Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 47 (1921)

Heft: 11

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 et fin)

Autor: Rothpletz, F. / Rohn / Buchi

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-36592

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: 04.07.2025

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

47me année 28 Mai 1921 N° 11

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 et fin). — *Une enquête sur la construction des tunnels en charge.* — *Le plus grand entrepôt de marchandises du monde* (suite et fin). — *Concours pour l'élaboration des plans d'un bâtiment destiné à l'Institut dentaire, à Genève.* — Nécrologie : *Louis Chavannes.* — Sociétés : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes, procès-verbal de l'assemblée des délégués du 19 mars 1921* (suite et fin). — Divers : *Ateliers des Charmilles S. A., à Genève.* — *L'électrification des chemins de fer français.* — Bibliographie. — *Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne.* — *Calendrier des Concours.*

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 et fin.) [1]

F. Conclusions.

A. Causes de la formation des fissures.

Les fissures qui se sont formées dans la galerie de Ritom proviennent de ce que la maçonnerie a cédé. Ce fait peut avoir été provoqué par l'une des causes suivantes :

1° Retrait du béton et influence des changements de température ;

2° Cavités entre la maçonnerie et le rocher ;

3° Désagrégation de la roche par les mines et les agents atmosphériques ;

4° Ecrasement de la roche dans les couches et les fentes ;

5° Compressibilité de la roche par suite de résistance insuffisante ;

6° Elasticité de la roche ;

7° Qualité défectueuse du béton ;

8° Dimensions insuffisantes de la maçonnerie.

Sommairement nous avons à faire les remarques suivantes sur les points 1 à 8 :

Ad 1. Retrait du béton et influence des changements de température.

Dans le cas présent, ces influences ne semblent pas avoir grande importance :

a) Parce que la galerie est toujours humide et que le béton ne subit en conséquence pas de retrait notable ; d'ailleurs les injections ultérieures de ciment remédient à cet inconvénient s'il vient à se produire ;

b) Parce que pendant la construction la température a été constamment de 5 degrés centigrades, à peu près, au-dessus de zéro ;

c) Parce qu'il n'a pas été constaté de fissures transversales comme il aurait dû s'en produire s'il y avait eu retrait et changement de température.

Ad 2. Cavités entre la maçonnerie et la roche.

Il y a tout lieu d'admettre cette cause. Le béton a été bien fait et adhère à la roche. Les injections destinées au remplissage des cavités qui se forment inévitablement lors du bétonnage n'ont été exécutées que dans la voûte où elles ont d'ailleurs été très efficaces. Des sondages dans les pieds-droits ont démontré que le béton est bien lié à la roche, mais il n'a pas été possible de constater d'une manière absolue si les injections de ciment ont déployé leurs effets jusque là. Des essais d'injection de ciment exécutés dans le radier après les premières épreuves de la conduite n'ont donné aucun résultat, ce qui prouve que le béton du radier fait corps avec la roche. Les chemins de fer fédéraux et les entrepreneurs ont cru que des injections opérées dans le faîte seulement agiraient sur le pourtour de la conduite ; leur bonne foi ne saurait être mise en doute.

Ce mode d'injection s'est montré incomplet et insuffisant. Néanmoins, l'injection derrière la maçonnerie n'assure pas le remplissage de toutes les cavités, aussi la surface d'adhérence entre la roche et le béton ne peut-elle être rendue si parfaite à l'aide d'injections qu'il ne subsiste certains appuis en saillie.

Ad 3. Désagrégation de la roche par les mines et les agents atmosphériques.

Les coups de mines désagrègent souvent les couches périphériques de la galerie sans qu'on puisse le constater à l'œil nu et, malgré le soin mis à purger la roche, on ne saurait en éliminer toutes les parties disloquées. A cela vient s'ajouter que le processus de décomposition naturelle de la roche est plus rapide dans une galerie qu'à ciel ouvert. Vu les proportions relativement faibles des masses qui entrent en considération, il semble possible, voire probable, que la maçonnerie cède dès que la pression intérieure atteint un certain degré, quelque consciencieux qu'ait pu être le finissage des surfaces.

Ad 4. Ecrasement de la roche dans les couches et les fentes.

Ce facteur n'entre guère en ligne de compte ici parce que la direction des couches est transversale à l'axe de la galerie et qu'elles ont une assez forte inclinaison, d'où il résulte que la pression s'exerce sur leur extrémité.

Ad 5. Compressibilité de la roche par suite de résistance insuffisante.

Cette compressibilité de la roche est, à l'avis des experts, la cause principale des fissures qui se sont produites dans la section de galerie qui s'étend entre la fenêtre de Valle et le château d'eau. Des expériences donneront de plus amples renseignements à cet égard,

[1] Voir *Bulletin technique* du 14 mai 1921, page 109.

Ad 6. Elasticité de la roche.

Etant donnée la pression qui s'exerce, l'élasticité de la roche ne joue probablement qu'un rôle peu important. Des expériences feront connaître la grandeur des déformations élastiques.

Ad 7. Qualité défectueuse du béton.

Le béton n'est pas irréprochable partout. Les experts estiment que ce fait est dû à un ensemble de circonstances diverses, telles que composition et préparation du béton, conditions d'altitude et de température, influence des eaux de montagne. Aucune faute n'est imputable à l'entrepreneur ; il s'est efforcé de travailler correctement et a souvent dû le faire dans des conditions difficiles. D'autre part, il eût été désirable que les organes des chemins de fer fédéraux se fussent livrés à une observation un peu plus suivie de la manière dont se comportaient les matériaux de construction, le béton et l'eau, et ne se fussent pas contentés des résultats, assez satisfaisants il est vrai, de quelques épreuves du début. Mais, ici encore, on ne saurait mettre en doute l'intention de faire de bon travail. D'ailleurs, le béton, dont le mélange a été établi de la façon habituelle et prescrite, est, en général, aussi gras qu'il peut l'être quand il n'a pas été pris de mesures exceptionnelles. La qualité du béton n'est pas une des causes déterminantes de la formation des fissures, étant donnés les autres facteurs qui entrent en ligne de compte.

Ad 8. Dimensions insuffisantes de la maçonnerie.

Lors du choix des profils de la galerie, on n'a pris en considération que la pression extérieure et non la pression intérieure. On n'a donc tenu compte ni du travail plastique ni du travail élastique de la roche sous l'action de la pression intérieure, travail qui, aux yeux des experts, se produit effectivement et s'aggrave encore des facteurs mentionnés sous chiffres 3 à 6, ainsi que de l'appui en saillie plus ou moins prononcé des surfaces de contact du béton et de la roche.

La direction des travaux a cru que la roche offrait une masse résistante sur laquelle elle espérait pouvoir faire porter la pression intérieure, grâce à un bétonnage bien fait et bien adhérent. C'est pourquoi elle n'a attaché aucune importance à cette pression intérieure dans son choix des dimensions de la maçonnerie, et a toléré que l'ouvrage présentât des joints longitudinaux.

L'opinion des ingénieurs des chemins de fer fédéraux était l'opinion courante. Les effets de la pression intérieure sont encore mal connus. Il en résulte qu'on a choisi un type de maçonnerie trop faible. Mais les experts estiment que même le type IV, profil circulaire, n'aurait pas résisté aux tensions de traction auxquelles il eût été exposé.

Ces considérations et remarques sur le revêtement en béton s'appliquent à plus forte raison au château d'eau, vu les grandes dimensions de cet ouvrage et la nature défavorable de la roche.

A l'avenir, le choix des types de maçonnerie destinés aux conduites forcées devra se baser sur d'autres principes.

Ad A. Causes de la formation des fissures.

On peut dire en résumé ce qui suit :

Les fissures de la galerie de l'usine de Ritom sont attribuables aux causes suivantes :

I. Cavités entre la maçonnerie de la galerie et la roche.

II. Désagrégation de la roche par les mines et les agents atmosphériques, ainsi que par la compressibilité de la masse (plasticité de la roche).

III. Dans certains cas, élasticité de la roche.

De la fenêtre de Valle jusqu'au lac, ce sont les facteurs I et III qui ont probablement joué le plus grand rôle ; de la fenêtre de Valle jusqu'au château d'eau, c'est sans doute le facteur II qui a prédominé.

B. Question des responsabilités.

1° Chemins de fer fédéraux.

a) *Direction générale.*

La Direction générale a fait procéder à toutes les études nécessaires pour l'établissement d'un projet présentant la plus grande sécurité possible ; elle a fait appel dans ce but au concours de spécialistes compétents dans le domaine géologique et technique.

b) *Ingénieur en chef pour l'installation de la traction électrique.*

N'étant pas spécialiste en ces matières, l'ingénieur en chef ne pouvait intervenir dans les questions de construction et d'hydraulique. Quant aux problèmes d'organisation dont la solution lui incombait ici et sur lesquels les experts ont à se prononcer, il s'est acquitté correctement de sa tâche.

c) *Adjoint à l'ingénieur en chef pour l'installation de la traction électrique et direction locale des travaux.*

L'un et l'autre ont rempli leurs fonctions au plus près de leur conscience. Mais ils ont perdu de vue une question, celle de la « déformation de la gaine rocheuse par la pression intérieure », question qui paraîtra sans doute simple et naturelle aujourd'hui, mais que presque tous les hommes du métier ignoraient encore quand on a construit la galerie de Ritom. En vouant plus d'attention à toutes les circonstances se rattachant à la construction, et entre autres aux matériaux de construction, à l'eau, à la détermination des types ainsi qu'aux injections de ciment, et en étudiant d'une manière plus approfondie les conditions géologiques durant le cours des travaux, de concert avec le géologue, les organes précités auraient pu rendre l'exécution un peu meilleure. Toutefois, même alors, il se serait produit des fissures et cela principalement pour la raison signalée plus haut, c'est-à-dire « le peu de données qu'on possédait généralement sur les phénomènes statiques entrant en considération ».

b. Entrepreneurs.

Les entrepreneurs se sont conformés exactement aux clauses du contrat et leur travail ne prête pas à la critique. Aucune faute n'est imputable aux entrepreneurs en ce qui concerne la formation des fissures.

Ad B. « *Responsabilités.* » *Les experts arrivent à la conclusion que ni une personne ni une administration ne peuvent être rendues responsables des fissures qui se sont formées dans la galerie d'amenée de l'usine de Ritom. La rapide évolution des installations à haute pression explique un certain manque d'expérience dans la construction des galeries sous pression*, et, par conséquent, le fait que le problème de la déformation de l'enveloppe rocheuse n'a pas été approfondi suffisamment.

Berne et Zurich, le 20 septembre 1920.

Les experts :
F. Rothpletz, Rohn, Buchi.

Une enquête sur la construction des tunnels en charge.

En considération des faits relatés dans ce rapport, et comme les Chemins de fer fédéraux construisent actuellement d'autres conduites forcées, et qu'il en est prévu un certain nombre à exécuter dans l'avenir, la Direction générale a nommé une nouvelle Commission constituée par des ingénieurs et des géologues, soit :

M. Rothpletz, *ingénieur civil, conseiller national, président de la Commission* (*Spitalgasse*, 24, *Berne*).

M. Maurice Lugeon, *correspondant de l'Institut, professeur de géologie à l'Université de Lausanne.*

M. A. Rohn, *ingénieur, professeur à l'Ecole Polytechnique* (*Blümlisalpstrasse*, 11, *Zurich*).

M. J. Büchi, *ingén.-conseil à Zurich* (*Freiestrasse*, 6, *Zurich*).

M. Emil Hugi, *prof. de minéralogie à l'Université de Berne.*

Ces experts sont questionnés sur les relations réciproques des pressions dans les tunnels en charge ; ils doivent considérer leur mission comme d'intérêt général et s'entourer de tous renseignements afin qu'ils puissent déterminer si possible les normes pour la construction des tunnels forcés.

Pour la solution des questions posées, les experts ont organisé des expériences de grande envergure dans la galerie en construction des forces d'Amsteg, dans le canton d'Uri. Il n'est toutefois exclu, malgré leur ampleur, que ces essais puissent donner tous les résultats désirés, aussi les experts cherchent-ils, en conséquence, à connaître ceux déjà acquis et toutes les observations qui ont pu être faites ailleurs dans les tunnels en pression.

La Commission s'adresse, tant en Suisse qu'à l'étranger, à tous ceux que la question intéresse, les priant de lui communiquer les expériences qui ont pu être faites au cours des années d'exploitation ou pendant la construction. Pour faciliter les réponses, elle adresse le questionnaire ci-dessous, mais elle sera en outre reconnaissante de l'envoi de toute communication ou renseignement qui ne sont pas signalés tels que plans de situation, profils en long et en travers, coupes géologiques, etc.

La correspondance peut être adressée à l'un ou à l'autre des membres de la Commission d'expertise.

La solution du problème doit préoccuper tous ceux qui exploitent des galeries en charge ou qui s'apprêtent à en construire. Aussi la Commission a-t-elle l'espérance que, puisqu'elle travaille dans un intérêt général, chacun trouvera bénéfice à l'aider.

Après l'achèvement des recherches et des expériences en cours, les résultats seront publiés et communiqués à tous ceux que la question préoccupe ou qui auront collaboré au travail de la Commission par l'aide qu'ils lui auront apportée.

Au nom de la Commission d'expertise :
Le président, F. Rothpletz.

Questionnaire.

1. Quand la galerie a-t-elle été construite et depuis quand est-elle en exploitation ?
2. Longueur de la galerie forcée et dimensions du château-d'eau.
3. Pente de la galerie (si possible communiquer un profil en long) avec indication du plan d'eau maximum et minimum.
4. Grandeur de la pression intérieure en kg. par cm^2,
   a. au maximum ;
   b. au minimum.
5. Section de la galerie en m^2.
6. Procédé d'exécution, revêtement ou non (si possible communiquer les dessins des profils types ou d'autres indications s'y rapportant).
7. Quelle est l'épaisseur du mur de revêtement ; en quoi est-il constitué ; comment a-t-il été exécuté et quel agglomérant a-t-il été employé ?
8. Le revêtement de la galerie ou du château-d'eau a-t-il été dimensionné pour la pression d'eau intérieure et sur quelles considérations repose cette dimension ; en particulier sur quelle hypothèse adoptée par rapport à la déformation de la gaine rocheuse a-t-il été calculé ?
9. Ce revêtement était-il jointif avec la roche ou bien les vides entre celle-ci et le revêtement proprement dit ont-ils été remplis par de la maçonnerie sèche ou non ?
10. Pendant ou après la construction, ces vides ont-ils été injectés au ciment ?
11. Dans quelle matière se trouve la galerie, en terre ou dans la roche ; quelle est la nature de la roche (marne, calcaire, conglomérat, gneiss, granit ou autre roche) et comment est-elle (compacte, stratifiée ou diaclasée, perméable ou imperméable) ?
12. La galerie longe-t-elle un versant ou traverse-t-elle une croupe ou crête de montagne ? Quelle est l'épaisseur de la calotte de recouvrement ou quelle est la grandeur au maximum et au minimum de l'épaulement ?
13. Quel est l'angle que fait la direction des couches avec celle de la galerie ; quel est le plongement de ces couches ?
14. S'observe-t-il dans la galerie certains effets qui paraissent en rapport avec la composition des roches enveloppantes ou en rapport avec la position des couches ?
15. Dans les régions non revêtues de la galerie a-t-on exécuté des travaux d'imperméabilisation de la roche, et quel fut le procédé ?
16. L'intrados du revêtement est-il chappé ou non ?
17. Après la mise en exploitation est-il apparu des fissures dans le revêtement ; ont-elles été nombreuses ou isolées ; étaient-elles très baillantes et profondes ou s'agissait-il de fissures capillaires ? A quelle cause attribuez-vous ces fissures ? Avez-vous, en particulier, réuni des renseignements sur la déformation de la gaine rocheuse ?
18. Ces fentes furent-elles laissées ouvertes ou non ? Eventuellement pouvez-vous dire quels furent vos procédés pour l'aveuglement de ces fissures et comment elles se sont comportées dans la suite ; ou bien toute la paroi de la galerie fut-elle entièrement imperméabilisée, par quel procédé et avec quel succès ?
19. Y a-t-il des pertes d'eau lorsque le tunnel est en charge, sont-elles constatées et mesurées et quelle est leur grandeur ?
20. Ces pertes d'eau, abstraction faite de leur effet sur les turbines, ont-elles eu une influence défavorable quelconque dans les environs ou sur l'ensemble de l'ouvrage ?