Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 47 (1921)
Heft: 17

Artikel: Le béton armé à la galérie du Ritom
Autor: Maillart, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-36606

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: 09.07.2025

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

et d'une capacité de 0,8 m³/sec. qui traverse le massif du Juchlistock sur une longueur de 1420 m. et se déverse dans le grand bassin du Grimsel (fig. 4).

La formation du *grand bassin du Grimsel* nécessite deux barrages dont un petit à l'extrémité nord du lac actuel près de Seeuferegg et le grand mur de barrage qui s'élève à l'endroit même où le pont de l'ancien chemin muletier franchit l'Aar. Placé au point le plus étroit de la gorge du Spitallamm mesurant 10 m. à la base et 150 m. en couronne, cet ouvrage est calculé comme mur de gravité à section triangulaire, disposé en arc de cercle de 200 m. de rayon. Le chemin de couronnement est prévu à la cote 1895, le déversoir à 1892, le lit de l'Aar à 1809 et la fondation à 1799, de sorte que la hauteur totale maxima sera de 96 m. et la hauteur libre de 83 m. Le corps de maçonnerie sera coulé en béton de 250 à 180 kg. de ciment par m³, avec 30 % de blocage et revêtement en mœllons de granit. Le cube des fouilles est de 47 000 m³ et celui de la maçonnerie de 260 000 m³. Un barrage provisoire et une galerie de déviation sur la rive gauche serviront à l'exécution de l'ouvrage, cette dernière fonctionnant ultérieurement comme galerie de décharge. La nappe du bassin couvre une superficie de 175 ha et s'étend jusqu'au glacier de l'Unteraar. Avec une amplitude de 67 m. on obtient un volume d'eau utilisable de 55 600 000 m³. La prise d'eau est aménagée directement en amont du barrage. La galerie d'adduction d'une section de 4 m², d'une capacité de 12,5 m³ sec., et d'une longueur totale de 5188 m. suit les pentes de la rive droite de la vallée jusqu'au lac du Gelmer. Dans sa partie antérieure où sa section est dédoublée, se trouve la chambre portant les appareils de réglage, et avant son débouché dans le lac du Gelmer elle est munie d'un régulateur automatique de débit destiné à compenser la différence du niveau des deux bassins, c'est-à-dire à tenir celui du Gelmer qui est de 22 m. inférieur à celui du Grimsel aussi longtemps que possible à son niveau maximum de 1870 m. s/M. (fig. 5 à 7). (*A suivre.*)

Le béton armé à la galerie du Ritom

par R. Maillart, ingénieur.

Après avoir lu le rapport[1] des experts concernant la galerie du Ritom, on aura pu se demander si par l'emploi du profil IV (p. 89), armé, au lieu des profils N° I à III, elle se serait mieux comportée. Car ce profil IV présente deux avantages apparents : la forme circulaire et l'armature (fig. 1).

Si l'on admet un revêtement qui s'adapte parfaitement à la roche, il est clair que la forme du profil ne jouerait aucun rôle à condition que la roche offrît une résistance absolue. Mais cette résistance étant élastique ou plastique et pouvant même faire entièrement défaut, la forme circulaire paraîtra la meilleure, puisque la ligne des tractions s'y adaptera le plus possible. Néanmoins on n'aurait aucune sécurité appréciable contre la rupture du béton, cette sécurité étant particulièrement compromise par la pression inégale de la roche sur l'enveloppe, d'où il résulte un déplacement de la ligne des tractions.

Ainsi on aurait tort de croire que la forme circulaire aurait pu préserver entièrement la galerie du désastre. Cependant la perte d'eau aurait pu être moindre, attendu que, pour le profil exécuté, la reprise principale coïncide avec le point où probablement l'excentricité de la ligne de traction devait atteindre le maximum. De là, fissure plus grosse à cet endroit, et perte d'eau particulièrement importante puisque cette perte augmentera progressivement avec la largeur de la fissure. Un revête-circulaire aurait probablement présenté un nombre de fissures plus grand, mais ces fissures auraient été plus plus petites et plus égales.

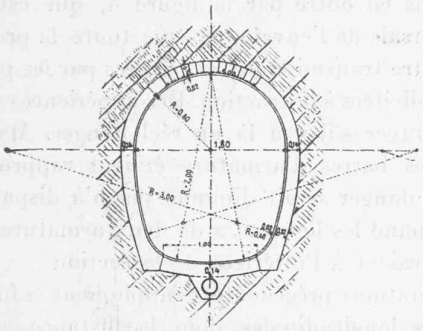
Retenons le fait que la perte totale ne se trouve pas être proportionnelle à la somme des largeurs de toutes les fissures. Si elles sont jugées inévitables, il importe d'en augmenter le nombre et d'empêcher que l'une s'ouvre plus que les autres. Nous obtiendrons alors une augmentation sensible de la résistance totale au passage de l'eau. En outre, des fissures très fines retiendront plus facilement les petits grains de sable et les particules de limon qui pourront les colmater.

Ces considérations doivent aussi nous guider s'il s'agit de juger de l'utilité d'une armature noyée dans le revêtement. Or c'est le cas pour le profil qui nous occupe. Il comporte en effet une armature circulaire de barres rondes de 12 mm. distantes de 25 cm. et de 6 barres longitudinales de 18 mm. Cette armature est noyée non pas dans le béton, mais au milieu d'une couche de revêtement intérieur de 5 cm. d'épaisseur. Il est à supposer que cette couche devait servir d'enduit étanche.

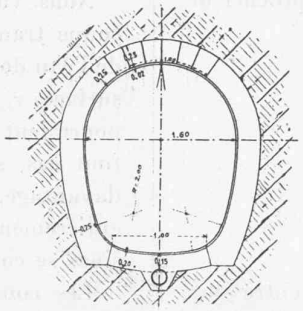
Pourquoi placer l'armature dans l'enduit et non dans le revêtement même ? Je suppose qu'en premier lieu on voulait conserver la liberté d'exécuter le revêtement, au moins en partie, en maçonnerie, ce qui ne permettait guère d'y conserver une armature. Mais même en prévoyant un revêtement entièrement en béton, il est incontestable que la présence d'une armature aurait rendu son exécution particulièrement compliquée vu les conditions défavorables de travail dans une galerie. Mais au point de vue théorique également il semble préférable de faire coïncider l'armature avec la couche devant garantir l'étanchéité. Quand une roche exerce des pressions actives, mais inégales, on aura tout intérêt à les faire supporter uniquement par le béton, ce qui permettra d'évaluer d'une manière plus précise le travail de l'armature et de l'enduit appliqués plus tard. Ainsi il semble que la disposition du profil IV, comportant le placement de l'armature dans l'enduit est bonne en principe, surtout si l'application de l'enduit se fait par un procédé moderne de projection, ce qui garantira l'enrobement parfait des armatures.

[1] Le *Bulletin technique* a publié récemment ce rapport in extenso.

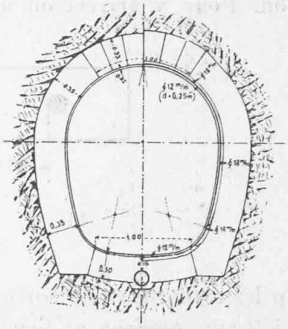
GALERIE DE RITOM



Type I.

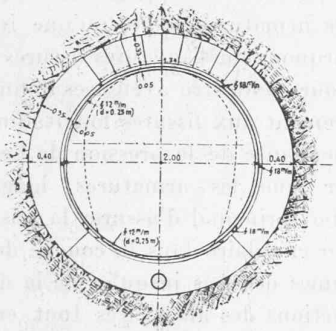


Type II.



Type III et Type III *a*,
armé ;
anneau de béton arme de 0,31 m²,
38 kg. d'acier par m. de longueur.
d = distance des fers.

Fig. 1. — Profils-types prévus. — 1 : 75.



Type IV
Profil circulaire armé,
anneau de béton armé, de 0,32 m²,
38 kg. d'acier par m. de longueur.
d = distance des armatures circulaires.
(Ce profil n'a jamais été appliqué.)

Examinons maintenant si la disposition des armatures peut atteindre son but : sinon supprimer les fissures, tout au moins en atténuer les conséquences.

On dira sans doute que le rôle des armatures devrait être d'empêcher absolument toutes fissures. Mais bien qu'il soit constant que les armatures peuvent empêcher la fissuration sous certaines conditions, celles-ci sont si variables que, pour la non-fissuration, un cœfficient de sécurité assez précis ne peut pas être garanti.

Afin de nous rendre compte de l'effet de l'armature de fer dans un corps en béton sollicité à la traction, il nous faut considérer les déformations que subiront ces matériaux. Nous négligerons le retrait, qui sera minime dans une galerie humide. Il disparaîtra et il y aura plutôt gonflement quand la galerie sera remplie d'eau. Remarquons en passant qu'il est important de tenir une galerie remplie pendant un certain temps sans pression appréciable, afin que le gonflement du mortier puisse s'effectuer avant que celui-ci soit soumis au maximum de l'effort de traction.

Tout le monde est d'accord pour admettre que les fibres de béton immédiatement attenantes à l'armature suivent les allongements de celle-ci jusqu'à la limite d'élasticité du fer ; ceci à la seule condition que les extrémités de l'armature soient bien ancrées afin d'éviter un glissement prématuré.

Selon une opinion répandue, si l'allongement que le béton non armé peut supporter sans rupture (0,05 à 0,1 mm. par m.) est dépassé, l'épaisseur de la couche qui suit complètement l'allongement de l'armature sera très limitée. Elle deviendrait dans tous les cas infiniment mince par le fait de la fissuration, si l'allongement atteint environ le triple de cette valeur. Ce facteur 3 ne serait valable que pour une répartition très parfaite des armatures dans le béton tandis qu'il n'entrerait guère en compte dans la construction ordinaire.

D'autres, se basant sur les essais de Considère, admettent la possibilité d'un allongement jusqu'au décuple et au delà d'une couche d'épaisseur limitée, sans qu'il s'y présente des fissures.

Les partisans de la première théorie ont été jusqu'à contester la justesse des épreuves de Considère. Cela est inadmissible. Le fait qu'ordinairement le phénomène observé par Considère ne se vérifie point, ne prouve pas qu'il ne puisse se produire sous certaines conditions. La recherche de ces conditions serait chose intéressante, mais il est certain que nous ne pouvons guère les remplir pratiquement.

Ainsi nous ne discuterons pas ici cette question et nous resterons sur un terrain incontesté, en n'admettant qu'une action minimale des armatures.

D'après les expériences du prof. *Bach*, on peut admettre que l'allongement sans rupture du béton sera augmenté de 50 et 100 pour cent par la présence d'une armature, si la distance (*V*, voir fig. 2) au point le plus éloigné de la section du béton ne dépasse pas respectivement 4 cm. et 2,5 cm. Si elle dépasse 10 cm. l'armature n'aura plus aucun effet sur les fibres éloignées, celles-ci se comportant alors comme du béton non armé. Ainsi pour avoir la probabilité d'un retard sensible dans la production des fissures, il faudrait qu'aucun point de la section du béton ne fût trop éloigné d'une armature.

Dans notre cas cette condition n'est remplie que dans le sens de l'épaisseur, tandis que dans l'intervalle de deux armatures, il se trouve des parties de mortier

qui en sont distantes de 12 cm. Nous voyons donc que la disposition de l'armature prévue ne retardera pas la fissuration. Pour y arriver on aurait dû rapprocher de

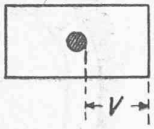


Fig. 2.

beaucoup les armatures, de sorte que l'espace entre elles tombât à 5 cm. environ au lieu de 24 cm.

Mais, objectera-t-on, puisque nous de pouvons être certains d'empêcher la formation de fissures, les allongements devant fatalement dépasser 0,2 mm. par m., peu importe alors que les fissures apparaissent plus tôt ou plus tard.

Remarquons en premier lieu qu'un mortier très tendu avant fissuration gardera un allongement permanent notable qui diminuera d'autant la largeur des fissures.

En second lieu il est facile de se rendre compte que la diminution de l'intervalle des armatures aura une influence très importante sur le débit, même après la fissuration. Dans la figure 3, qui est une coupe longitudinale de l'enveloppe, nous avons figuré en traits pleins les armatures prévues dans le projet.

En l'absence de toute armature *a-a* et *b-b* représenteront les bords d'une fissure, la distance *l* entre ses lignes figurant à une échelle démesurée la largeur de celle-ci. Par la présence des dites armatures, le béton y adhérant, les bords de la fissure prendront une forme ondulée *a'-a'* et *b'-b'* composée d'arcs que nous pouvons admettre paraboliques. L'aire de la fissure s'en trouvera réduite à deux tiers et le débit baissera peut-être de la moitié en raison de la diminution du rapport de l'aire à à sa circonférence. C'est un résultat appréciable mais loin d'être satisfaisant.

Si nous intercalons trois armatures supplémentaires, indiquées en pointillé, les bords de la fissure seront figurés par les lignes ondulées *a''-a''* et *b''-b''*, lesquelles comprendront une aire qui ne sera plus que le sixième de celle comprise entre *a-a* et *b-b* et le débit tombera au douzième et même moins. Il diminuera encore et pourra tarir entièrement par le fait du colmatage. Il est vrai que le béton compris entre deux fissures se trouve moins détendu par cette disposition, ce qui aura pour effet d'augmenter le nombre des fissures; mais d'après les expériences faites, cette augmentation ne dépassera guère le 50 % dans les conditions présentes, n'atténuant donc pas essentiellement les avantages acquis.

Nous voyons par conséquent que, sans augmentation des dépenses — supposant pour le moment que la section totale des armatures soit suffisante et égale dans les deux cas — on aurait pu améliorer sensiblement l'effet des armatures.

Nous voyons en outre par la figure 4, qui est une coupe transversale de l'enveloppe, que toute la pression de l'eau doit être transmise aux armatures par les petites surfaces *x*, *x* solicitées à la traction. Des expériences seules pourraient prouver s'il y a là un réel danger. Mais en tout cas, si les barres d'armature étaient rapprochées davantage, ce danger serait diminué jusqu'à disparaître entièrement quand les lignes *x*, *x* de deux armatures voisines se couperaient à l'intérieur de la section

Les considérations précédentes s'appliquent a fortiori aux armatures longitudinales, dont la distance est de 1 m. environ. Mais comme l'expérience démontre que le retrait ne joue pas de rôle appréciable dans une galerie humide, ces armatures n'ont qu'une importance secondaire. Remarquons aussi que des fissures transversales de retrait pourraient être aveuglées définitivement puisque, contrairement aux fissures longitudinales, leur largeur est indépendante de la pression de l'eau. Aussi peut-on supposer que les armatures longitudinales avaient ici pour but principal d'assurer la position centrale de l'armature circulaire dans la couche de mortier.

Nous nous sommes occupés jusqu'ici de la disposition et non pas des sections des armatures tout en les supposant suffisantes. Pour juger de l'action préventive contre la fissuration, remarquons qu'une section de fer *F* disposée dans une section de béton *S* diminuera la tension dans le béton dans la proportion $(S + n.\ F) : S$. Quant à *n*, rapport des coefficients d'élasticité, on pourra admettre au moment de rupture le chiffre de 15 à 20, si la disposition de l'armature permet des allongements sensibles du béton ($V = 4$ cm. à 2,5 cm.) et celui de 10 si cela n'est pas le cas ($V > 10$ cm.).

Or nous avons pour 1 m. de galerie :

$S = 500$ cm² $F = 4{,}52$ cm² $n = 10$ ($V = 12$ cm.).

Le rapport en question sera donc :

$$\frac{500 + 10 \times 4{,}52}{500} = 1{,}09$$

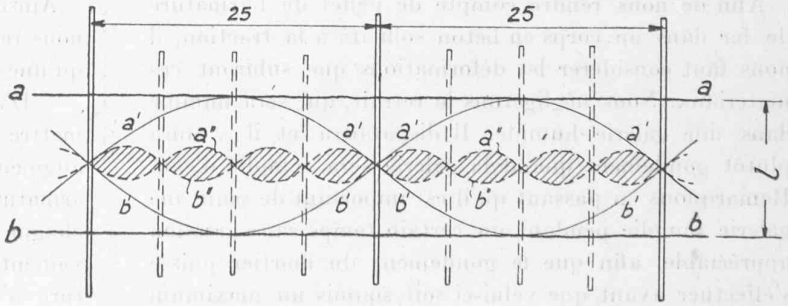


Fig. 3.

ce qui veut dire que l'augmentation de sécurité contre la production de fissures ne sera que de neuf pour cent. Cette augmentation serait doublée si les armatures étaient disposées au quart de leur distance tout en conservant la même section totale. Elle ne sera donc pas encore appréciable.

Les efforts d'extension produits dans l'enveloppe seraient pour une pression d'eau de 42 m. :

$$\sigma_b = \frac{42000 \times 1{,}0}{500 + 10 \times 4{,}52} = 77 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_f = 10 \times 77 = 770 \text{ kg/cm}^2,$$

si un tel effort dans le mortier était possible. Mais il y aura fissuration bien avant que ces chiffses ne soient atteints et l'armature aurait alors à supporter une tension :

$$\sigma_f = \frac{42000 \times 1{,}0}{4{,}52} = 9350 \text{ kg/cm}^2$$

ce qui n'est pas possible.

Nous voyons donc qu'il se produira des fissures déjà sous une pression d'environ 16 m., la traction dans le béton atteignant alors 30 kg/cm² et qu'à ce même moment les fissures augmenteront sensiblement de la

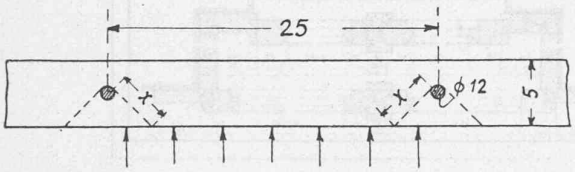


Fig. 4.

même manière, comme pour un béton non armé, puisque l'armature sera soumise immédiatement à des efforts allant de 2500 à 3500 kg/cm². L'adhésion entre le béton et le fer sera rompue et il ne pourra donc plus être question d'une action atténuante du fer sur le débit des fissures.

Nous arrivons donc à la conclusion que l'influence des armatures prévues dans le profil IV aurait été si minime qu'on peut les qualifier d'inutiles.

Leur disposition ne tient pas compte des expériences acquises.

Quant à leurs dimensions, elles sont basées sur des appréciations difficilement soutenables. Car de deux choses l'une :

ou la roche est bonne et l'adhésion du revêtement parfaite et alors on peut se passer d'armature,

ou bien la roche est mauvaise et on ne peut compter sur un revêtement adhérant parfaitement, et alors une armature qui ne supportera avec sécurité qu'un huitième de la pression d'eau ne peut pas rendre de services.

Au lieu d'une section de 4,5 cm² de fer, on aurait dû admettre 35 cm² et ne pas dépasser la distance de 6 cm. Nous aurions alors obtenu :

$$\sigma_b = \frac{42000 \times 1{,}0}{500 + 20 \times 35} = 35 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_f = 20 \times 35 = 700 \text{ kg/cm}^2.$$

avec des probabilités que le mortier ne présente pas de fissures. Si celles-ci avaient lieu néanmoins on aurait eu :

$$\sigma_f = \frac{42000 \times 1{,}0}{35} = 1200 \text{ kg/cm}^2,$$

chiffre garantissant l'adhésion et qui ne permet pas que les fissures atteignent une largeur appréciable si les armatures sont très rapprochées l'une de l'autre.

Extrait du rapport de la commission romande de normalisation.

Donnant suite à la décision prise lors du Congrès de normalisation de Lausanne, en juillet 1920, la Section romande de l'Union suisse pour l'amélioration du logement a constitué une Commission de normalisation composée de MM. *Bueche*, architecte, à Saint-Imier ; *A. Hertling*, architecte, à Fribourg ; *A. Hochel*, architecte à Genève ; *A. de Kalbermatten*, architecte, à Sion ; *Ch. Matthey*, architecte, Intendant des Bâtiments, à Neuchâtel ; *G. Mercier*, architecte, à Lausanne ; *F. Gilliard*, architecte, à Lausanne, représentant de la Section romande U. S. A. L. Les Sections romandes de la S. I. A. avaient été invitées à désigner chacune un délégué dans cette commission qui a commencé ses travaux le 8 janvier. Elle a fait appel à la collaboration de la Fédération romande des Maîtres menuisiers qui avait présenté des modèles intéressants de portes et de fenêtres, à l'Exposition de l'Habitation économique. Ceux-ci ont servi utilement à l'établissement des dessins de normes.

Il faut mentionner également le précieux appui trouvé auprès de la Direction de l'Ecole des Métiers de Lausanne. C'est grâce à elle qu'il a été possible de faire exécuter des types de portes et de fenêtres et de se rendre exactement compte des avantages et désavantages des dispositions prises en plan.

Le travail présenté aujourd'hui par la Commission, quoique limité aux détails de menuiserie : portes intérieures, fenêtres et volets, dénote cependant un effort assez considérable.

Il s'agissait de déterminer un point de départ. Il faut une unité en matière de logement comme en tout autre domaine et, cette unité, c'est la maison familiale. Ces normes doivent s'appliquer en premier lieu à la maison familiale, en faciliter la réalisation. Mais elles peuvent aussi s'adapter à des maisons à loyer, comme on le verra par la suite.

Les dimensions des portes et des fenêtres dépendent directement de la hauteur que l'on donne aux étages. Il a donc fallu fixer un minimum pour cette hauteur. Après discussion et examen de ce qui s'est fait, soit en Suisse, soit à l'étranger, la Commission a décidé d'adopter, malgré une opinion divergente du Jura bernois, une hauteur minimale de 2 m. 40. Par ce fait, la hauteur maximale de la fenêtre se trouve fixée à 1 m. 40. Avec un contre-cœur de 0 m. 80, il reste juste la place nécessaire pour les arrière-couvertes. La largeur de la fenêtre a été arrêtée à 1 m. qui donne avec la hauteur de 1 m. 40 une bonne proportion. Cette largeur très courante a en outre l'avantage de ne pas donner aux deux vantaux de la fenêtre un trop grand développement. Il ne faut pas perdre de vue qu'avec des murs d'épaisseur réduite, les embrasures n'existent presque plus et que les dimensions des chambres diminuent en proportion du coût des constructions. Une saillie trop forte des vantaux à l'intérieur serait gênante.

La largeur de 0 m. 90 proposée par la Fédération romande des Maîtres menuisiers, a été considérée, avec raison, comme