Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 49 (1923)
Heft: 5

Artikel: De la construction de galeries sous pression intérieure
Autor: Maillart, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-38208

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: 17.08.2025

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

49e année 3 mars 1923 N° 5

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

SOMMAIRE : *De la construction de galeries sous pression intérieure*, par R. Maillart, ingénieur (suite et fin). — *Calcul des barrages arqués.* — *Concours d'idées pour l'établissement d'un plan d'aménagement de quartier entre Lancy et Onex (Genève)* suite et fin. — Nécrologie : *David de Rham.* — Bibliographie. — Carnet des concours. — *Service de placement.*

De la construction de galeries sous pression intérieure

par R. MAILLART, ingénieur.

(*Suite et fin*) [1]

Quelle *limite de fatigue* de l'acier peut-on admettre pour être assuré que l'armature remplira son rôle ? On estime chez nous qu'un taux de travail de 1,2 t/cm² répond à toutes les exigences de la construction ordinaire, quand il s'agit de charges statiques. Le coefficient de sécurité à la rupture ressort alors à trois environ. Or, dans le cas qui nous occupe ce n'est pas la rupture proprement dite du revêtement que nous craignons, mais l'apparition de fissures de largeur appréciable. Celles-ci se produiront dès que les tensions dans l'acier auront atteint la limite d'élasticité qui ne dépasse guère 2 t/cm². C'est pour cette raison que beaucoup de constructeurs appliquent un taux de travail de 0,7 à 1,0 t/cm² aux ouvrages où intervient l'étanchéité, afin de conserver un coefficient de sécurité de trois à deux. Nous pensons qu'en ce qui concerne les galeries on pourra se contenter d'une sécurité moindre et admettre le taux de 1,2 t/cm² à condition pourtant de ne pas faire intervenir dans le calcul la pression extérieure comme facteur favorable. Nous ne croyons pas qu'il soit prudent d'aller au delà. Certes, en dépassant ce chiffre, on obtiendra souvent encore de bons résultats, tout comme on le constate dans la construction courante où, lors d'essais de charge, on dépasse sensiblement le taux de 1,2 t/cm², sans cependant s'en départir comme base des calculs. On n'a donc pas plus de raison de dépasser cette norme dans notre cas plutôt que dans l'autre, si l'on veut avoir un degré de sécurité normal contre des pertes d'eau.

Quant à la *disposition rationnelle* de l'armature on peut se laisser guider par des principes différents. Il en est un qui s'est imposé peu à peu d'une manière pour ainsi dire automatique dans la construction en béton armé ou non armé, et même dans la maçonnerie, depuis qu'on y applique les méthodes rigoureuses de calcul qu'on réservait autrefois aux constructions métalliques. Ce principe peut s'énoncer comme suit : La présence d'efforts de traction dans une section quelconque de béton ou de maçonnerie nécessite l'emploi d'une armature capable de les équilibrer. La stricte application de ce principe nous conduit à l'adoption d'une double rangée d'armatures dans le voisinage des deux arêtes de la section considérée, puisqu'une armature simple ne pourrait établir l'équilibre que dans le cas spécial où la résultante des efforts aurait un point d'application bien déterminé et coïncidant avec la position de cette armature. Mais le point d'application de la résultante étant impossible à déterminer, il faudra nécessairement deux systèmes d'armatures pour que l'équilibre puisse s'établir. La résultante S (fig. 19) agissant sur la section $a - a$ du revêtement, ne passera par le centre que tout à fait accidentellement. Sous l'action des pressions extérieures inégales, la courbe des tractions se déplacera et la résultante viendra s'appliquer par exemple soit en S' soit en S'', suivant que la pression du massif ambiant est inférieure à la moyenne ou au contraire qu'elle la dépasse. Si la résultante S'' s'écarte du noyau central, c'est-à-dire pour une excentricité de quelques centimètres déjà, la zone extérieure sera comprimée, tandis que tous les efforts de traction viendront se concentrer dans le voisinage de l'arête intérieure. Nous serons donc obligés d'y prévoir une armature capable de résister à une force sensiblement égale à S. L'excentricité augmentant encore, l'armature devrait être renforcée, mais, dans le cas d'un revêtement pas trop mince, nous croyons qu'il suffit d'admettre que la résultante reste à l'intérieur de la section. Nous pourrons donc nous borner à disposer une armature intérieure correspondant à la force S. Par le même raisonnement nous devrons prévoir une seconde armature de mêmes dimensions à l'extérieur. Nous voyons donc qu'un tel revêtement engloutira une grande quantité de fer. En outre son exécution sera très onéreuse.

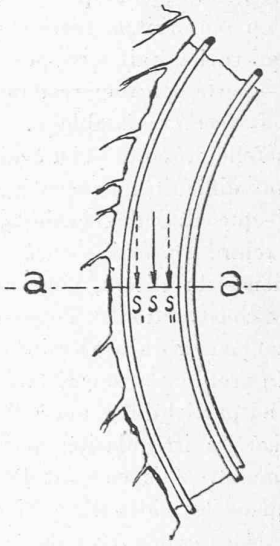


Fig. 19.

[1] Voir *Bulletin technique* du 17 février 1923, page 41.

C'est déjà un travail fort délicat que de bien bétonner à ciel ouvert un tuyau à double armature et l'on peut aisément se rendre compte des difficultés que doit présenter son exécution à l'intérieur d'une galerie où le bétonnage ne peut se faire que par le pourtour intérieur et où l'on est gêné par l'obscurité et l'exiguïté des lieux. L'introduction du béton entre les armatures est d'autant plus difficile que les armatures sont plus rapprochées. Or nous avons démontré, dans la note précédente, que si l'armature doit donner son maximum de rendement pour empêcher la formation de fissures ou pour réduire éventuellement leur débit, il importe de ne pas espacer les barres de plus de 6 cm. Si en outre, nous voulons appliquer directement l'enveloppe sur la roche, il sera particulièrement difficile de bien remplir tous les vides dus aux irrégularités de l'abatage, à cause du double grillage formé par l'armature. S'il y a des boisages, nous ne voyons pas du tout comment on pourrait procéder. Pour tourner ces difficultés, l'exécution d'un premier revêtement, régularisant la surface et remplaçant les boisages, s'impose. Mais cela augmente encore la dépense déjà considérable, de sorte qu'un tel revêtement ressortira à un prix qui pourrait influencer fâcheusement la rentabilité. Lors même que, à l'encontre de notre raisonnement l'on réduirait la section des armatures de moitié, — ce qui reviendrait à supposer des excentricités négligeables, — cette solution restera très coûteuse, tout en n'étant pas recommandable vu le degré insuffisant de sécurité qu'elle présente et eu égard aux risques de malfaçons dus aux difficultés d'exécution. Malgré cela, cette disposition, — que ces seules considérations pratiques semblent devoir exclure *a priori*, — a été proposée, à la suite de l'expérience du Ritom, pour nos grandes usines actuellement en construction et à construire, et a été appliquée sur une longueur réduite à l'usine d'Amsteg. Dans certaines parties du profil on a tourné la difficulté du bétonnage par l'emploi partiel du canon à ciment et dans d'autres on a corrigé les irrégularités par des injections de mortier de ciment. Mais ce sont là des procédés coûteux surtout quand les vides à combler sont considérables.

Nous avons donc de bonnes raisons de nous demander si l'application dudit principe s'impose vraiment ou s'il n'y a pas lieu d'en revenir au principe qui autrefois était d'application générale, et qui peut être considéré comme l'expression d'une pratique séculaire : *Les efforts de traction ne mettent pas en danger la stabilité d'un ouvrage du moment que cette stabilité reste assurée en négligeant la résistance du matériau à la traction.* Ainsi donc, la seule présence d'efforts de traction dans une section ne sera pas une raison suffisante pour y imposer des armatures ; celles-ci ne deviendraient nécessaires qu'au cas où la stabilité de l'ouvrage serait menacée lorsque les efforts de traction auraient provoqué la rupture. Quand dans la section d'un mur de soutènement ou d'un pilier, par exemple, la ligne des pressions passait en dehors du noyau central, on ne se souciait guère, il y a vingt ans encore, des efforts de traction qui devaient en résulter ; on se contentait simplement de calculer les efforts de compression, en admettant que le matériau ne pouvait supporter aucun effort d'extension. On peut se demander pourquoi cette règle a été si souvent abandonnée, bien que son application eût toujours donné toute satisfaction, pour en venir au principe énoncé en premier lieu et que ne justifie pas l'expérience. Car, en examinant de près, par le calcul, des ouvrages en maçonnerie anciens ou récents, on y constate presque toujours la présence d'efforts de traction très élevés, — surtout en tenant compte des effets de la température, — sans que ces constructions aient donné lieu à des déboires. L'application servile du premier principe énoncé nous amènerait donc à rejeter des constructions qui ont fait leur preuve et à rendre la construction en maçonnerie presque impos-

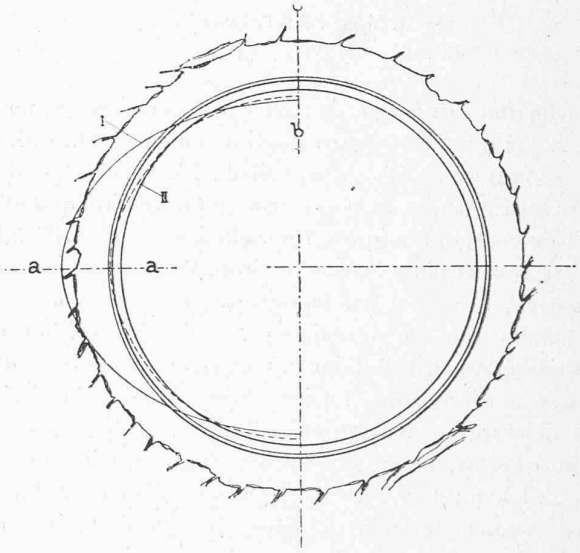


Fig. 20.

sible, sauf à recourir à l'armature ou à d'autres expédients, tels que charnières et joints de dilatation multiples.

Il est donc préférable de suivre le principe énoncé en second lieu, autrement dit de ne pas essayer de maintenir, par des armatures, la distribution des tensions trouvée en supposant le béton non fissuré, mais de se borner à examiner l'état de choses résultant de la fissuration du béton, après avoir choisi une section d'armatures convenable. Nous adopterons donc un treillis d'armatures unique que nous placerons à une distance convenable de l'intrados du revêtement (fig. 20). Examinons maintenant les conditions statiques de ce revêtement en partant de la ligne des tensions *I* très excentrique. Cette forme présuppose une réaction de la roche bien plus forte dans le voisinage de la section *b — b*, qu'en *a — a*. Que le béton vienne à se fissurer sous les efforts de traction considérables en *a — a*, il en résultera nécessairement que la ligne des tensions passera par l'armature. Cette fissuration et le déplacement de la ligne des tensions impliqueront en *a — a* un léger mouvement centrifuge, suiv

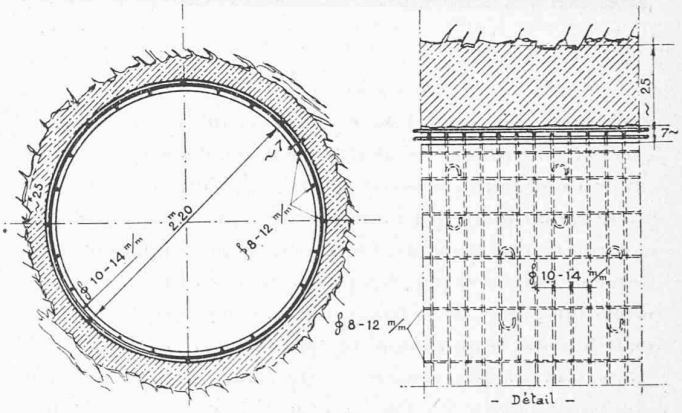
d'un surcroît de réaction du massif environnant, de sorte que l'équilibre sera rétabli. Ce léger aplatissement de l'enveloppe pourra entraîner une certaine réduction de la réaction en *b* — *b* et, en tout cas, la différence des réactions dans ces deux sections en sera diminuée, la ligne des tensions affectant alors la forme *II* plus arrondie. Mais la compensation des réactions sera souvent plus complète encore et la ligne des tensions épousera plus parfaitement la forme de l'armature. Nous voyons donc qu'il est improbable que l'armature soit éprouvée outre mesure, et il est certain que ce revêtement donnera de meilleurs résultats que s'il était pourvu, à l'extérieur, d'une seconde armature de même section ; car celle-ci, en entravant le mouvement en *a* — *a*, s'opposera à une compensation des réactions et maintiendra la forte excentricité de la résultante en *b* — *b*.

A fortiori, le revêtement à armature unique, concentrée près de l'intrados, sera certainement de beaucoup supérieur au revêtement à double armature, où chaque file de barres ne peut équilibrer avec le même degré de sécurité, que la moitié de la traction totale.

Renonçant ainsi d'emblée à une participation de la zone extérieure du revêtement aux efforts tangentiels de traction, on pourra, pour son exécution, se contenter d'un béton à dosage moyen ou de maçonnerie ordinaire. Par contre, la zone intérieure, enrobant les armatures, exigera un dosage riche et une exécution très soignée, car elle doit préserver les armatures de la rouille et assurer l'étanchéité. Ces considérations d'ordre théorique concordent à merveille avec les besoins impérieux de la pratique, consistant dans l'établissement d'une première enveloppe facilement exécutable, — sans armatures et de qualité moyenne, — suivi de l'application aisée d'un revêtement étanche réduit à sa plus grande simplicité. Notre premier revêtement n'aura donc qu'à résister aux efforts extérieurs, c'est-à-dire à équilibrer les poussées actives, en suppléant aux boisages. Cependant, il y aura intérêt à ce que cette enveloppe s'adapte bien à la roche, non seulement pour mieux résister aux pressions actives, mais aussi afin d'opposer une résistance passive plus uniforme au revêtement intérieur quand celui-ci se dilatera sous la pression de l'eau. On aura dans ce but recours à des injections de ciment à défaut d'un mode de bétonnage assurant l'absence de vides.

Dans notre note antérieure nous avons fait ressortir l'utilité d'une armature très serrée qui, noyée dans une couche de mortier d'excellente qualité, assurera l'étanchéité du revêtement. On choisira à cet effet, de préférence, un ciment spécial de grande résistance. L'application du mortier au canon à ciment s'impose, car elle réalise un enrobement parfait des armatures, une grande imperméabilité et une résistance à la traction qui retardera la formation des fissures.

L'application du mortier par projection semble supprimer presque entièrement les porosités qui subsistent, malgré tout, dans les meilleurs bétons coulés ou damés et dans les enduits les plus riches en ciment, appliqués à la main. Car on ne saurait s'expliquer autrement les résultats surprenants de nos essais faits au moyen des appareils de la Commission de colmatage, sur des éprouvettes fabriquées au canon à ciment. Ces éprouvettes ont été confectionnées avec le ciment spécial *Holderbank*, par l'entreprise Simonett et Cie, à l'occasion du revêtement de la galerie des *Bündner Kraftwerke*. La pression maximum que l'installation permettait d'atteindre était de 15 atmosphères et à cette pression l'étanchéité des éprouvettes a été parfaite dès le début. C'est un témoignage éclatant aussi bien de l'excellence du ciment employé que de la valeur du procédé et de la qualité de l'exécution elle-même, exécution qui exige une organisation bien comprise et l'emploi d'ouvriers qualifiés. Nous pouvons entrevoir la possibilité d'atteindre un degré d'étanchéité presque absolu sous des pressions encore notablement supérieures, sans avoir besoin de compter sur le colmatage automatique. Cette étanchéité initiale complète a l'avantage d'écarter tout danger de lixiviation du mortier, fatalement suivie de l'oxydation de l'armature.



Coupe transversale Coupe en long

Fig. 21. — Armature de la galerie de Klosters-Kublis.

L'armature longitudinale peut être très faible pour les raisons antérieurement énoncées, mais il ne serait pas avantageux de la supprimer complètement, parce qu'elle sert à fixer l'armature circulaire et à assurer un intervalle régulier entre elle et l'enveloppe extérieure.

Les fig. 21 à 23 montrent le revêtement exécuté dans la galerie de l'usine de Klosters-Küblis des « Bündner Kraftwerke » suivant les propositions de l'auteur de cette note. Un revêtement tout à fait semblable vient d'être adopté aussi pour la galerie inférieure des usines du *Wäggital*, galerie dont le diamètre intérieur atteint 3,60 m. Remarquons que dans la première de ces galeries, la direction des travaux crut devoir réduire quelque peu l'armature dans certaines parties, en portant le taux du travail à 1,5 t/cm². Après les essais, il n'a été constaté sur un parcours de plusieurs kilomètres de galerie armée et malgré la qualité très médiocre de la roche, qu'une seule fissure de largeur infime. La fig. 23 montre une entaille faite dans le revêtement terminé et lissé afin de se convaincre de sa compacité et de l'enrobement parfait des

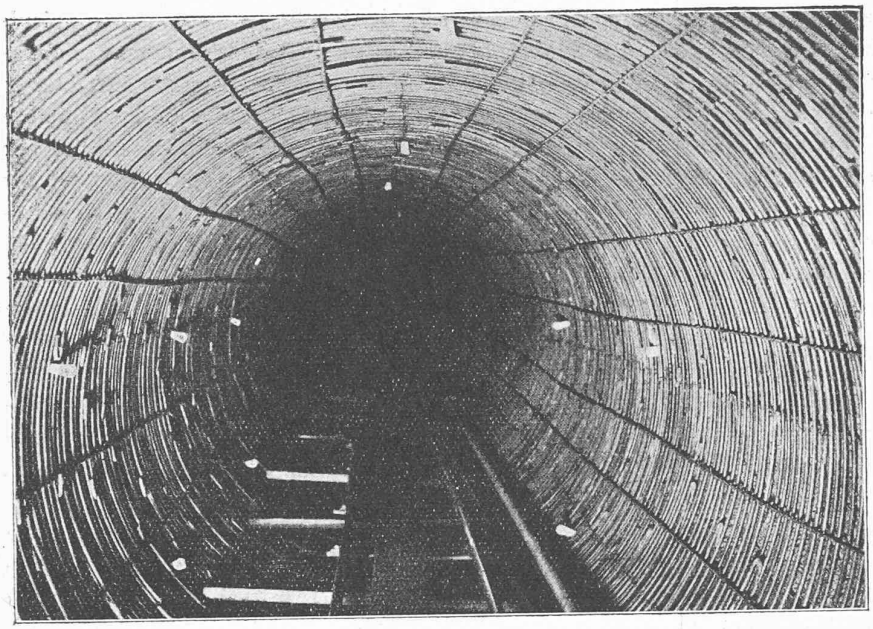


Fig. 22. — Armature de la galerie de Klosters-Kublis.

armatures. Les bouchons en bois visibles sur la fig. 22 servent au prolongement des trous ménagés dans l'enveloppe extérieure en béton pour les injections de ciment.

On remarquera que l'ancrage des barres d'armature est assuré par des crochets. On sait que, pour pouvoir considérer un tel ancrage comme parfait, il faut qu'il soit noyé dans une masse de béton d'une certaine épaisseur et que ce béton soit comprimé plutôt que tendu. Ces deux conditions n'étant pas réalisées dans notre cas, cet état de choses demande à être examiné attentivement. Rappelons d'abord qu'une armature très serrée atténue, dans une grande mesure, la faiblesse présumée des joints, en permettant l'emploi de barres de diamètre plus faible et en réduisant la largeur de la zone affaiblie du béton. Il est clair qu'on cherchera à alterner les joints en évitant, toutefois, qu'ils forment une ligne hélicoïdale. D'ailleurs, l'adhésion venant à cesser au moment où la limite d'élasticité est dépassée, — cette limite, et non la résistance à la rupture, étant le critérium de l'étanchéité du revêtement, — on voit que l'ancrage des extrémités ne joue pas le même rôle décisif que dans la construction ordinaire. C'est peut-être pour ces raisons, qu'à l'usine d'Amsteg, on paraît avoir supprimé les crochets, ce qui simplifie beaucoup le travail et permet de réduire au minimum l'épaisseur de la couche de mortier qui autrement est imposée par la place que tiennent les crochets. Il nous semble, qu'avec cette suppression pure et simple, on soit allé un peu vite en besogne et qu'il serait tout indiqué de faire des essais comparatifs avec des tuyaux en gunite libres et pourvus de différents systèmes de joints d'armatures, avant d'affirmer l'inutilité des crochets pour la sécurité de l'ouvrage. En tout cas, il serait aléatoire de se baser sur des épreuves ordinaires d'adhérence, — qui sans aucun doute donneront d'excellents résultats pour le gunite, — parce que dans de tels essais, non seulement la gaine de mortier est comprimée au lieu d'être tendue, mais aussi parce que les coefficients trouvés pour des longueurs d'encastrement réduites ne sont plus valables pour des longueurs plus grandes, vu que l'effort d'adhérence décroît rapidement en profondeur.

Quand il s'agit de galeries de grand diamètre et soumises à de fortes pressions d'eau, l'armature exige des barres de gros calibre malgré une réduction à l'extrême de leur écartement. Les crochets deviennent alors tellement encombrants que l'on se trouve en face d'un inconvénient sérieux. Pour y obvier et pour éliminer la question de l'adhérence, on peut avoir recours à des cercles soudés. Mais la soudure ne pouvant que rarement se faire à l'atelier, vu les grandes difficultés d'introduction et de transport de grandes pièces à l'intérieur des galeries, cette opération devra se faire nécessairement dans la galerie même. Il y aura quelques difficultés à surmonter surtout pour éviter les malfaçons toujours à craindre dans cette sorte d'atelier improvisé et exigu. Il sera donc intéressant de connaître les résultats pratiques obtenus par l'application de ce système,

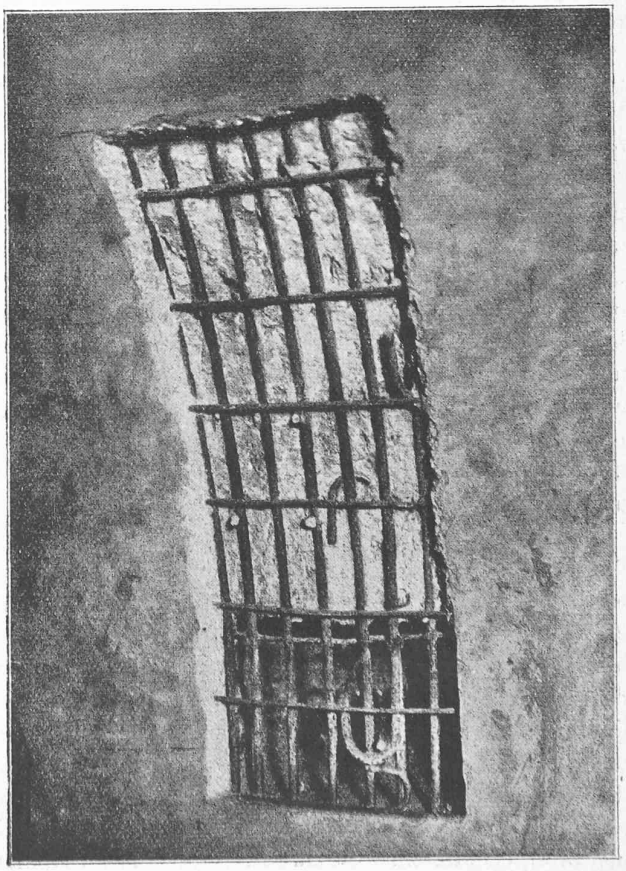


Fig. 23. — Entaille dans la couche de gunite armé de la galerie de Klosters-Kublis.

qui vient d'être adopté pour la galerie supérieure des usines du « Wäggital ».

Nous croyons qu'il est possible d'atteindre un degré égal de sécurité en employant un autre dispositif d'armature qui, tout en évitant les défauts inhérents aux crochets, présente, au contraire, des avantages appréciables. Ce dispositif breveté consiste dans l'emploi de fers plats au lieu de fers ronds. Cela peut étonner, à première vue, attendu que l'emploi de fers plats dans la construction en béton armé est considéré, à juste titre d'ailleurs, comme une hérésie. En effet, l'enrobement de barres à section plate, comme à section profilée, est mal assuré par le bétonnage. Mais cet inconvénient disparaît entièrement dans le système proposé (fig. 24), grâce à l'emploi du canon à ciment. Aucun vide ne pourra subsister autour des armatures, si le jet du canon est dirigé obliquement, c'est-à-dire dans la direction *R*. Ainsi tombent les objections de principe que pourrait soulever l'emploi de fers plats. Quant aux crochets, ils seront alors très aplatis, en raison de la fabile épaisseur des barres, et l'on obtiendra un joint excellent en les emboîtant l'un dans l'autre et en ne ménageant entre eux que juste l'espace nécessaire au remplissage de mortier. L'ensemble de faible épaisseur des deux crochets emboîtés et emprisonnés par les armatures voisines ne pourra pas se disjoindre sous l'effet de la traction. Il est évident que cette disposition garantit une plus grande étanchéité en cas de fissuration. En effet, la fissure sera d'autant plus étroite que l'intervalle entre deux armatures voisines est plus petit. Quand il s'agit de fers ronds, la plus grande résistance au passage de l'eau se concentre en un seul point, c'est-à-dire au droit de la barre d'armature. Dans le cas de fers plats, cette résistance est fournie par la tranche entière de béton comprise dans l'intervalle constant de deux armatures successives.

Quant à l'exécution, elle sera encore plus simple qu'avec des fers ronds. Ceux-ci, vu leur rigidité dès qu'il s'agit de fortes sections, ne permettront plus guère l'introcdution et le transport dans la galerie de pièces courbées plus longues que la demi-circonférence. Nos éléments d'armature, par contre, pourront être plus longs, tout en étant moins encombrants, puisqu'ils seront livrés par l'usine avec leurs crochets et courbés déjà suivant un rayon *R* beaucoup plus grand que le rayon *r* du profil de la galerie. Nous pourrons donc facilement transporter dans la galerie des barres d'une longueur supérieure à la demi-circonférence et sans que leur flèche dépasse le rayon *r*. Une fois en place, les barres plates, grâce à leur élasticité, se plieront d'elles-mêmes dans le sens de leur épaisseur en s'adaptant sans effort à la forme du profil. Les éléments emboîtés bout à bout formeront de la sorte une surface hélicoïdale.

Si ce mode de revêtement exige une plus forte épaisseur de gunite que l'autre, les pertes inévitables et sensibles de mortier, dues à l'emploi du canon, seront par contre fortement réduites, parce que le mortier se maintiendra mieux dans les intervalles de cette armature que dans les mailles d'un treillis. Ce renforcement de la section de béton n'entraîne donc pas, en réalité, une majoration du prix de revient.

Nous avons vu que le mortier de ciment est d'une imperméabilité remarquable, à condition d'employer un ciment d'excellente qualité et un procédé spécial. Si ces éléments font défaut pour une raison ou une autre, ou si la pression est particulièrement forte, on pourra avoir recours à d'autres moyens pour assurer l'étanchéité, soit en traitant le mortier de certaine façon, soit en appliquant une couche supplémentaire d'une matière imperméable.

En ajoutant du savon au mortier, on constate des effets semblables au calfatage automatique dont nous avons parlé. Le savon se combine avec la chaux, en formant des particules insolubles qui sont à même de remplir les pores.

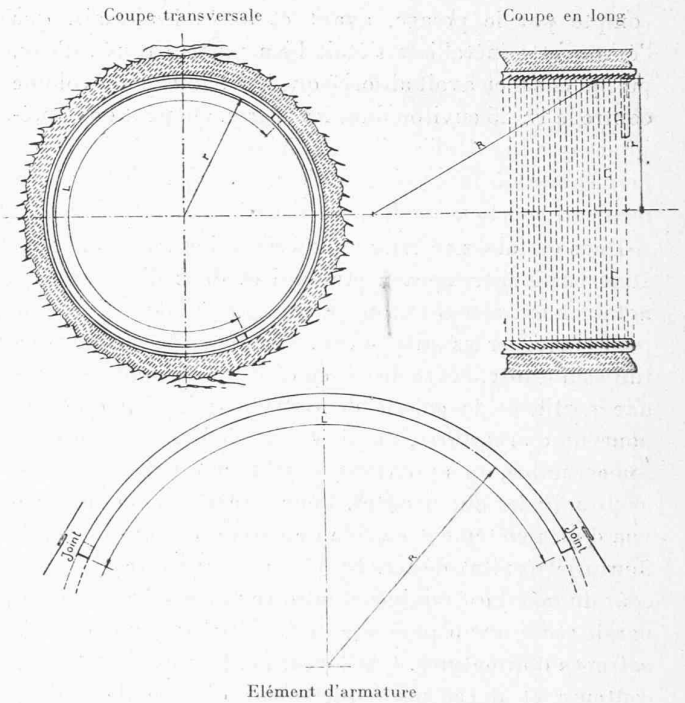


Fig. 24. — Système d'armature proposé pour fortes pressions. Echelle 1 : 90.

En badigeonnant la surface du mortier, après sa prise, avec une solution à base de savon, l'effet sera le même, bien que plus superficiel. On peut aussi procéder par addition au mortier d'émulsions de bitume ou de paraffine. Dans ce cas il ne semble pas se produire de réaction chimique, mais un simple remplissage des pores par ces ingrédients. Tous ces procédés n'ont une valeur que pour autant que des fissures ouvertes ne sont pas à craindre ; mais ils ne sauraient en aucune façon suppléer à l'armature. Toutefois, lorsqu'on y aura recours comme moyens auxiliaires, il faudra bien s'assurer qu'ils ne compromettent pas la préservation des armatures de la rouille.

Un enduit supplémentaire en matière parfaitement imperméable donnera de bons résultats, pourvu qu'il adhère très bien au mortier. Cette condition exclut malheureusement les enduits ductiles à base d'asphalte, qui seraient susceptibles de boucher non seulement les pores,

mais aussi toutes les fissures. Quant aux produits plus parfaitement adhérents, ils se fissureront à leur tour, quand l'ouverture des fissures du revêtement deviendra appréciable. L'application de ces enduits ne dispense donc pas non plus de l'emploi d'armatures.

A côté de ces enduits d'application courante, nous mentionnerons ici le procédé *Schoop* de métallisation, qui semble excellent au point de vue de l'adhérence et de l'imperméabilité. A l'occasion des essais déjà cités sur des éprouvettes en gunite, la surface de l'une d'elles avait été recouverte d'une fine couche d'étain de 0,15 à 0,2 mm. d'épaisseur, au moyen de ce procédé. S'il n'a pas été possible, vu le manque de pression, de constater une différence apparente dans l'étanchéité, — celle-ci ayant été parfaite dans les deux cas, — on a pu cependant se rendre compte par le pesage, avant et après les essais, que l'éprouvette métallisée s'était bien moins saturée d'eau, puisqu'elle n'en avait absorbé que le 1 : 150 de son volume contre le 1 : 25 environ dans les autres. On peut donc présumer que la métallisation aurait permis de réaliser l'imperméabilité à une pression d'eau dépassant celle où les meilleurs mortiers deviennent perméables.

Dans certaines galeries où la fissuration du revêtement était particulièrement à craindre et dans d'autres déjà notablement atteintes, on a eu recours à l'emploi de tôle pour empêcher les fuites d'eau. Si la tôle possède une ductilité suffisante, l'étanchéité, en effet, sera complète. Dans une partie de la galerie de Catskill qui, bien que non pourvue d'armatures, paraît s'être bien comportée dans son ensemble, on a pourtant constaté une série de fissures longitudinales importantes. Pour y remédier on l'a pourvue d'un revêtement en tôle de cuivre, qui semble avoir fourni le résultat désiré. La tôle pouvant être mince, le coût du métal est minime et ainsi ce mode d'étanchement paraît séduisant à première vue, puisqu'il n'exige pas la présence d'armatures. Cependant l'exécution en est assez coûteuse et il est particulièrement difficile de réaliser l'adaptation parfaite de la tôle au revêtement, adaptation qui semble nécessaire pour éviter les déchirures. En outre, la moindre surpression d'eau extérieure menace de défoncer le mince tuyau de tôle. Afin d'éviter cet accident il faut ou bien éliminer toute possibilité de surpression extérieure, ce qui est souvent très difficile, ou bien prévoir à l'intérieur un second revêtement en béton capable de leur résister. En raison de ces difficultés, ce mode d'étanchement ne semble pas être avantageux en général et son emploi se bornera à des cas spéciaux, comme par exemple, celui de pressions si hautes que l'emploi d'une armature résistant à elle seule aux pressions intérieures, deviendrait absurde à cause de son poids exagéré. Dans un cas pareil il faudra s'en remettre entièrement à la contre-pression de la roche, c'est-à-dire admettre, à priori, la rupture du revêtement en béton, dont les segments suivront entièrement la déformation de la roche, tout en offrant encore une base suffisante au revêtement en tôle, pour lequel on emploiera un métal très ductile, étant donné que les tensions y dépasseront de beaucoup sa limite d'élasticité. On pourrait aussi rendre le revêtement de tôle plus extensible au moyen de plis ou ondulations à disposer en quelques points du pourtour, tout en y affaiblissant artificiellement le revêtement extérieur de telle façon que les fissures se produiront plutôt en ces mêmes points qu'autre part.

Errata, p. 256 (N° du 28 octobre 1922) : lire « vol. 68, p. 36 » au lieu de « vol. 67, p. 36 » ; p. 258 (N° du 28 octobre 1922) : sous la fig. en haut lire fig. 1 et non fig. 2 ; p. 273 (N° du 11 novembre 1922) : la fig. 7 doit être tournée de 90° ; p. 292 (N° du 25 novembre 1922) : première ligne, lire (vol. 53, N° 6) au lieu de (vol. 53, N° 5).

Postscriptum. — M. le Dr *E. Wiesmann* nous fait remarquer que notre conception de l'état des pressions (fig. 1)[1] ne diffère pas essentiellement de la sienne exprimée dans la fig. 6 de son article paru dans la *Schweiz. Bauzeitung*, vol. 53, p. 163. Cette figure montre que la pression tangentielle serait nulle au pourtour de la galerie, mais augmenterait très rapidement en dépassant le double de la valeur de $p\ \gamma$ à peu de distance, pour diminuer ensuite tout aussi rapidement jusqu'à la valeur constante $p\ \gamma$. Notre fig. 1 contient, comme « supposition erronée », une courbe correspondant à ce point de vue, à cette différence près, que l'ordonnée de cette courbe n'est pas nulle au pourtour du profil. En outre nous ne contestons pas que la courbe par nous admise comme probable ressemble à la « supposition erronée » en question et que les deux courbes deviendraient presque identiques en choisissant convenablement les échelles des abscisses et des ordonnées.

Cependant la différence de vues reste essentielle. Pour M. Wiesmann, ces variations de pression sont considérables et *nécessaires* pour expliquer la suffisance de revêtement relativement faibles. De notre côté, par contre, nous ne mentionnons ces variations que pour les juger *négligeables* dans la suite.

Ainsi M. Wiesmann, comme tous les auteurs avant lui, s'est basé sur l'hypothèse d'un changement profond dans l'état des pressions tangentielles autour de la galerie percée. Si nous avons osé prendre la parole dans ce débat, c'est que nous avons cru reconnaître que l'explication tant recherchée pouvait être trouvée indépendamment de ces diverses hypothèses, qui toutes, du reste, semblent *insoutenables* à première vue. Ainsi donc, que la pression tangentielle soit constante (comme nous l'avons admis pour simplifier), ou qu'elle soit plus petite ou même plus forte dans le voisinage de la galerie, peu importe, notre explication des faits englobant toutes ces suppositions plus ou moins probables.

[1] *Bulletin technique*, du 28 octobre 1922, page 258.