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

**Band:** 50 (1924)

**Heft:** 20

**Artikel:** Barrages de grande hauteur résistant par leur propre poids: étude sur les nouvelles instructions ministérielles françaises pour la préparation des projets et l'execution des travaux

**Autor:** Suter, E.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-39098

**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:** 14.07.2025

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

50e année 27 septembre 1924 N° 20

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

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

ORGANE AGRÉÉ PAR LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Barrages de grande hauteur résistant par leur propre poids. Etude sur les nouvelles instructions ministérielles françaises pour la préparation des projets et l'exécution des travaux*, par E. Suter, ingénieur. — *Concours pour l'étude des plans du Pénitencier de Bochuz.* — *Considérations théoriques sur la soudure électrique à l'arc.* — Sociétés : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.* — Bibliographie. — *Service de placement.*

## Barrages de grande hauteur résistant par leur propre poids.

### Etude sur les nouvelles instructions ministérielles françaises pour la préparation des projets et l'exécution des travaux,

par E. SUTER, ingénieur.

La construction des barrages en France était régie jusqu'à 1923 par la circulaire ministérielle du 15 juin 1897. Cette circulaire, rédigée au lendemain du désastre du barrage de Bouzey, contenait des dispositions excessivement sévères, notamment celle qui prescrivait de réduire le poids des maçonneries de 100 kg. par mètre cube pour le calcul du barrage en charge.

On y ajoutait la condition dite de Maurice Lévy exigeant qu'en tout point du parement amont le taux de compression en charge soit égal ou supérieur à la pression hydrostatique. L'observation rigoureuse de cette dernière condition n'est pas exigée dans la plupart des pays, elle conduit à de très fortes sections de barrages.

Après la guerre, la construction de grands barrages en France a repris une nouvelle impulsion, spécialement pour les travaux d'électrification des chemins de fer. L'énorme augmentation de tous les prix a conduit à rechercher les économies réalisables et à modifier la circulaire de 1897.

Le rapport de la commission des Ponts et Chaussées, chargée de rechercher les nouvelles méthodes à appliquer dans les études et la construction des barrages, a été publié dans les Annales des Ponts et Chaussées de novembre-décembre 1923.

Le *Bulletin technique* a reproduit précédemment les principales conclusions de ce rapport (N° du 24 novembre 1923).

Nous nous proposons ici de revenir sur quelques points présentant des modifications importantes aux règles précédemment en vigueur.

Ces modifications portent essentiellement sur la section transversale des barrages et sur les calculs de résistance et de stabilité (forces extérieures à considérer, taux de fatigue maxima, méthode de calcul, etc.) En particulier, la nouvelle méthode de calcul recommandée, déduite directement de la théorie de l'élasticité, diffère entièrement des méthodes précédemment en usage.

*Section transversale du barrage.*

Voici la conclusion du rapport sur ce chapitre.

« *Sauf modifications à justifier, la section transversale théorique d'un barrage-poids doit être limitée par deux droites qui se coupent au niveau le plus haut que puisse atteindre l'eau.* »

Cette conclusion est appuyée par les considérations suivantes :

« On a considéré comme négligeable et en tout cas favorable à la stabilité en charge l'élargissement de la crête ; on a été ainsi conduit au profil triangulaire qui est défini par deux fruits uniformes d'amont et d'aval et qui présente par rapport aux profils plus compliqués de nombreux avantages.

D'abord il permet d'appliquer la théorie de l'élasticité et par suite de simplifier les calculs et de pousser aussi loin qu'on le veut la recherche en chaque point des efforts maxima.

Avec les parements réguliers on évite des sujétions de coffrage, on facilite l'exécution et on peut prévoir l'utilisation de caissons-ventouses pour la visite et la réfection locale du parement amont.

Enfin, non seulement pour les raisons déjà invoquées, mais parce qu'il correspond à la répartition la plus judicieuse de la matière, le profil triangulaire satisfait à la condition d'économie. »

Ces conclusions sont très discutables.

En fait, on commet une erreur qui n'est nullement négligeable si l'on ne tient pas compte de l'influence favorable du massif de couronnement, surtout lorsque des circonstances spéciales, comme le passage d'une route sur le barrage, obligent à donner une largeur importante à ce couronnement.

En adoptant un profil avec parements à fruit variable, et en tenant compte de l'influence du massif de couronnement, on pourra réaliser, pour des barrages de moyenne hauteur, une économie importante sur le profil théorique triangulaire.

Comme exemple, nous pouvons comparer les deux

profils suivants pour un barrage de 41 mètres de hauteur maximum, et pour un poids spécifique des maçonneries $\Delta = 2300$ kg/m³ (fig. 1).

Le premier profil, avec parements à fruit variable, a été calculé par M. Bonnet (voir F. Bonnet, *Cours de Barrages*).

Il admet un coefficient de sous-pression de 0,95 [1] pour la surélévation maximum du plan d'eau.

Le deuxième profil est le profil triangulaire théorique résistant exactement dans les mêmes conditions, il admet des fruits de parements de 0,10 en amont et de 0,77 en aval.

La surface du profil triangulaire est de 736 m² et celle du profil à fruit variable de 673 m².

Pour la partie la plus haute du barrage, le profil à fruit variable réalise donc une économie de 8,5 % sur le cube

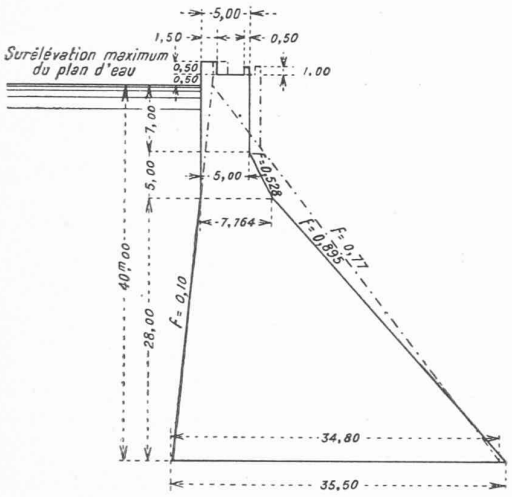


Fig. 1.

du barrage triangulaire. Il va sans dire que l'économie sera encore plus importante pour les parties de moindre hauteur, et par conséquent pour l'ensemble du barrage.

Enfin pour des barrages plus élevés, l'avantage de l'économie restera aux profils à fruit variable, jusqu'à une hauteur limite qui semble être située aux environs de 60 m.

Les autres arguments invoqués en faveur du profil triangulaire (facilités d'exécution, calculs plus rigoureux...) ne semblent pas prévaloir en face de la considération d'économie.

Par contre le taux de travail maximum sur le parement aval sera toujours supérieur pour le profil à fruit variable. Aussi, lorsque pour un barrage élevé, ce taux dépassera la limite admissible, il faudra donner la préférence au profil triangulaire.

*Sous-pressions.*

Des modifications très importantes sont introduites dans la manière de considérer l'action des sous-pressions.

Le rapport contient une étude détaillée de la question et des solutions qui lui ont été données dans divers pays, entre autres aux Etats-Unis et en Italie.

Voici notamment les prescriptions adoptées en Italie à ce sujet :

Dans le calcul statique des barrages-poids « on admettra conventionnellement l'existence d'une sous-pression variant linéairement de sa valeur $m \cdot \gamma \cdot y$. (parement amont de la section considérée) jusqu'à la valeur $o$ (parement aval de la même section), $y$ étant la hauteur d'eau au niveau de la section, $\gamma$ le poids de l'unité de volume de l'eau, et $m$ un coefficient constant pour toute la hauteur de la digue considérée. »

$m$ varie de 0 à 1 suivant la hauteur du barrage et la nature du terrain de fondation.

Nous garderons dans la suite cette définition de la répartition de la sous-pression et nous appellerons *coefficient de sous-pression* d'un profil de barrage la fraction de la sous-pression ainsi définie à laquelle ce profil peut résister sans qu'il se produise aucun effort d'extension.

Si l'on ne considère que l'effet du poids du barrage et de la poussée de l'eau, le coefficient de sous-pression sera le rapport de la compression principale sur le parement amont, parallèle à ce parement, à la pression hydrostatique.

Le rapport recommande ensuite l'emploi de tous les dispositifs propres à éviter la propagation des sous-pressions : réseaux de puits de drainage disposés près du parement amont, enduits sur le parement amont, injections dans le sol de fondation, etc.

Enfin la commission arrive à la conclusion suivante, assez inattendue, puisqu'elle constitue dans les limites de sécurité admissibles le passage complet d'un extrême à l'autre.

« Dès lors, sauf dans des circonstances exceptionnelles, le calcul des barrages-poids peut être basé sur la simple considération de leur poids et de la poussée de l'eau, *sans tenir compte des sous-pressions* ».

Néanmoins, pour les grands barrages actuellement en construction en France, et quoiqu'on ne se trouve pas dans des circonstances exceptionnelles, la même commission n'a pas osé se montrer aussi hardie que dans son rapport et a adopté des profils pouvant résister à une fraction importante de sous-pression, le coefficient de sous-pression admis étant d'au moins ½.

## Calculs de résistance.

Les principales prescriptions à observer sont les suivantes :

En aucun point, il ne doit se produire d'efforts d'extension. En outre il est recommandé d'avoir en charge de légers efforts de compression sur le parement amont.

Les efforts maxima de compression et de cisaillement effectif ne doivent en aucun point dépasser les taux-limites de fatigue admissibles. Ces taux-limites seront déterminés après essais des matériaux à mettre en œuvre, en adoptant un coefficient de sécurité de $^1/_8$ à $^1/_{10}$.

[1] Voir plus loin la définition du cœfficient de sous-pression.

On peut remarquer que l'effort de cisaillement effectif maximum ne dépasse pas sur les parements le quart de l'effort de compression maximum. Si donc on choisit comme limite de fatigue au cisaillement le quart de la limite à la compression, on n'aura pas à se préoccuper du cisaillement.

« La limite du travail de compression à l'amont pourra être légèrement supérieure à celle d'aval. »

Cette dernière condition est inutile et d'ailleurs impossible à remplir pour tous les profils de barrages pouvant se rencontrer pratiquement. En effet, lorsque le coefficient de sous-pression est compris entre 0 et 1, la compression, maximum à l'aval est toujours supérieure à celle d'amont comme nous le ferons voir plus loin.

*Méthode de calcul.*

Le rapport recommande l'emploi de la méthode de calcul suivante, due à M. *G. Pigeaud*, inspecteur général des Ponts et Chaussées, et exposée dans son ouvrage « Résistance des matériaux et Elasticité ».

Cette méthode ne s'applique pas à un barrage avec parements à fruit variable.

*Exposé de la méthode.*

Nous considérons le barrage comme un massif triangulaire indéfini, c'est-à-dire compris entre deux talus plans $OM$ et $ON$, faisant avec la verticale $oy$ des angles $\alpha$ et $\beta$ (fig. 2).

$$\operatorname{tg}\alpha = m \; ; \quad \operatorname{tg}\beta = n.$$

Nous supposons les forces extérieures sur chacun des talus parallèles entre elles et proportionnelles aux distances du sommet du barrage à leur point d'application, c'est-à-dire le plan d'eau affleurant le sommet pour le cas du réservoir plein.

Soit un point quelconque $P$, de coordonnées $x$, $y$, situé sur une demi-droite $oP$, faisant avec $oy$ un angle $\omega$

$$\operatorname{tg}\omega = p.$$

Les tensions en $P$, parallèles au système d'axes de coordonnées sont données par les équations

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= a_1 x + b_1 y \\ N_2 &= a_2 x + b_2 y \\ T_3 &= c x + d \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

$a_1$, $b_1$, $a_2$, $b_2$, $c$, $d$ sont des constantes qui ont les valeurs suivantes :

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= \frac{\Delta}{(m+n)^2} m.n.(m-n) + \frac{K}{(m+n)^3} m.n(m.n - m^2 - 2 \\ b_1 &= \frac{\Delta}{(m+n)^2} 2m^2.n^2 - \frac{K}{(m+n)^3} m^2(2.m.n^2 - 3n - m) \\ a_2 &= -\frac{\Delta}{(m+n)^2}(m-n) - \frac{K}{(m+n)^3}(n^2 + 3.m.n - 2) \\ b_2 &= \frac{\Delta}{(m+n)^2}(m^2+n^2) - \frac{K}{(m+n)^3}(m - n - 2m^2.n) \\ c &= \Delta - b_2 . \qquad d = -a_1 \end{aligned}\right\} (2)$$

$\Delta$ représente le poids du mètre cube de maçonnerie.

$K$ représente le poids du mètre cube d'eau (1000 kg.).

Dans ces expressions, il suffit de faire $K = 0$ pour avoir celles se rapportant au cas du réservoir vide.

Connaissant $N_1$, $N_2$ et $T_3$, on pourra déterminer les tensions principales.

La compression maximum a pour valeur

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(N_1 - N_2)^2 + 4T_3^2} \qquad (3)$$

La compression minimum a pour valeur

$$B = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{(N_1 - N_2)^2 + 4T_3^2} \qquad (4)$$

Le cisaillement simple maximum a pour valeur

$$T = \frac{1}{2}\sqrt{(N_1 - N_2)^2 + 4T_3^2} \qquad (5)$$

Enfin le cisaillement effectif maximum est

$$T - N . \operatorname{tg}\varphi .$$

$\varphi$ étant l'angle de frottement de la maçonnerie sur elle-même, et sa valeur maximum sera

$$\mathfrak{T} = \frac{1}{2\cos\varphi}\left[\sqrt{(N_1 - N_2)^2 + 4T_3^2} - (N_1 + N_2)\sin\varphi\right] \quad (6)$$

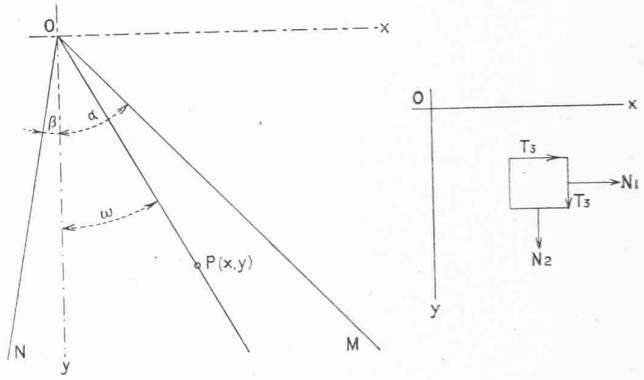


Fig. 2.

Pour simplifier les calculs, on peut remplacer $N_1$, $N_2$ et $T_3$ par des quantités proportionnelles $N'_1$, $N'_2$ et $T'_3$, indépendantes des coordonnées $x$ et $y$, mais variant en fonction du rapport $\frac{x}{y} = p$.

On obtiendra ainsi des expressions invariables sur toute la longueur d'un même rayon partant du sommet du barrage.

$$x = p . y \qquad \begin{aligned} N_1 &= y(a_1 p + b_1) & N'_1 &= \frac{N_1}{y} = a_1 p + b_1 \\ N_2 &= y(a_2 p + b_2) & N'_2 &= \frac{N_2}{y} = a_2 p + b_2 \\ T_3 &= y(cp + d) & T'_3 &= \frac{T_3}{y} = cp + d \end{aligned}$$

De même on aura

$$A' = \frac{A}{y} = \frac{N'_1 + N'_2}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(N'_1 - N'_2)^2 + 4T'^2_3}$$

etc.

*Courbes d'égale compression maximum.*

En égalant l'expression de la compression maximum à une constante $C$, on aura le lieu des points pour lesquels $A = C$.

$$C = A = y \,.\, A'$$

$$y = \frac{C}{A'} = \frac{C}{\frac{N'_1 + N'_2}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(N'_1 - N'_2)^2 + 4T'^2_3}} \qquad (7)$$

C'est l'équation du lieu en fonction des variables $y$ et $p$.

On peut facilement tracer cette courbe par points en calculant $A'$ pour différentes valeurs de $p$.

Lorsqu'on aura tracé la courbe pour une valeur quelconque de $C$, on pourra immédiatement en déduire toutes les autres courbes, qui sont homothétiques à la première par rapport au sommet.

*Courbes d'égal cisaillement maximum.*

En égalant l'expression du cisaillement maximum à une constante $D$, on aura le lieu des points pour lesquels $T = D$

$$D = T = yT'$$

$$y = \frac{D}{T'} = \frac{2D}{\sqrt{(N'_1 - N'_2)^2 + 4T'^2_3}} \qquad (8)$$

*Courbes d'égal cisaillement effectif maximum.*

En égalant l'expression du cisaillement effectif maximum à une constante $E$, on aura le lieu des points pour lesquels $\mathfrak{T} = E$

$$F = \mathfrak{T} = y \,.\, \mathfrak{T}'$$

$$y = \frac{E}{\mathfrak{T}'} = \frac{2E \,.\, \cos\varphi}{\sqrt{(N'_1 - N'_2)^2 + 4T'^2_3} - (N'_1 + N'_2)\sin\varphi} \qquad (9)$$

on admet généralement.

$$\operatorname{tg}\varphi = 0{,}75 \;; \qquad \sin\varphi = 0{,}6 \;; \qquad \cos\varphi = 0{,}8.$$

$$y = \frac{1{,}6E}{\sqrt{(N'_1 - N'_2)^2 + 4T'^2_3} - 0{,}6(N'_1 + N'_2)}$$

*Lignes isostatiques.*
*Lignes de glissement.*

Les lignes isostatiques ont en chaque point leur tangente orientée suivant une des directions principales. On aura donc deux systèmes orthogonaux de ces lignes, se rapportant aux compressions maxima et minima.

Les lignes de première espèce indiquent la direction suivant laquelle se produirait vraisemblablement une rupture par compression.

L'angle que font les directions principales avec l'axe des $x$ est donné par

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{N'_2 - N'_1 \pm \sqrt{(N'_1 - N'_2)^2 + 4T'^2_3}}{2 \,.\, T'_3}$$

L'équation différentielle des lignes isostatiques sera donc

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\beta = \frac{N'_2 - N'_1 \pm \sqrt{(N'_1 - N'_2)^2 + 4T'^2_3}}{2T'_3} \qquad (10)$$

Cette équation est toujours intégrable, mais son intégration effective serait compliquée, sauf dans certains cas spéciaux.

Il sera généralement suffisant de faire un tracé approché des lignes isostatiques. Pour cela on déterminera d'abord $\operatorname{tg}\beta$ pour différentes valeurs de $p$, on mènera les rayons correspondants aux milieux des intervalles choisis, puis on pourra tracer les courbes à la manière d'un polygone funiculaire dont les côtés successifs ont des directions connues et dont les sommets se trouvent sur des droites connues.

Les lignes de glissement ou de rupture par cisaillement ont leur tangente en chaque point orientée suivant l'une des directions de cisaillement effectif maximum, c'est-à-dire qu'il y aura deux systèmes de ces lignes coupant les lignes isostatiques relatives à la compression maximum sous un angle de $\pm\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$.

Leur tracé est donc facile dès qu'on aura déterminé les premières. *(A suivre).*

---

## Concours pour l'étude des plans du Pénitencier de Bochuz.

*Extrait du Rapport du Jury*

Le jury, chargé de l'examen des projets, composé de M. le Conseiller d'Etat J. Dufour, chef du Département de justice et police ; M. Kellerhals, directeur de la Colonie pénitentiaire de Witzwil ; M. Ch. F. Bonjour, inspecteur des constructions fédérales pour la Suisse romande ; M. Braillard, architecte, à Genève ; M. Suter, architecte, à Bâle ; s'est réuni, à Lausanne, les 22 et 23 mai, pour procéder à sa mission, sous la présidence de M. le Conseiller d'Etat Dufour.

M. E. Bron, architecte cantonal, délégué du Département des travaux publics, assiste aux délibérations à titre consultatif et M. Bonjour est chargé de la rédaction du rapport du jury.

Il est constaté la présence de 25 projets livrés dans les délais fixés.

La vérification des pièces produites ainsi que celle des cubes indiqués par les concurrents avait eu lieu préalablement par les soins du Département des travaux publics. Le tableau de ces cubes rectifiés a été déposé dans la salle d'exposition des projets.

Le jury qui, avant l'élaboration du programme, avait pris connaissance du terrain et des conditions créées par sa situation et le caractère spécial de sa destination, décide de se baser pour l'examen des projets sur les caractéristiques suivantes :

Implantation et orientation. Groupement des quartiers. Distribution des services. Architecture. Cube des constructions. Appréciation du projet dans son ensemble et sous le point de vue spécial de la création d'un pénitencier à caractère type agricole.

Au premier tour d'élimination, les projets nos 6 : *Vert et Blanc ;* 11 : *La Clef ;* 13 : *La Prison ;* 14 : *Claustrum ;* 16 :