

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 47 (1921)
Heft: 6

Artikel: Rapport des experts Rothpletz, Rohn et Buchi sur la formation des fissures dans la galerie sous pression de l'usine de Ritom des CFF (suite)
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-36581>

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: 26.01.2026

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

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

SOMMAIRE : Rapport des experts Rothpletz, Rohn et Buchi sur la formation des fissures dans la galerie sous pression de l'usine de Ritom des CFF (suite). — Pont-roulant électrique spécial de 5 tonnes et 25 mètres de portée, pour le transport de profilés au moyen d'électro-aimants de levage. — DIVERS : Société suisse pour le transport et la distribution d'électricité. — Fédération des Sociétés d'ingénieurs américains. — SOCIÉTÉS : Société genevoise des Ingénieurs et des Architectes. — Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. — BIBLIOGRAPHIE. — Calendrier des Concours d'architecture.

Rapport

des experts Rothpletz, Rohn et Buchi

sur la formation des fissures dans la galerie sous pression de l'usine de Ritom des CFF

(Suite.)¹

B. Historique et exécution des travaux.

1^o Généralités.

Le projet de construction de l'usine de Ritom a été établi au cours des années 1911 à 1914 par le service de l'électrification des chemins de fer fédéraux et a, comme nous l'avons dit plus haut, fait l'objet d'expertises géologiques et techniques.

En 1915, la S. A. Motor demanda aux chemins de fer fédéraux l'autorisation d'accumuler provisoirement dans la mesure du possible les eaux du lac et d'y recourir en hiver pour augmenter un peu la quantité d'eau du Tessin à l'usine de Biaschina. Cette demande fut agréée. En 1916, la S. A. Motor dont le besoin d'énergie avait augmenté fit une nouvelle démarche auprès des chemins de fer fédéraux. Une convention fut alors conclue entre ces derniers et la société en question pour procéder immédiatement à la vidange du lac, c'est-à-dire pour effectuer la prise d'eau et le barrage. Les chemins de fer fédéraux et la S. A. Motor supportaient par moitié les frais occasionnés par ces travaux. La prise d'eau s'exécuta au cours de l'hiver 1916-1917 et les principaux travaux du barrage eurent lieu en 1917 et 1918. La direction proprement dite des travaux de construction du barrage fut exercée par la S. A. Motor sous le contrôle des chemins de fer fédéraux.

Les chemins de fer fédéraux se décidèrent en 1916 à construire l'usine de Ritom elle-même. Cette année-là, une demande de crédit fut soumise au Conseil d'administration des chemins de fer fédéraux. Il s'agissait d'établir tout d'abord le funiculaire, la correction du Tessin, la voie industrielle ainsi que le barrage et ensuite seulement la galerie et ses dépendances. En ce qui concerne la galerie, on avait l'intention de n'exécuter les principaux ouvrages en béton qu'après l'achèvement du funiculaire afin de pouvoir transporter ainsi à meilleur compte les matériaux de construction jusqu'à cette grande altitude. La conduite

forcée et le bâtiment des machines ne rentrent pas dans le cadre de notre enquête, ces questions ne seront par conséquent point traitées dans notre rapport.

En mars 1918, les travaux de la galerie, y compris le château d'eau et les dépendances furent adjugés aux entrepreneurs Baumann et Stiefenhofer. D'après le contrat de construction, ces travaux auraient dû être achevés jusqu'au 1^{er} septembre 1919, mais en réalité il se produisit de sensibles retards. La route de service entre le château d'eau et Piora, ainsi que la prise d'eau dont cette même maison avait été précédemment chargée par contrats spéciaux ne furent terminées qu'en 1918 et, pour partie, en 1919. Le funiculaire, depuis le fond de la vallée jusqu'au château d'eau, ne fut achevé, contrairement au programme primitif de construction, qu'au printemps de 1919, c'est-à-dire avec un retard considérable.

L'entreprise a commencé les travaux de la galerie en juin 1918 et percé la section Valle-château d'eau en juin 1919, la section Valle-Piora en août 1919. Le bétonnage de toute la galerie a été exécuté de juin à décembre 1919, celui de la galerie de raccordement entre le château d'eau et la chambre d'appareillage a été terminé en février 1920. Pendant les mois de septembre 1919 à mars 1920, on a appliqué l'enduit et fait les injections de ciment. Le 20 avril 1920 eut lieu la réception des travaux de la galerie, du château d'eau, et du raccordement jusques et y compris la chambre d'appareillage, sans réserves notables.

La direction des travaux se décida alors à mettre la galerie sous pression, à titre d'essai. Après une dernière visite, le 4 mai, on commença la mise sous pression le 5 mai 1920, jusqu'à la cote 1805,50 correspondant à une pression effective de 1,5 m. au-dessus du sommet de la voûte, à l'extrémité supérieure de la galerie et de 7,5 m. à l'extrémité inférieure. Pendant la nuit, le niveau de l'eau baissa de 60 centimètres, ce qui représente une perte d'eau de 6 litres à peu près par seconde. La galerie fut vidée le 6 mai, puis visitée. On constata plusieurs petites fissures se présentant par deux et se trouvant pour la plupart entre le pied-droit et le radier à certains endroits, entre l'hectomètre 1,4 et l'hectomètre 6,4, ainsi qu'une légère fissure dans la paroi du château d'eau, à proximité de la galerie de raccordement.

Le 7 mai 1920, sans avoir apporté de changements à la galerie, on y introduisit de nouveau de l'eau et, en une

¹ Voir Bulletin technique du 5 mars 1921, page 49.

rieure, de 41 m. La fuite d'eau dans la galerie, le château d'eau et ses dépendances atteignit alors 326 litres à la seconde. La visite à laquelle on procéda ensuite fit constater l'augmentation du nombre des fissures dans la galerie.

Sur ces entrefaites, on procéda à une *troisième injection de ciment* dans le pied-droit et la voûte, opération qui nécessita l'emploi de 345 sacs de ciment Portland et de

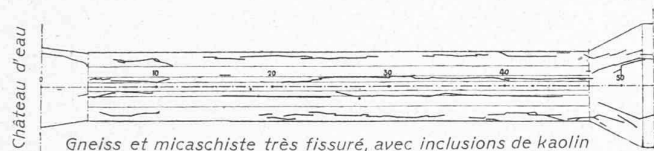


Fig. 2. — Fissures de la galerie de raccordement, après le sixième remplissage (29-VI-20). — 1 : 600.

200 sacs de sable. Une grande partie de ce mortier put être injecté à proximité de la fenêtre de Valle. En même temps qu'on exécutait ce travail, on enlevait quelques clapets de retenue, et fermait les tuyaux avec des bouchons en bois.

Les 28 et 29 juin, on procéda à un nouveau remplissage de la galerie jusqu'à la cote 1838,50. Cette cote correspond assez exactement au niveau le plus élevé du lac de Ritom. Par suite de l'injection de ciment, la déperdition d'eau avait un peu diminué, mais elle était encore de 262 litres par seconde. On ne constata pas d'écoulement d'eau hors de la montagne ; il est vrai que les sources avoisinantes ne furent pas mesurées. On laissa donc la galerie sous cette pression et commença, à titre d'essai, à faire fournir du courant par l'usine. 55 heures après le remplissage, le 1^{er} juillet 1920, l'eau se mit à jaillir de la côte, au-dessus d'Atlanca. L'endroit en question est à 200 m. environ du château d'eau et à une trentaine de mètres plus bas que la route de service château d'eau Piora. L'eau sortant du rocher qui n'est que légèrement recouvert d'éboulis occasionna le glissement de ce terrain, ainsi que d'une partie des sapins qui s'y trouvaient. La galerie fut immédiatement fermée et visitée. Cette inspection fit constater une grande quantité de petites fissures dans la galerie principale, le château d'eau et la galerie de raccordement (fig. 2 et 3).

Rapport-annexe sur les essais de remplissage de la galerie des 19 et 22 août 1920.

Les experts ont délégué M. l'ingénieur Buchi et M. l'ingénieur Rothpletz aux essais de remplissage qui ont eu lieu les 19 et 22 août 1920, et leur ont inspiré le rapport suivant, adressé à la Direction générale des C. F. F.

Après le dernier remplissage de la galerie sous une pression d'eau allant jusqu'à 42 m., et en présence des détériorations subies par la maçonnerie du fait de cette pression, les organes des C. F. F. se rendirent immédiatement compte que la galerie et le château d'eau ne pouvaient plus être soumis à la pression maximum. Ils ordonnèrent

par conséquent l'installation d'un déversoir dans la galerie établissant le raccordement avec la galerie de prise ; à son extrémité supérieure, la galerie ne supporte plus, de cette manière que la pression de la hauteur de l'eau sur l'arête du déversoir, soit 1 m. à peu près, et dans le château d'eau qu'une pression de 7,5 m.

Cote du déversoir 1803,0 m.

Cote du fond du château d'eau . . . 1795,5 m.

Hauteur maximum de pression . . . 7,5 m.

A cela vient encore s'ajouter l'accumulation produite par les coups d'eau résultant de l'arrêt subit des machines (courts-circuits, etc.) accumulation qui, *d'après les organes des C. F. F.*, peut s'élever au maximum à 1,5 m. pour une exploitation telle qu'elle est prévue, si bien que, dans l'état actuel, la pression intérieure est de 9 m. ou 0,9 atm. dans le château d'eau et s'abaisse jusqu'à 1 m. ou 0,1 atm. à proximité du déversoir.

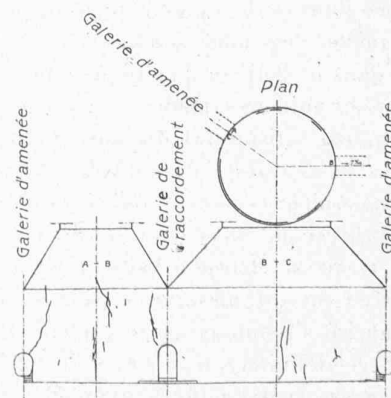
Jusqu'au 18 août 1920, la construction du déversoir et de la grille de décharge ainsi que les réparations de la galerie et du château d'eau étaient achevées. Le 18, on put donc commencer à remplir la galerie. (La conduite tubulaire, en revanche, ne put être remplie parce que les vannes principales auxquelles on avait découvert des défauts qui devaient être corrigés, n'avaient point encore été essayées, et parce que les vannes pour la marche à vide s'installaient à ce moment-là.)

Le 19, la galerie était remplie et l'on constata après avoir arrêté l'accès de l'eau un écoulement constant de 1, l. par seconde par-dessus le déversoir.

Dans le château d'eau, les pertes (par suite d'inétanchéité de la soupape d'étranglement et de l'eau employée pour le compresseur) s'élevaient à 1,0 l. par seconde.

Au total il s'écoulait de la galerie . . . 2,4 l. par seconde.

Avant le remplissage on avait mesuré qu'il pénétrait dans la galerie 3,2 l. par seconde, d'eau provenant des



Développement de la partie inférieure du château d'eau

Fig. 3. — Fissures du château d'eau, après le sixième remplissage (29-VI-20). — 1 : 600.

sources de la montagne. La déperdition serait donc de 0,8 l. par seconde ; elle ne saurait guère être attribuée à l'inétanchéité de la galerie. En effet, d'une part, la mesure de l'eau ne peut jamais se faire d'une manière absolument exacte et, d'autre part, il y a lieu d'admettre que les sources s'écoulant dans le tunnel sont refoulées par la pression de l'eau et ont ainsi un débit moindre ou même que, sous l'action de la pression, il s'échappe de l'eau de certains tubes. Le résultat obtenu peut en tout cas être considéré comme très satisfaisant.

Vendredi soir, la galerie fut vidée, puis elle fut inspectée pendant la nuit et la journée de samedi. Ces constatations donnèrent toute satisfaction, il n'y avait pas de nouvelles fissures et l'étanchéité des anciennes, qui avaient été aveu-
glées, est démontrée par les essais.

Les coups d'eau n'ont pu être donnés à l'aide des turbines pour les raisons indiquées plus haut, et parce que les appareils de déviation n'étaient pas encore installés. Pour gagner du temps, on a par conséquent muni le déversoir d'un poutrage destiné à le surélever de 1,5 m. et à augmenter de cette différence la pression de l'eau dans la galerie.

Samedi à midi, la galerie était de nouveau remplie.

Nouvelle cote du déversoir 1804,50 m.

Cote du radier du château d'eau . . . 1795,50

Pression maximum dans le château

d'eau 9 m.

Pression maximum au déversoir . . . 2,5 m.

Comme le poutrage n'était pas parfaitement étanche, on n'a pas pu déterminer la déperdition d'eau avec la même précision que lorsque le déversoir normal, c'est-à-dire maçonné, était seul en cause. Le calcul a établi que sur les 3,2 l. par seconde que les sources débitent dans le tunnel, on n'en retrouvait plus que 0,5. Autrement dit la perte constatée s'élevait à 2,7 l. par seconde. Etant données les erreurs de mesure qui ont pu se produire et la plus grande force de refoulement à laquelle les sources ont été soumises du fait que la pression était augmentée de 1,5 m., la perte qui vient d'être signalée ne nous paraît pas de nature à provoquer des inquiétudes. Et nous avons été confirmés dans cette opinion par l'inspection minutieuse à laquelle nous nous sommes livrés tant dans la galerie que dans le château d'eau après que l'eau eut été évacuée dans la nuit de samedi à dimanche. En effet, le résultat fut aussi satisfaisant que lors du premier essai, nous n'avons pas constaté de nouvelles fissures.

Les experts croient cependant qu'avant de mettre l'installation régulièrement en service, on devrait encore procéder à des essais de charge à l'aide des machines (arrêt subit, court-circuit) et mesurer aussi souvent que possible la quantité s'écoulant au trop-plein. Enfin, avant de commencer définitivement l'exploitation électrique, on devrait encore visiter minutieusement la galerie.

Les endroits où, lors de l'essai avec 42 m. de pression, l'eau jaillissait de la montagne (en amont de Valle) devaient, pour le moment, être visités chaque jour pour

qu'on pût se rendre compte, le cas échéant, des fuites, car pendant que l'usine est en service il est impossible d'effectuer des mesures au déversoir. Les experts estiment en effet qu'il se produira des déperditions d'eau dans le château d'eau, à la partie inférieure de la galerie où la pression est la plus forte et la roche la plus mauvaise, et ils pensent que cette eau apparaîtra tout d'abord aux endroits précités puisque c'est jusque-là qu'elle s'est déjà précédemment frayée un chemin dans l'intérieur de la montagne.

Les experts sont d'avis que, si ces conditions sont remplies, rien ne s'opposera plus à la mise en service de la galerie et du château d'eau, moyennant cependant — et ils font une réserve expresse à cet égard — que la galerie soit desservie par le déversoir (cote 1803). Ils ne peuvent se déclarer d'accord qu'on recoure à une pression plus forte, même à titre de simple essai. La galerie est rompue et demande à être traitée toujours comme un enfant malade sur lequel on ne peut se livrer à des expériences sans mettre sa vie en danger.

Les experts ne sauraient se prononcer sur la question du réglage, car on ne pourra s'en occuper qu'une fois l'usine en service.

Pour les experts :

Le Président, ROTHPLETZ.

2^e Matériaux de construction.

a. Ciment Portland.

Dans la galerie sous pression (galerie de prise, puits des vannes et chambre d'appareillage compris), on n'a fait usage que de ciment Portland de la fabrique de ciment Holderbank. Suivant cinq bulletins joints au dossier et délivrés par le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux, de septembre 1917 à avril 1918, ce ciment offre des chaleurs de prise variant entre 0,6 et 5,1 degrés centigrades. La prise commence au bout d'une heure quinze minutes à trois heures quarante-cinq, et la durée de prise est de 10 1/2 h. à 16 heures. La résistance du mortier normal à la compression varie entre 323 et 391 kg.cm² et la résistance à la traction entre 27 et 31 kg.cm². Le tout au bout de 7 jours. Ces résistances peuvent être considérées comme bonnes et répondant aux prescriptions. Le ciment Portland employé pour le béton même de la galerie ne fut plus essayé quoique cela eût été désirable. Néanmoins, le ciment fourni par la fabrique susdésignée a été généralement considéré comme bon et de nature toujours égale ; aussi est-il permis d'admettre qu'il a, en effet, été de bonne qualité, bien qu'on n'ait pas procédé à des essais en 1919.

D'après des expériences particulières faites par l'un des experts (l'ingénieur Rothpletz au Lœtschberg, à 1200 m. au-dessus du niveau de la mer), la chaleur de prise du ciment a peut-être été un peu faible dans le cas spécial et le durcissement réduit, du moins ralenti, étant donné que la température de la galerie n'était approximativement que de 5 degrés centigrades. Ces faits peuvent avoir

influencé légèrement dans un sens défavorable la résistance du béton.

La chaux hydraulique mélangée au ciment Portland a été employée pour le mortier du barrage du lac de Ritom. Elle a été fournie par la fabrique de chaux *Hurlimann*, à Brunnen. Cette chaux a fait l'objet de deux examens, le premier en août 1917 et le second en juin 1918, lesquels ont établi une durée de prise de 72 à 96 heures, une résistance du mortier normal à la compression de 41 à 33 kg. cm² et une résistance à la traction de 4 kg. cm², le tout au bout de 7 jours.

b. *Sable.*

Le sable utilisé pour tous les ouvrages dont il s'agit (prise d'eau, barrage, galerie, château d'eau et dépendances) provient des dépôts naturels qui se sont formés à l'embouchure des ruisseaux du lac de Ritom. Selon les dires concordants des organes des chemins de fer fédéraux et de l'entreprise, presque tout le sable nécessaire a été extrait du delta du ruisseau de Murinascia près de l'Alpe de Campo sur la rive Est du lac, et transporté par bateaux à Piora.

Vu la teneur en gypse de l'eau du lac, le sable fut analysé une première fois en août 1917, à la demande de la direction des travaux. On préleva deux échantillons, l'un à Campo et l'autre dans le delta du ruisseau de Ritom venant du lac de Ritom. D'après le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux, ce dernier échantillon renfermait « une grande quantité de gypse », aussi l'emploi de ce sable fut-il interdit. Le sable de Campo, seul utilisé par la suite, ne contenait, en revanche, d'après le bulletin établi par le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux le 2 juillet 1917, « qu'une faible quantité de gypse ». D'après un bulletin daté du 23 août 1917 : 1 % de gypse, en chiffre rond et d'après une analyse de la *S. A. Motor*, en date du 20 août 1917, « des traces de gypse seulement ». Une nouvelle analyse de ce sable, quant à sa teneur en gypse, fut, à la demande de la direction des travaux, opérée en mai 1919 par la fabrique de ciment Portland de *Holderbank* qui constata une teneur en gypse de 0,35 %. La direction des travaux avait, en 1917, fait avec ce sable des échantillons de mortier qui, d'après un certificat dressé par le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux le 23 août 1917, donnèrent au bout de 7 et 28 jours des résistances ne différant pas sensiblement de celles de mortiers faits avec du sable normal. En outre, il résulte d'explications verbales fournies par la direction des travaux que des échantillons de mortier pour lesquels on avait fait usage de ce sable furent déposés dans l'eau de la sortie du lac, en 1917, et ne présentèrent au bout d'une année pas trace de décomposition. La direction des travaux crut donc pouvoir faire abstraction de nouvelles analyses.

Les experts prirent en août 1920 un échantillon du sable de Campo dont on s'était servi en dernier lieu et qui était déposé aux abords de l'hôtel de Piora. L'analyse à laquelle le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux s'est livré a, suivant bulletin du 25 août 1920, démontré

que ce sable ne renfermait que des « traces de gypse ». Il n'y a donc pas de faits positifs établissant que la teneur en gypse ait dépassé 1 % et qu'elle ait, par conséquent, pu être nuisible. Les experts estiment cependant qu'il aurait été bon de déterminer par des analyses périodiques pendant la construction la teneur du sable en gypse. Il n'est pas impossible, en effet, que ce sable ait par-ci par-là renfermé plus de 1 % de gypse, et l'expérience a prouvé qu'une teneur en gypse, même lorsqu'elle est faible, réduit la résistance. Duff A. Abrams a donné des renseignements à ce sujet dans l'*Engineering News Record* du 8 juillet 1920. D'après ces expériences, la substitution de 1 % de gypse à 1 % de ciment a pour conséquence une diminution de résistance de 4 % en chiffre rond.

Le sable employé était en partie un peu fin. D'après les bulletins du Laboratoire fédéral d'essais des matériaux :

Du 2 août 1917, il renfermait 60 % de grains ayant moins de 0,5 mm. ;

Du 15 septembre 1917, 46 % de grains ayant moins de 0,5 mm. ;

Et d'août 1920, 31 % de grains ayant moins de 0,5 mm.

Chacun sait que du sable aussi fin exige une quantité relativement forte de ciment pour produire un mortier bien résistant. Les experts croient que le sable utilisé doit, dans la mesure où il était vraiment très fin et vu la proportion de ciment adoptée, donner un mortier d'une résistance un peu trop faible. Toutefois ce point ne semble pas avoir une importance considérable.

Les experts croient qu'un autre facteur a agi dans le même sens : la teneur assez forte du sable en mica qui, comme l'expérience l'a prouvé, réduit un peu la résistance du mortier car l'adhésion du mica est moins bonne et il n'offre pas lui-même une grande résistance. D'après les essais mentionnés dans l'*Engineering News Record* du 8 juillet 1920, et auxquels nous avons déjà fait allusion plus haut, la substitution de 1 % de mica à 1 % de ciment Portland réduit la résistance du mortier de 1 % à peu près. Dans le sable en question, il s'agit d'une teneur en mica s'élevant estimativement à plusieurs pour-cents.

En résumé on peut donc dire que le sable employé a dû produire un mortier de résistance probablement un peu inférieure à celle d'un mortier de bonne qualité et que, peut-être, mais non certainement, la teneur du sable en gypse a légèrement diminué la solidité de certaines parties de l'ouvrage. Mais comme depuis 1917 le sable n'a plus été analysé on ne peut rien affirmer catégoriquement ni fournir de chiffres à cet égard. Une analyse plus suivie du sable eût été désirable et doit être recommandée pour les constructions à venir.

(A suivre.)