particuliers présenter des avantages. L'ouvrage est dans ce cas fréquemment exécuté en béton armé.

§ 4. *Le retrait du béton.*

Le retrait de la maçonnerie joue dans un barrage arqué, comme d'ailleurs, dans tout barrage, un rôle capital. Les prescriptions fédérales pour les ouvrages en béton de 1915 prévoient un retrait de 0,25 mm. par mètre, qui correspond à une chute de température uniforme de — 20° Nous avons compté dans nos calculs avec une chute de température de 7° à 14° et sommes arrivés à des fatigues assez grandes. Si le retrait prévu devait se manifester dans sa totalité, les fatigues déjà considérables seraient par endroits doublées et plus ; des fissures seraient à craindre.

Le danger se laisse atténuer par le choix approprié de la forme et des dimensions du barrage. Mais tout barrage en maçonnerie, aussi svelte soit-il, est excessivement sensible au retrait du ciment.

On peut choisir des matériaux dont le retrait est aussi faible que possible : une maçonnerie de pierres naturelles par exemple. Dans ce cas, seuls les joints de mortier, soit une très faible proportion du tout, diminuent de longueur. Le retrait de l'ensemble est donc très faible. Si les conditions ne permettent pas d'employer des pierres naturelles, on pourra utiliser des moellons de béton, vieux d'au moins trois mois. Le retrait se sera presque totalement opéré et les conditions seront les mêmes que précédemment. Un barrage en béton offre les plus grands ris-

ques de fissure. Le choix du ciment pourra peut-être contribuer à diminuer le retrait.

Au bout de 28 jours de prise, le retrait peut être évalué aux $^2/_3$ au moins du retrait total. D'après M. le prof. Schüle [1] le retrait fut même pour les ciments examinés et du béton dosé à 300 kg. par m³ de 0,35 mm/m après 28 jours et 0,40 mm/m après un an et demi. L'ordonnance fédérale du « Béton armé » 1915 permet de réduire de moitié le retrait fixé à 0,25 mm/m, si des joints de contraction sont laissés ouverts 14 jours au moins.

On pourrait dans le cas d'un barrage en béton, ramener les effets de retrait du ciment à leur plus faible expression en laissant un nombre suffisant de joints de contraction ouverts assez longtemps.

Le barrage de la Jogne a été exécuté en béton avec parements en moellons artificiels. Il a été subdivisé en 5 voussoirs de 20 m. environ de longueur par quatre joints de contraction verticaux de 1m. environ de largeur. Ces joints sont restés ouverts de 6 à 10 semaines, puis bourrés

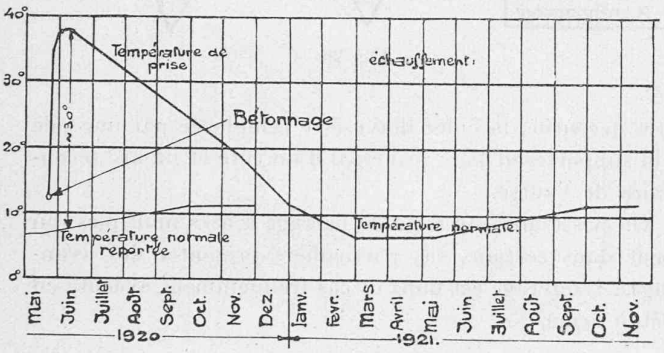


Fig. 27.

de béton damé à l'air comprimé ; les surfaces des joints ayant d'abord été piquées de manière à obtenir une liaison aussi intime que possible entre l'ancien et le nouveau béton.

Après l'exécution, le lac n'a pu être rempli pendant plusieurs mois à cause de la très grande pénurie d'eau, de sorte que pendant tout un hiver l'ouvrage fut exposé aux grands froids (hiver 1920-1921). Un des joints a présenté une fissure qui est apparue sur les deux côtés sans que nous ayons eu la preuve que cette fissure traversât le barrage de part en part. Peu après, un second joint présentait une fissure. Aucune n'a présenté d'inconvénient au point de vue de l'étanchéité, puisque dès la mise sous pression du barrage elles se sont refermées comme il fallait s'y attendre et sont restées parfaitement étanches.

Il se trouve donc que malgré notre précaution de maintenir ouverts un certain nombre de joints de contraction qui devaient permettre au retrait du ciment de s'opérer sans inconvénient pour le barrage, les fissures n'ont pas pu être évitées entièrement. Ce phénomène s'est d'ailleurs présenté à tous les barrages.

[1] Resultate der Untersuchung der Längenänderungen beim Erhärten v. Mörtel und Beton : — Mitteilungen der eidgn. Materialprüfungs-Anstalt Heft 13, 1908.

Nous ajoutons encore que cette fissure s'est produite à un endroit où le profil en long du barrage présentait un ressaut. On a pu observer une petite dénivellation de quelques dixièmes de mm. sensible au toucher seulement.

Les résultats des observations de température dont nous allons dire deux mots dans le paragraphe suivant donneront quelques éclaircissements sur cette rupture.

§ 5. *Observations de température et mesures de déformation.*

Mesures de température. — Les calculs nous ayant prouvé que les fatigues dues aux variations de température sont souvent plus considérables que celles dues à la poussée des eaux, et étant donné que les observations qui étaient à notre disposition pour établir des hypothèses sur les chutes de température étaient insuffisantes, il fut décidé d'entreprendre des mesures sur l'état thermique du barrage de la Jogne. A cet effet il a été noyé dans la masse de maçonnerie une trentaine de thermomètres à résistance électrique, disposés judicieusement et dont la lecture pendant les travaux et pendant l'exploitation devait nous permettre de tirer des conclusions intéressantes. L'installation elle-même et l'observation de ces thermomètres ont été dirigés par M. le professeur Joye de l'Université de Fribourg et M. Christen, qui ont mis avec la plus grande amabilité les renseignements suivants à ma disposition, ce dont je les remercie sincèrement.

Echauffement du béton pendant la prise. — Nous donnons ici à titre de renseignements provisoires le diagramme de température d'un des thermomètres (fig. 27). Il ressort de ce diagramme que dans de telles masses de béton l'échauffement des matériaux dû à la prise du ciment est très considérable et ne disparaît que très lentement. La plupart des thermomètres placés à Broc ont marqué un échauffement de prise du ciment jusqu'à 30-35°. Cet échauffement s'est présenté en général au bout de quelques jours et à partir de ce moment-là le refroidissement ne s'est produit que très lentement. L'état d'équilibre thermique du barrage n'a été atteint qu'au bout de plusieurs mois, exception faite du couronnement du barrage de faible épaisseur.

On peut donc en conclure qu'au bout de 6 à 8 semaines, la température des voussoirs est encore très élevée et leur allongement sensible. Si la fermeture des joints avait lieu à ce moment-là, quand leur largeur est plus petite que jamais, il arriverait que par suite du refroidissement subséquent, les joints auraient la tendance à se décoller. Si on ajoute à cette contraction une partie du retrait qui ne s'est pas encore opéré entièrement au bout de 6 semaines, on obtiendra presque à coup sûr des décollements fâcheux de la surface du joint.

Joints de contraction. — Maintenir des joints ouverts pendant 4 à 6 semaines c'est donc aller à l'encontre de ce qu'on désire obtenir. Pour que ces joints soient vraiment efficaces, il faut qu'ils restent ouverts au moins 8 mois et que leur fermeture n'ait lieu qu'à la fin de l'hi-

ver, c'est-à-dire à un moment où l'échauffement du béton aura complètement disparu et où de plus, la masse aura pu durant l'hiver se refroidir suffisamment pour que les joints aient atteint leur écartement maximum.

Il sera peut-être difficile d'exiger que ces joints restent ouverts aussi longtemps. Si le barrage est très élastique on pourra renoncer à faire des joints qui, de toute façon, sont plus ou moins en contradiction avec l'hypothèse d'arcs parfaitement encastrés.

Variations annuelles de température. — Ces observations nous ont donné d'autres résultats encore, tout aussi importants que les premiers. Elles nous ont prouvé que nos hypothèses sur l'état thermique du barrage étaient encore exagérées. Les thermomètres ont été placés par groupes dans le couronnement du barrage et à 10-20-30-40-50 m. de profondeur. Il a été observé que les thermomètres du couronnement qui se trouvaient à un mètre de la surface du barrage sont descendus au cours de l'hiver, alors que le lac était complètement vide, à — 2° environ, tandis que la température atmosphérique est descendue à — 10°. La température la plus élevée a été atteinte au mois d'août, soit 22°. La variation annuelle a donc été de 24°. Si l'on part d'une température initiale moyenne de 11° la variation comporte

Profondeur	Variation	Abaissement au-dessous de la temp. initiale
1 m.	—2° à 22°	13°
10 m.	+1° à 21°	10°
20 m.	+5° à 17°	6°
30 m.	+6° à 12°	5°
50 m.	+7° à 9°	4°

Le calcul avait tenu compte de chutes de température plus grandes, soit :

au couronnement	14°
à 10 m.	11°
à 20 m.	9°
à 30 m.	7°
à 40 m.	5°

Il en résulte donc que les fatigues calculées et représentées par le diagramme N° 22 n'ont en réalité pas été atteintes. Il faudrait les réduire en moyenne de 20 %.

Mesures des déformations élastiques. — Le calcul se basant essentiellement sur l'évaluation des déformations élastiques de l'ouvrage, il était intéressant de vérifier par des mesures si les déformations calculées correspondent bien avec la réalité. A cet effet, le barrage de la Jogne est muni de deux mires placées au couronnement et à 8 m. de profondeur qui permettent de mesurer facilement au moyen d'une lunette le déplacement de la clef de l'arc supérieur. En dehors de ces deux mires, il a été placé environ 35 boulons répartis sur toute la surface du parement aval. Ces boulons peuvent être observés au moyen de clinomètres de précision qui indiquent en chaque point la flexion du barrage. De ces angles il est simple de déduire au moyen d'une épure de déformation les déplacements linéaires.

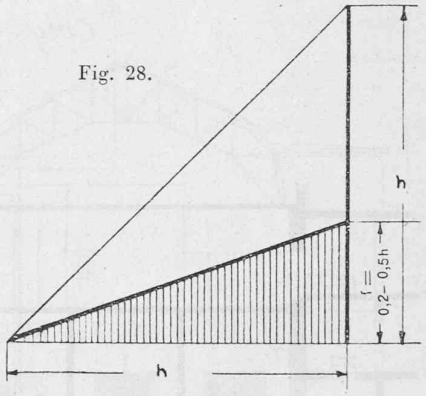
Conclusions.

Si le calcul, tel que nous l'avons esquissé paraît compliqué, il ne faut pas oublier que l'ouvrage en vaut la peine. Le travail que demande le projet trouve largement sa justification si l'on arrive à une économie de matériel.

L'action du barrage arqué dépend de tant de facteurs : hauteur, largeur et forme de la vallée, inclinaison admissible des réactions latérales, qu'il n'est pas possible de donner comme pour les barrages de gravitation quelques types universels. Le barrage arqué doit s'adapter aussi exactement que possible à l'emplacement et chercher à utiliser tous les avantages de la configuration des lieux.

Une étude sur cette matière ne pouvait donc pas aboutir à fixer une forme type. L'analyse du jeu des forces à l'intérieur du barrage nous aura permis de voir à quelles conditions il doit satisfaire pour travailler aussi favorablement que possible, c'est-à-dire de manière à éviter que

Fig. 28.



certaines régions ne soient pas trop fortement sollicitées tandis que d'autres le sont trop peu.

Cette étude nous a conduits aux conclusions essentielles suivantes : Les arcs n'ont pas nécessairement la forme d'arcs de cercles mais bien celle des courbes funiculaires des poussées réduites. *L'épaisseur du barrage doit être renforcée tout le long du pourtour, tandis que la partie centrale de l'ouvrage doit au contraire être aussi mince que possible.* La section verticale doit par conséquent présenter un pied marqué qui correspond à l'action prédominante du mur dans la région inférieure.

On peut déterminer rapidement, pour établir un avant-projet, l'épaisseur moyenne des arcs en se servant de la formule (e = épaisseur moyenne)

$$e = \frac{p \times r_e}{\sigma}.$$

Pour le pied du barrage on peut par exemple assigner au mur un diagramme de poussée d'après la fig. 28, la hauteur f variant de 0,5 h à 0,2 h.

Au moyen de ce diagramme réduit des poussées et en tenant compte des sous-pressions, on arrive par les formules usuelles du massif triangulaire aux épaisseurs e du pied du barrage données par le tableau suivant. Le rap-

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DE LA VILLE DE LAUSANNE

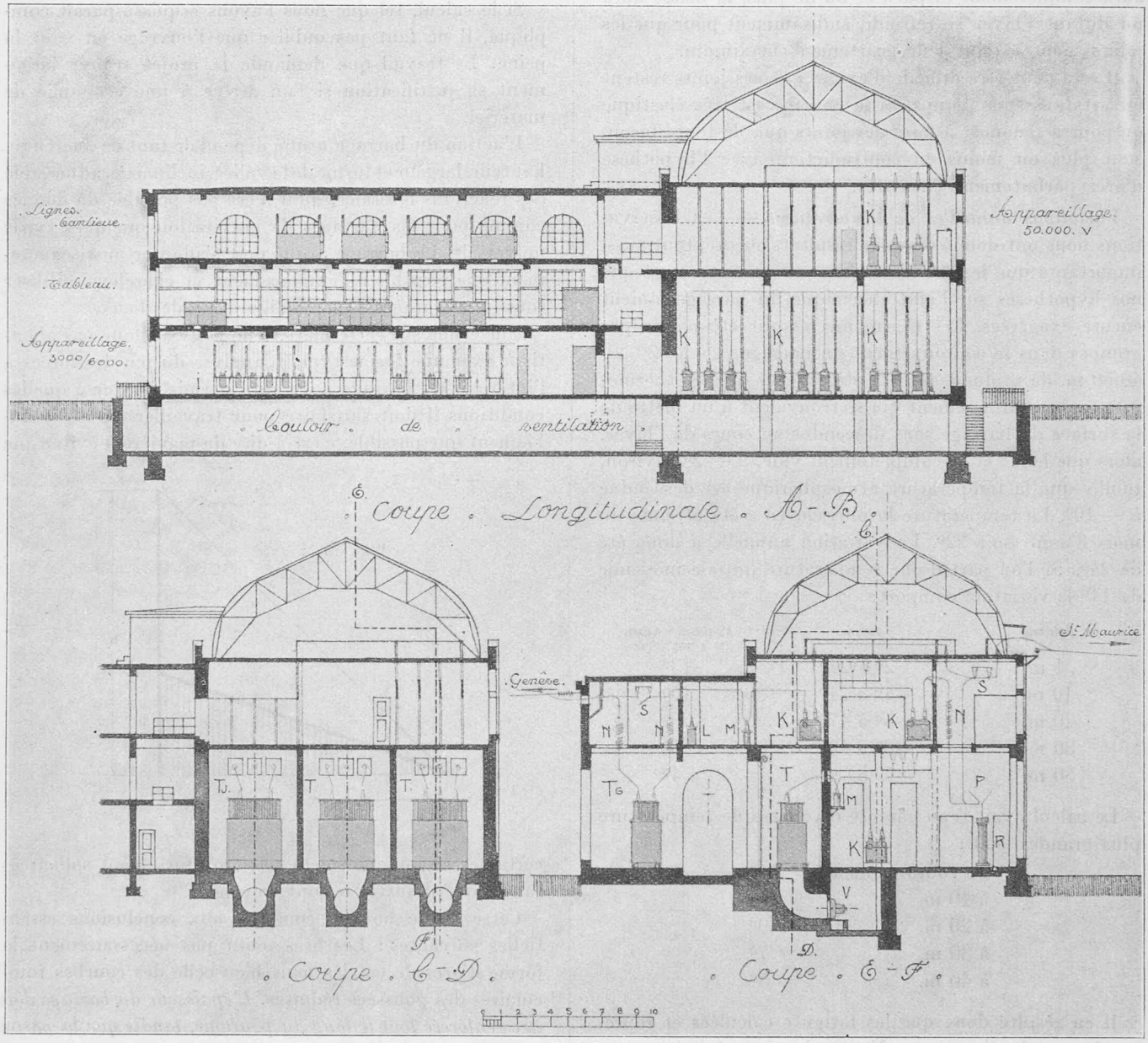


Fig. 45. — Coupes de l'Usine de Pierre-de-Plan.

Légende : T = Transformateur 50 000/3 000 volts pour Lausanne. — TJ = Transformateur 50 000/13 500 pour Joux. — TG = Transformateur 50 000/65 000 pour *E. O. S.* — K = Interrupteurs à 50 000 volts. — L = Transformateurs de tension pour les appareils de mesure. — M = Transformateurs d'intensité pour les appareils de mesure. — H = Rails généraux à 50 000 volts. — S = Sectionneurs. — N = Bobines de Self. — P = Parafoudres. — R = Résistances liquides. — V = Ventilateurs. — I = Interrupteurs à 3 000 volts.

port $\frac{C}{H}$ représente le rapport de la corde de l'arc supérieur à la hauteur totale du barrage.

$\frac{C}{H} = 1$	$e = 0{,}21$ h.
1,25	0,26
1,50	0,31
1,75	0,35
2,00	0,39
2,50	0,45
3,00	0,50

Ces valeurs ne sont qu'approximatives et ne peuvent servir que pour un avant-projet. L'épaisseur des murs dépend en grande partie aussi du profil à travers la vallée et du surbaissement des arcs dont le tableau ci-dessus ne tient pas compte.

Partout où la nature des appuis latéraux le permet, et si l'on n'est pas exposé aux tremblements de terre, il faudrait compter avec l'action des arcs. Celle-ci se fera d'ailleurs sentir par ses inconvénients comme par ses avantages, qu'on le veuille ou non. L'exemple du Salmon Creek dam montre que l'on peut compter avec l'action des arcs allant jusqu'à des portées de 160 mètres.

Il est évident que plus un calcul est complet et exact, plus aussi il faut en apprécier les résultats avec largeur.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DE LA VILLE DE LAUSANNE

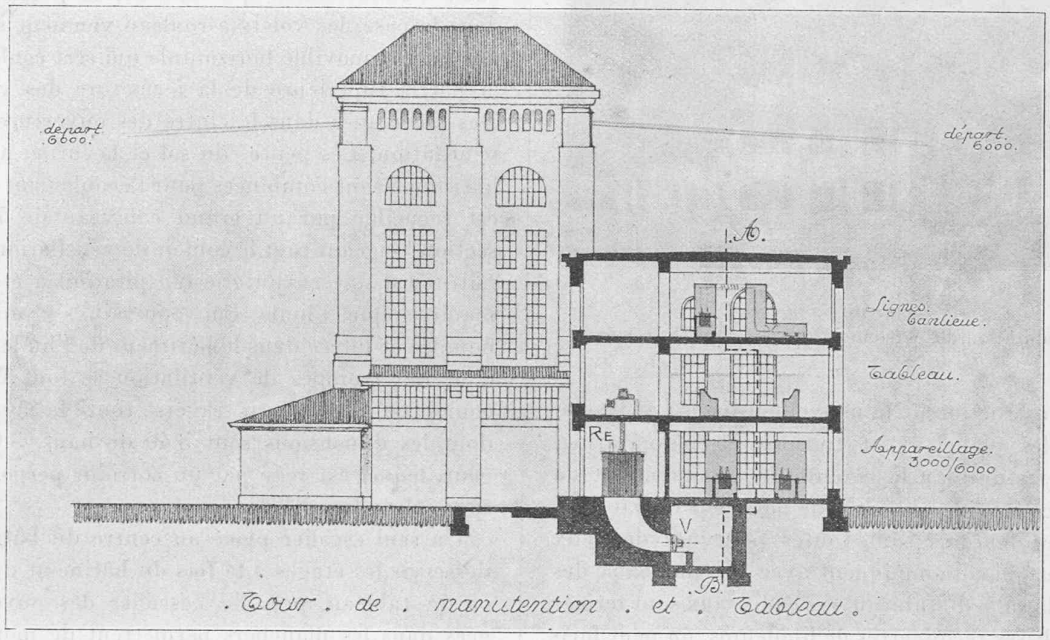


Fig. 45 — Coupe de l'usine de Pierre-de-Plan.

Nous avons essayé de montrer par comparaison avec quelques grands barrages arqués d'Amérique que l'on ne pouvait plus s'en tenir aux exigences fixées pour les barrages de gravitation sans s'exposer à ne pouvoir jamais construire de barrages arqués en maçonnerie. Toujours, le calcul décèlera des fatigues d'extension par exemple.

La limite des fatigues peut sans inconvénient être portée à 35 kg./cm² pour la compression si les hypothèses sur les variations de température correspondent bien à la réalité et si l'on a par le choix des matériaux et du mode d'exécution réduit au minimum les effets du retrait du ciment. Il est difficile de donner une limite pour les efforts de traction. Il faut tendre par la forme de l'ouvrage à maintenir ces fatigues dans une bonne proportion avec le travail de compression, au maximum 10 kg./cm².

Les installations électriques de la ville de Lausanne,

par M. G. Cauderay, ingénieur au Service de l'électricité de la ville de Lausanne.

(Suite et fin.) [1]

Construction.

L'étude de l'agrandissement de l'usine de Pierre-de-Plan qui avait été faite avant 1914 au moment où on ne comptait pas encore sur les possibilités de réunion de secours entre centrales, prévoyait une disposition différente de celle qui a été exécutée par la suite, le bâtiment à 50 000 volts seul subsiste de cette première conception, à côté le bâtiment du tableau devait être construit en prolongement de la salle des machines qui eût été elle-même agrandie. Par la suite, la nécessité de loger l'appareillage nécessaire aux nouvelles combinaisons et le développement pris par la salle du tableau ont obligé à augmenter le bâtiment du tableau, tandis que la possibilité de trouver de la force de pointe ailleurs que dans l'agrandissement de la réserve thermique permettait d'abandonner le prolongement de la salle des machines. Comme à Saint-Maurice, les tensions ont été nettement séparées dans des bâtiments appropriés et l'on a centralisé les commandes et les moyens d'accès (fig. 45). Comme le poids des appareils lourds, gros transformateurs, régulateurs d'induction, etc., nécessitait pour le transport et la manutention des dispositions spéciales, on a prolongé les voies de tramways qui passent à l'avenue de la Sallaz jusque dans la tour de manutention ; les appareils chargés à la gare sur les wagons des trams sont conduits jusque sous le pont roulant de vingt tonnes de la tour où ils sont transbordés sur un chariot roulant sur rails devant la façade de l'usine où sont les cases. Le chariot porte lui-même des rails de différents écartements qui, les appareils étant tous montés sur galets, permettent de les introduire facilement à leur place.

Le terrain sur lequel ont été édifiées les nouvelles constructions s'est trouvé d'une consistance très variable ; tandis qu'un banc de molasse vient à deux mètres seulement du niveau du sol du côté du bâtiment à 50 000 volts, vers la tour de manutention on a dû pratiquer des puits de six mètres de profondeur pour asseoir les piles et des drainages particulièrement soignés ont été nécessaires pour éviter la rentrée de l'eau dans certaines parties du sous-sol.

[1] Voir *Bulletin technique* du 1er avril 1922, page 73.