Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 50 (1924)
Heft: 24

Artikel: Controverses au sujet des barrages
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-39109

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

Il est alors pris connaissance du nom des auteurs des projets primés qui sont :

Projet « Pommeraie » : M. *Jaques Regamey*, architecte, à Lausanne.

Projet « Carcer Labor » : M. *Laverrière*, architecte, à Lausanne.

Projet « Espérance » : M. *Ch. Borgeaud*, architecte, à Lausanne.

Projet « Javert » : M. *Varenchon*, architecte, à Arras.

Controverses au sujet des barrages.

M. le Dr *Stucky* a fait, à l'assemblée générale de l'« Association suisse pour l'aménagement des eaux », le 31 mai dernier, un exposé sur « Les problèmes posés par la construction des barrages » qui a été suivi d'une discussion. On trouvera le compte rendu de cette intéressante controverse dans les numéros 7, 8 et 10 de la *Schweizerische Wasserwirtschaft*, année 1924. Nous en extrayons certains points, utilisant, pour ce qui concerne l'exposé de M. Stucky, l'excellente traduction qu'en a publiée la *Revue du Bâtiment et des Travaux publics*, du 18 octobre dernier.

Après avoir présenté quelques considérations d'ordre général sur l'aménagement des forces hydrauliques, M. Stucky compare les différents types de barrage.

« Le plus simple est le type dit à gravité, qui résiste à la poussée des eaux, par son propre poids. De plus en plus, on remplace, pour ces barrages, la forme légèrement arquée par la forme rectiligne. A l'origine, ces barrages avaient un profil compliqué; on tend de plus en plus aujourd'hui à le faire rectiligne ; le parement aval n'est plus incurvé mais plan, et son fruit varie selon les exigences du calcul.

» Deux barrages de ce type sont actuellement en construction en Suisse : à Barberine et au Wäggithal.

» Le calcul ordinaire des barrages-poids ne considère que les forces agissant dans un plan vertical, soit : la poussée des eaux et le poids propre, d'une part, et d'autre part la sous-pression qui s'exerce dans la fondation et dans le corps du barrage. Cette dernière dépend de la nature de la roche et de la qualité de l'exécution, de sorte que sa valeur est mal connue; on est obligé de recourir à certaines hypothèses, qui ont malheureusement le désavantage d'entraîner, selon qu'elles sont plus ou moins favorables, des variations du cube du barrage pouvant aller jusqu'au 30 %. On conçoit dès lors que cette question de la sous-pression ait été et soit encore à l'ordre du jour.

» A la suite des catastrophes survenues en France il y a quelque 30 ans, les autorités de ce pays avaient élaboré sous ce rapport des prescriptions très sévères qui ont certainement entravé beaucoup la construction des barrages.

» Les Italiens tolèrent depuis quelques années une forte réduction de la sous-pression. A leur tour, des prescriptions françaises nouvelles sont entrées en vigueur, qui permettent même, moyennant un certain nombre de mesures protectrices parmi lesquelles nous citerons des injections de ciment à haute pression, de négliger complètement la sous-pression. Cette manière de voir est incontestablement juste, mais dans bien des cas, il sera difficile de décider si les mesures prises sont suffisamment efficaces. Aussi, en Suisse, nous sommes plutôt de l'avis des Italiens qu'il est plus simple de tenir compte d'une sous-pression réduite, bien que cette hypothèse ne soit pas entièrement satisfaisante.

» Un barrage ne repose pas seulement sur le fond de la vallée, mais s'appuie aussi contre ses flancs. Bien que ces réactions latérales, qui procurent un certain soulagement, soient négligées dans le calcul pour plus de sécurité, elles n'en existent pas moins, et leur effet peut même, le cas échéant, se faire sentir d'une manière défavorable.

» Un grand barrage, loin de former une masse inerte, est soumis à des mouvements considérables, surtout s'il est construit en béton, mouvements dépendant des changements de température et surtout du refroidissement consécutif à la fabrication. En faisant prise, le ciment dégage une grande quantité de chaleur ; le refroidissement ultérieur provoque alors un retrait pouvant entraîner des fissurations, surtout dans les murs encastrés aux appuis latéraux. La forme légèrement arquée ne remédie pas suffisamment à cet inconvénient; aussi, les grands barrages modernes sont-ils pourvus de joints de dilatation qui, s'ils sont bien disposés, évitent la fissuration lors du retrait.

» Pourvu qu'on dispose d'un sol rocheux, le barrage à gravité peut toujours être exécuté, mais sa construction est la plus onéreuse ; le matériel y est mal utilisé ; on a proposé de remplacer la maçonnerie de l'intérieur, qui travaille à un faible taux, par un remplissage de gravier on de pierres sèches, mais l'économie ainsi réalisée paraît être compensée par la complication de l'exécution. On a imaginé aussi de ménager des vides de forme et de dimensions appropriées, tout en élargissant la base afin de rétablir la stabilité compromise par la diminution de poids ; à notre connaissance ce système n'a pas encore été appliqué en grand.

» La même idée a donné naissance au type américain dit de « Amburssen », constitué par une paroi en béton armé qui s'appuie sur des piliers à profil triangulaire ; un type analogue est celui dit à voûtes multiples où les dalles armées du barrage Amburssen sont remplacées par des voûtes en béton armé. Ce type a été introduit en Europe, particulièrement en Italie ; en Suisse, il n'en existe pas au-dessus de 20 mètres de hauteur. La raison en est que ce type demande beaucoup de main-d'œuvre et que celle-ci est plus chère en Suisse qu'en Italie ; en outre il est mal adapté au rude climat de nos hautes vallées.

» Imaginons qu'au lieu de fermer la vallée par une série de petites voûtes, on l'enjambe au moyen d'un seul arc de grande portée : nous obtenons ainsi le barrage-voûte proprement dit. Lorsqu'il est applicable il constitue la solution la plus économique et l'on peut dire aussi la plus sûre, car jusqu'à présent, aucun barrage-voûte ne s'est écroulé ; mais la portée ne peut guère dépasser 100 à 120 m. et les flancs de la vallée doivent offrir une garantie absolue.

» En Europe, le premier barrage de ce type a été mis en exploitation à Broc [1], il y a quatre ans. Sa hauteur maxima est de 52 m. et sa portée mesurée au couronnement, de 77 m. Il est fortement arqué et pour assurer encore l'élasticité nécessitée par les changements de température, l'épaisseur de toute la partie médiane a été réduite autant que possible. — Des manomètres disposés dans le corps du barrage n'ont accusé aucune sous-pression. On a procédé à des mesures de température au moyen de thermomètres électriques répartis dans le corps du barrage et l'on a constaté une très forte élévation de température, au début. Certains thermomètres ont accusé 38°, et 6 mois après la prise, l'équilibre thermique n'était pas encore atteint. Des mesures de déformation ont permis de contrôler les calculs et montré que les mouvements étaient sensiblement élastiques. Peu après est venu le barrage-voûte de l'usine d'Amsteg, au Pfaffensprung qui mesure 30 m. de hauteur. Il a été construit par les CFF d'une manière analogue à celui de Broc, mais en pierre de taille de granit.

» Un autre exemple intéressant de barrage-voûte est celui de Montejaque, au sud de l'Espagne, qui est exécuté par des Suisses. Il a été conçu selon les mêmes principes que celui de Broc, mais dans des conditions topographiques beaucoup plus favorables. La base ne mesure que le 23 % de la hauteur, de sorte que pour la hauteur relativement considérable de 72 m., il n'a exigé que 27,000m³ de béton.

» Une question qui intéresse tous les types de barrage est celle des revêtements. Le barrage-voûte de Broc est revêtu de mœllons artificiels. Celui d'Amsteg est construit entièrement en pierre de taille, celui de Barberine est revêtu à l'aval

[1] Voir *Bulletin technique*, année 1922, l'« Etude sur les barrages arqués », par M. *A. Stucky*. Tirage à part en vente à la librairie Rouge, à Lausanne.

[2] Voir *Bulletin technique* année 1922, les « Recherches sur les variations et la répartition de la température dans le barrage de Montsalvens », par le prof. *P. Joye* et M. *A. Christen*.

en pierres naturelles. On a construit aussi des barrages sans revêtement ; mais dans certains cas il s'est produit des défectuosités : les parties superficielles souffrent du gel ou de l'action directe du soleil auxquels le béton coulé est plus particulièrement sensible ; le revêtement en pierres naturelles est préférable, mais dans certains cas, les mœllons artificiels peuvent être plus avantageux, et s'ils sont convenablement exécutés donner d'excellents résultats, comme cela a été le cas à Broc.

» La question des tremblements de terre a été souvent agitée. Abstraction faite d'une catastrophe qui détruirait tout, chaque type de barrage peut résister plus ou moins bien, selon la nature du sisme. Jusqu'ici, les nombreux barrages de tous genres de la Californie n'ont pas souffert des mouvements sismiques fréquents dans ce pays. Il ne faut donc pas exagérer ce danger.

» Chaque type de barrage a ses avantages et ses inconvénients. Le type à gravité est presque toujours applicable ; avec lui, il faut tenir compte des pressions verticales et des effets de la température et du retrait. Le barrage en arc est moins sensible ; il exige, par contre, des culées résistantes et une portée réduite. Les types évidés peuvent également convenir dans certains cas.

» Le projet et l'exécution d'un barrage doivent être traités tout à fait individuellement. Ici aussi, certains problèmes n'ont pas encore reçu une solution définitive. Le béton seul peut entrer en ligne de compte pour la construction des grands barrages ; à cause des grands cubes à exécuter quotidiennement ; l'étude des propriétés du béton a fait ces dernières années de grands progrès, en Amérique surtout, et s'opère de plus en plus sur des bases scientifiques plutôt que d'après les vieilles méthodes empiriques. Les Américains en sont arrivés à employer pour les barrages uniquement le béton coulé, c'est-à-dire un mélange suffisamment liquide pour pouvoir être coulé dans des chéneaux spéciaux ; cette méthode a le grand avantage d'être rapide et de fournir, quand elle est bien appliquée, un béton moins perméable que le béton damé, bien que, théoriquement parlant, il présente à cause de sa grande teneur en eau, une résistance moins grande. Son principal inconvénient réside dans le fait que l'entrepreneur a la tendance, pour faciliter son travail, à ajouter une trop grande quantité d'eau de sorte que les différents éléments, sable, gravier et ciment tendent à se séparer. Les expériences faites actuellement en Suisse conduiront certainement à une forme intermédiaire de béton.

» Sans vouloir entrer dans les détails de cette étude dont la composition du béton forme une des parties les plus importantes, je dirai seulement que les nombreux essais exécutés à nos barrages ont conduit à abandonner l'emploi du gravier non trié et à utiliser un mélange de différents éléments soigneusement dosés ; le sable y joue un rôle important ; il favorise le coulage, mais diminue la résistance lorsque sa proportion est trop forte. Ici encore il faut trouver un moyen terme. Pour l'exécution, on n'utilise en Suisse que le ciment Portland, de première qualité ; le trass et la pouzzolane employés en Allemagne et en Italie sont inconnus chez nous. Les Américains ont tenté de mélanger au ciment de la pierre pulvérisée et ont donné à ce produit le nom de *Sandcement* qui permet d'obtenir une plus grande étanchéité aux dépens de la résistance. Des tentatives de ce genre ont été faites aussi en Suisse, mais les résultats, au point de vue de l'économie, n'ont pas été probants.

» Etant donné les grandes masses qui entrent en jeu, on conçoit qu'on ait intérêt à faire usage de gros gravier, afin de réduire la quantité de liant et d'augmenter l'étanchéité. Les Américains sont allés plus loin encore et ont fait emploi de *plumbs* ou gros blocs de pierre noyés dans le béton, mais l'expérience a montré que dans bien des cas la difficulté de transporter ces blocs compense l'économie réalisée.

» Il n'est pas possible d'entrer ici dans plus de détails, que le lecteur trouvera dans les ouvrages spéciaux.

» On reparle beaucoup de l'opportunité de posséder en Suisse, comme en France et en Italie, des prescriptions sur la construction des barrages. Le conférencier exprime des doutes à ce sujet ; ces prescriptions seraient ou tardives ou, au contraire, prématurées, faute d'expériences plus nombreuses.

» En Suisse, le danger de fautes grossières dans l'exécution n'est pas grand. Le coût d'établissement considérable d'un grand barrage lui assure l'intérêt et, par conséquent la surveillance effective de milieux entendus. Les meilleures garanties sont certainement fournies ici par une direction capable et par une entreprise de confiance. »

Au cours de la discussion qui suivit l'exposé de M. Stucky, MM. *Eggenberger* et *Guggler* résumèrent les résultats des expériences faites au cours de la construction des barrages de Barberine et du Wäggital.

A Barberine, la fondation fut très simple, en raison de la présence du gneiss qui affleurait le thalwag et les flancs du ravin. Toutefois, on ne tarda pas à constater que la roche était désagrégée assez profondément, de sorte qu'on dut encastrer le mur de deux à trois mètres afin de le fonder sur un sol sain. Pour réduire encore les chances de pénétration de l'eau dans la fondation on construisit, à l'amont du barrage, un mur parafouille de cinq mètres de largeur particulièrement profond. En outre, on fora, au diamant, dans ce parafouille, des trous de vingt à vingt-cinq mètres de profondeur dans lesquels on injecta du coulis de ciment afin d'aveugler les fissures éventuelles ; cette précaution ne fut pas inutile puisque certains de ces orifices avalèrent jusqu'à 70 sacs de ciment.

On sait que le barrage de Barberine est construit en béton entremêlé de quartiers de roche ou *plumbs*. Originairement, la proportion de ces plumbs avait été fixée à 20%, mais l'Entreprise, malgré la puissance de ces moyens de transport, ne réussit pas à en incorporer plus de 10% en moyenne. Contrairement à M. Stucky, M. Eggenberger attribue *une importance extraordinaire* à l'incorporation de ces plumbs bien qu'il en reconnaisse l'inopportunité au point de vue économique. Ces blocs, dit-il, constituent une liaison excellente entre les différentes assises du mur ; en effet, étant immergés à moitié dans l'assise qui a déjà fait prise, ils en rendent la surface très accidentée, surtout quand ils sont de grandes dimensions. Ces blocs réalisent donc une solidarisation avec l'ensemble de la masse et, par suite, une consolidation des points faibles, au premier rang desquels il faut placer les joints de reprise du bétonnage.

Quant au béton coulé, les nombreux essais exécutés au moyen des matériaux disponibles à Barberine ont montré que :

1° La quantité d'eau de gâchage doit être réduite au minimum possible. Dans aucun cas elle ne doit surpasser le poids du liant ou 7,5% du total des matières sèches, sous peine que l'eau se sépare du ciment avant la prise, avec formation de cavités.

2° La composition granulométrique et le degré d'humidité des matériaux doivent être constants.

3° Le béton doit contenir suffisamment d'éléments fins, mesurant moins de 0,5 mm. de diamètre, c'est-à-dire 20%, au minimum, du poids du sable, afin, non seulement, de prévenir la séparation des différents matériaux pendant la coulée mais encore de réaliser le poids spécifique et l'étanchéité nécessaires.

Pour satisfaire à ces conditions, les dispositions suivantes ont été prises :

a) Le dosage du béton pour la construction du gros œuvre du mur a été porté de 200 kg., prévus au début, à 230 kg. de ciment Portland par mètre cube de sable et de gravier. En vue de faciliter la coulée et de réduire la quantité d'eau de gâchage, on additionne le mélange de 20 kg. de chaux hydratée. L'augmentation de la proportion de ciment était en outre nécessitée par la condition que les éprouvettes de béton doivent présenter

une résistance à la compression de 100 kg/cm² au bout de 28 jours ou de 150 kg/cm² au bout de 90 jours.

b) Une partie du gravier moyen, 8-10 mm., qui est en excédent sur les lieux est pulvérisé dans trois moulins ad hoc, tandis qu'un quatrième appareil pulvérise une partie du gravier mesurant de 30 à 80 mm. L'addition de ces produits fins n'est effectuée qu'après que le sable a été lavé.

c) Les matériaux prélevés sur le plateau sont lavés moins à fond afin de réduire l'entraînement par lessivage des éléments fins. Bien entendu, on s'est assuré par des essais qu'il n'en résultait aucun préjudice pour la résistance du béton.

Le barrage de Barberine est du type à gravité pour le calcul duquel on a admis que la sous-pression varie linéairement de la valeur correspondant à la pleine pression hydrostatique sur le parement amont à la valeur *o* sur le parement aval. Autrement dit, le *coefficient de sous-pression* [1], *m*, a été pris égal à 1. Afin de parer au gel le parement aval est revêtu de pierres naturelles et le parement amont d'une couche de béton plus gras.

Il est intéressant de constater qu'à Barberine les relevés photogrammétriques, au 1 : 200, ont été substitués avec grand avantage à la méthode ordinaire de lever de profils en travers qui eût été d'ailleurs des plus malaisées à appliquer sur ces rochers escarpés.

Le grand mur-barrage du Wäggital, de forme rectiligne en plan, a été construit conformément aux nouvelles conceptions françaises. La section du mur est limitée, sur les parements amont et aval, par deux droites qui se coupent, au niveau des plus hautes eaux. La base du triangle est égale au 81,6% de la hauteur. Ce rapport est conditionné par le poids spécifique admis pour le béton, soit 2,3 et par la considération des sous-pressions, d'après le principe de Maurice Lévy, mais avec cette différence que la sous-pression n'est prise en compte que pour 80% de la pression hydrostatique. Les essais de contrôle exécutés, pendant la construction, sur des cubes et sur des blocs prélevés dans l'ouvrage ont montré que le poids spécifique réel est égal à 2,37, donc plus élevé qu'on ne l'avait admis pour les calculs, ce qui majore le degré de sécurité ressortant du projet.

Le mur est construit en béton coulé distribué par des goulottes du type américain. Les expériences faites jusqu'ici ont démontré qu'il est très important de réduire la quantité d'eau au minimum possible. Cette année, ensuite des constatations faites l'année dernière, on a donné aux goulottes une inclinaison un peu plus grande (30°) afin de pouvoir réduire la quantité d'eau. Auparavant les goulottes étaient inclinées de 22° conformément aux indications du fournisseur américain ; cette inclinaison convient peut-être pour des graviers arrondis et du sable de carrière, mais elle est trop faible pour des graviers concassés et du sable préparé mécaniquement. Depuis que l'inclinaison a été accrue, le bétonnage est beaucoup meilleur.

Quant au liant, on s'est abstenu, au Wäggital, de toute addition de surrogats, « sandcement » ou autres. Après quelques essais on a aussi renoncé définitivement à l'addition de chaux hydratée (« calco »). En outre on s'est attaché à réduire au minimum la quantité de liant. Le ciment est fourni par Holderbank et par la Jurazementfabrik.

On s'est abstenu aussi de noyer dans le mur du Wäggital des *plumbs*. Outre que la roche avoisinante est impropre à la préparation de ces blocs, l'expérience a montré, dit M. Guggler, que leur incorporation, pour autant qu'elle atteint une proportion notable, suscite de telles complications techniques qu'il est impossible de l'exécuter économiquement.

Il a été constaté que la surface du mur était plus sensible au gel qu'on ne l'avait admis. Il semble, d'ailleurs, y avoir là une propriété assez fâcheuse du béton coulé. En conséquence, il sera bon de revêtir de moellons le parement amont, tout au moins la partie qui en est découverte en hiver par suite de l'abaissement de la retenue, tandis qu'on peut s'abstenir d'une telle mesure sur le parement aval.

[1] Voir *Bulletin technique*, N° du 27 septembre, p. 250, l'Etude de M. *E. Suter*.

Méthodes modernes d'épuration des eaux d'égout en Europe et en Amérique [1].

par le *Dr Hans Peter*, ingénieur, à Zurich, Directeur de la *Société d'Entreprise de Forages et de Travaux S.A.*, Zurich-Berne.

MESSIEURS,

J'ai l'honneur de traiter devant vous un sujet qui intéresse surtout l'hygiène, les méthodes modernes d'épuration des eaux d'égout en Europe et en Amérique. Je me propose, après un examen des raisons qui militent en faveur de l'épuration des eaux contaminées, d'exposer les procédés de clarification et d'épuration en général. Nous parlerons de la clarification mécanique des eaux usées, qui peut se faire par des grilles, des dessableurs et par la décantation. On emploie pour ce but des bassins et des puits, les décanteurs sont du système Emscher, Neustadt ou Stuttgart. J'ajouterai quelques mots sur la décantation des eaux épurées et le traitement des boues. Nous traiterons ensuite les fosses septiques, la précipitation chimique, et les méthodes biologiques d'épuration, savoir l'épandage agricole, l'épandage intermittent et les procédés biologiques artificiels, les lits de contact et les lits bactériens percolateurs. J'ajouterai quelques mots sur l'épuration des eaux usées dans des étangs à poisson et le procédé Rothe-Degener. Je vous donnerai également l'état actuel du développement du nouveau procédé des boues activées et des questions économiques s'y rattachant. Nous parlerons ensuite de la desinfection des eaux d'égout et finirons par un résumé sur l'économie des méthodes modernes d'épuration des eaux d'égout.

I. Généralités.

1. *Systèmes d'assainissement*

Le sujet : épuration et clarification des eaux usées est partout et surtout dans notre pays à l'heure actuelle d'un grand intérêt pour l'hygiène. On peut dire que les alimentations en eau de nos communes et villes répondent souvent aux exigences de l'hygiène, mais en ce qui concerne l'assainissement, l'état actuel n'est pas satisfaisant du tout et il reste encore beaucoup à faire, même pour les grandes villes. J'ai eu l'occasion de faire quelques expériences sur la question si complexe du traitement des eaux usées dans ma propre carrière et en voyageant en Angleterre, France, Allemagne, Belgique et en Hollande, j'ai été également en communication directe avec les professeurs et les ingénieurs les plus compétents, j'ai profité également beaucoup de la littérature.

L'hygiène moderne n'accepte qu'un système d'assainissement, le « tout à l'égout », dont le but est d'assurer la salubrité publique en transportant les eaux usées ainsi que tous les résidus aussi vite que possible hors des habitations. En conséquence, les water-closets sont en relation directe avec les égouts, sans fosses préalables ; les égouts sont munis de

[1] Conférences faites, en novembre 1922, à l'occasion des Cours de vacances organisés au Palais de Rumine, à Lausanne, par l'Association suisse d'hygiène et de techniques urbaines.