

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 48 (1922)  
**Heft:** 2

**Artikel:** L'achèvement du deuxième tunnel du Simplon  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-37384>

### **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. : D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

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

SOMMAIRE : *L'achèvement du deuxième tunnel du Simplon* (planche 1 et 2). — *L'usure des turbines hydrauliques, ses conséquences et les moyens d'y parer*, par H. DUFOUR, ingénieur à Bâle (suite). — *Note sur un nouveau procédé de mesure du rendement des turbines hydrauliques* (méthode thermométrique). — DIVERS : *Le canal latéral au Rhin*. — *L'électrification de l'Autriche*. — *Appareil de photo-restitution Roussilhe*. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS.

### L'achèvement du deuxième tunnel du Simplon

(Planches hors texte 1 et 2.)

On sait que le parachèvement de la deuxième galerie du Simplon a été exécuté en régie par les Chemins de fer fédéraux qui créèrent à cet effet un organe spécial, investi de compétences étendues, la « Division des travaux du tunnel II du Simplon » ayant à sa tête une « Commission des travaux » composée de MM. Sand, directeur général des C F F ; Haab, directeur général des C F F remplacé, après son élection au Conseil fédéral, par M. Colomb, directeur général des C F F qui, ensuite de sa retraite, fut remplacé à son tour par M. Dinkelmann, président de la Direction générale des C F F ; M. Duboux, directeur du 1<sup>er</sup> arrondissement C F F remplacé, après son décès, par M. Paschoud, ingénieur en chef. La direction des travaux fut confiée à M. F. Rothpletz, ingénieur, qui remplit brillamment sa mission et dont les services furent sanctionnés, nous l'avons déjà signalé, par le grade de docteur ès sciences de l'Ecole polytechnique fédérale.

Les travaux de parachèvement du II<sup>me</sup> tunnel du Simplon ont été décrits dans une brochure<sup>1</sup> remise aux invités à la cérémonie de la pose de la dernière clé de voûte, le 4 décembre dernier : nous en extrayons un chapitre dont le matériel d'illustration a été très obligeamment mis à notre disposition par la Direction des travaux.

Le tunnel est entièrement maçonné sur toute sa longueur. Pour déterminer l'épaisseur que devait avoir ce revêtement, on a tenu compte de la nature et de l'état de la roche. Là où elle est résistante et stable, on s'est, en général, contenté d'une maçonnerie légère de 35 cm. sans radier voûté, tandis que, dans les endroits où s'exerce une pression et où le terrain est crevassé ou dans ceux qui sont sujets aux éclatements de rochers, on a recouru à des profils plus épais et, d'ordinaire, établi un radier voûté. Dans ces parties du tunnel, on s'est très souvent vu obligé de renforcer les pieds-droits du côté du 1<sup>er</sup> tun-

nel. Dans la section de la rampe sud, dangereuse par ses fortes pressions, du km. 4,452 au km. 4,504, on a adopté un profil de dimensions extraordinaires. C'est la Division des travaux qui avait à déterminer les profils de la maçonnerie et à assumer toute responsabilité à cet égard.

Dans les parties humides, il a fallu couvrir la voûte et capter soigneusement l'eau derrière la maçonnerie ; ce recouvrement consiste en dalles d'asphalte posées sur l'extrados à surface unie et en une maçonnerie supérieure de remplissage. On a veillé avec un soin tout particulier au cours de la construction à ce que la maçonnerie adhère parfaitement à la roche. Mais dans les endroits humides on a ménagé des puits en mur sec pour l'évacuation des eaux d'infiltration. En outre, dans les parties très crevassées il a été fait, après achèvement de la maçonnerie, des injections de ciment liquide à l'aide d'air comprimé pour aveugler autant que possible les fissures du rocher.

Le canal d'écoulement, qui recueille aussi l'eau du 1<sup>er</sup> tunnel, avait déjà été construit par Brandt, Brandau et C<sup>ie</sup> du côté où se trouve le pied-droit est du II<sup>e</sup> tunnel. C'est aussi pourquoi la galerie II ne se trouvait pas dans l'axe du tunnel II. Dans les parties à faible profil de revêtement on a pu laisser ce canal tel qu'il était, en se bornant à le réparer là où il était endommagé. Dans les sections, par contre, où on a établi un radier voûté, on s'est vu contraint de reconstruire entièrement ledit canal qui, d'ailleurs, était presque partout entièrement fendu.

Comme matériaux de maçonnerie on n'a utilisé, au début, que des pierres naturelles tirées des carrières ouvertes des deux côtés. Plus tard, lorsque la maison Hunziker et C<sup>ie</sup> eut commencé sa fabrication de pierres artificielles, on n'employa plus que ces dernières pour la maçonnerie de la voûte, et c'est uniquement dans les sections soumises à de fortes pressions qu'on s'est servi de pierres naturelles. Quant aux pieds-droits, on a partout fait usage de pierres naturelles à taille brute. Les pierres artificielles ont permis, notamment pour la voûte, de faire une maçonnerie beaucoup plus uniforme et plus sûre qu'elle ne l'aurait été en pierres naturelles. De plus le travail a demandé bien moins de temps et a été meilleur marché d'autant. Bien que leur résistance à l'écrasement, qui variait entre 280 et 550 kg. par cm<sup>2</sup>, ne soit pas aussi grande que celle des pierres naturelles, il faut

<sup>1</sup> *Le tunnel du Simplon, sa construction son achèvement*. Brochure de 47 pages, avec 21 illustrations dans le texte et 7 planches hors texte. — Imprimerie P. Attinger, Neuchâtel.



Fig. 1.

Pose de supports allongés dans la roche saine.

tenir compte du fait que la maçonnerie étant beaucoup plus uniforme, la pression se répartit aussi plus uniformément que si l'ouvrage consistait en pierres naturelles à taille brute, auquel cas, surtout quand le travail n'est pas exécuté avec le plus grand soin, quelques pierres ont seules à supporter toute la pression, se trouvent surchargées malgré leur grande résistance et se brisent. Pour toute la maçonnerie du tunnel on n'a employé que du mortier de ciment Portland.

Les méthodes de travail ont, cela va de soi, dû être adaptées à la nature de la roche. On trouvera aux planches 1 et 2 la reproduction de deux d'entre elles. Partout où la roche était résistante et sûre et où il n'y avait pas à craindre d'influence pernicieuse pour le tunnel I, on a, bien entendu, appliqué la méthode la plus simple et la moins coûteuse. Immédiatement au-dessus de la galerie de fond, on a pratiqué une petite galerie, le « strozzetto », dont la base n'était séparée de la galerie de fond que par le chapeau de cette dernière, ce qui fait que les déblais pouvaient être chargés directement dans les wagonnets placés au-dessous. C'est de ce « strozzetto » que toute la calotte a ensuite été excavée. Les déblais sont d'abord restés sur le pont formé par le chapeau de la galerie de fond, et l'on s'en est servi pour pouvoir atteindre sans échafaudage le faite du tunnel. Peu à peu, à mesure que l'excavation de la calotte avançait, on jetait ces déblais dans les wagonnets par les ouvertures pratiquées dans le pont. Une fois la calotte entièrement excavée et le pont enlevé, on a pu sans autres précautions procéder à l'excavation de la strosse à partir de la base du tunnel. Par-

tout, même où la roche était saine, il a fallu protéger la faite contre les éboulements, par des boisages. On n'a commencé la maçonnerie qu'après l'achèvement de tout le profil d'excavation, et l'on est parti des fondations. Cette méthode a permis une construction rapide et rationnelle. Mais dans un mauvais terrain, instable et cédant aux pressions, elle n'a, en vue de la conservation du 1<sup>er</sup> tunnel, pu être appliquée, car entre l'excavation et la maçonnerie terminée, il devait toujours y avoir une partie de tunnel excavée et privée de protection. Sous ce rapport, le boisage ne saurait en effet être considéré comme une protection. D'ordinaire, le massif séparant les deux tunnels était en partie fissuré dans de tels endroits et n'offrait plus une résistance suffisante. Une section excavée d'une certaine longueur aurait très facilement pu provoquer dans ce massif des mouvements préjudiciables, qui se seraient transmis au 1<sup>er</sup> tunnel. C'est pourquoi dans ces parties-là on a été obligé de n'excaver que par courts tronçons et d'exécuter la maçonnerie le plus vite possible. C'est ainsi qu'on a été amené à appliquer la méthode belge, suivant laquelle on n'excave et ne maçonne tout d'abord que la calotte pour n'excaver la strosse et n'exécuter la maçonnerie des pieds-droits qu'ensuite. Il est certain que la construction d'après cette méthode est plus chère que d'après celle décrite plus haut, et présente encore d'autres inconvénients. Mais aucun système ne permet de faire succéder aussi rapidement le maçonnage à l'excavation. Et c'est là le point qui importait surtout. Dans les parties où la roche était un peu meilleure mais où l'on ne pouvait cependant pro-



Fig. 2. — Excavation suivant la méthode belge dans la roche sous pression.



céder en une seule fois à l'excavation de tout le profil, on a encore appliqué une troisième méthode. Comme la galerie n'était pas dans l'axe du tunnel et que la paroi est de ladite galerie atteignait presque la paroi est du tunnel, l'excavation nécessaire pour les pieds-droits était très faible de ce côté et pouvait être effectuée rapidement. Dans ces endroits, on a donc, après excavation de la calotte, excavé pour ce pied-droit, puis exécuté la maçonnerie et c'est ensuite seulement qu'on a construit le sommet de la voûte. Ce dernier reposait ainsi d'un côté sur la maçonnerie achevée du pied-droit et de l'autre sur la strosse non encore enlevée. De cette façon, il n'y a pas eu besoin de reprendre en sous-œuvre l'un des pieds-droits et l'on a pu opérer le maçonnerie plus rapidement après l'excavation que si l'on avait adopté le premier système dont il a été question.

Malgré toutes les précautions, des influences préjudiciables se sont, à beaucoup d'endroits, exercées sur le tunnel I et elles se sont manifestées, en général, soit par des éclats dans certaines pierres, soit par des fissures dans la maçonnerie. Des phénomènes analogues à de véritables tremblements de terre ont également par places déformé le pied-droit du côté du tunnel II et l'ont repoussé vers l'axe du tunnel. Mais on n'a guère constaté ces faits que dans les parties où il s'était produit des éclatements de rocher (Bergschläge) dans le tunnel II, ou dans celles où la roche était friable et ne résistait pas à la pression. Là où le II<sup>e</sup> tunnel traverse une roche stable et résistante, le tunnel I n'a pas souffert. Les mouvements et poussées qui se sont produits dans le tunnel I n'ont, d'ordinaire,

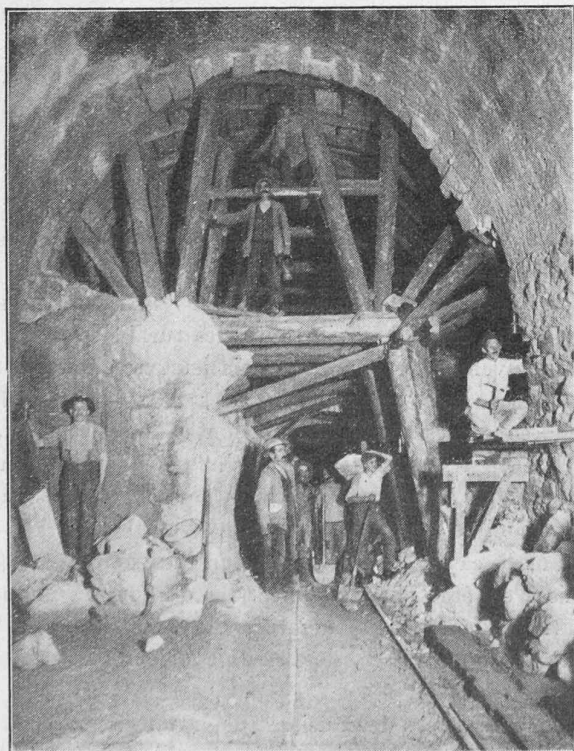


Fig. 3.

Pose de supports dans la roche mauvaise.

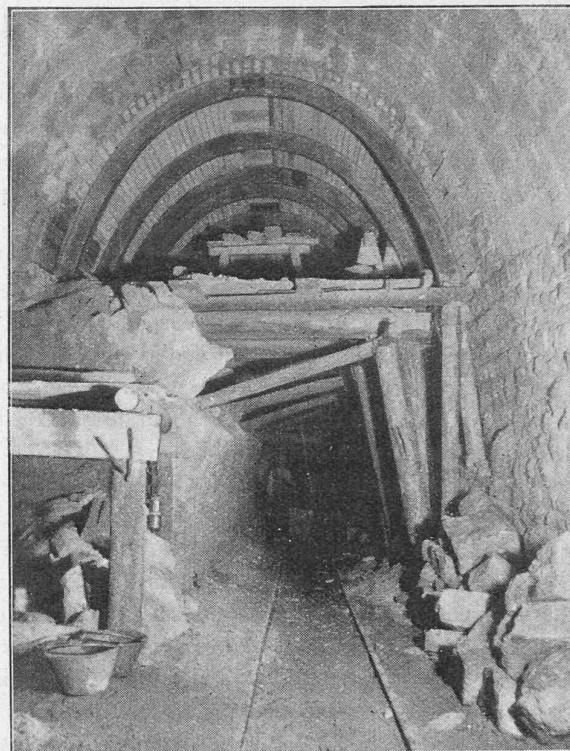


Fig. 4.

Revêtement du tunnel dans la roche décomposée.

été observés que pendant la construction de la partie correspondante du tunnel II. Ils ont atteint leur maximum au moment où l'excavation était achevée dans la partie d'en face, mais où la maçonnerie n'était point encore exécutée. Après achèvement de celle-ci, ils ont peu à peu diminué pour finir par disparaître complètement. Il est évident que la roche s'est stabilisée et que l'équilibre rompu par les travaux est rétabli. Aux endroits les plus dangereux où la maçonnerie avait subi des déformations ou bien où les éclatements de pierre avaient été particulièrement violents, on a immédiatement posé, pour garantir le tunnel et pour maintenir la sécurité de l'exploitation, de lourds cintres métalliques spécialement construits d'avance à cet effet, qui couvrent tout le profil du tunnel et qui sont reliés entre eux par dessous la voie. Derrière ces cintres, on a disposé un revêtement en épaisses plaques de tôle et l'espace libre entre ces dernières et la maçonnerie a été rempli de béton.

Les autres parties, moins dangereuses, ont été soumises à un contrôle très rigoureux. Grâce à ces mesures, l'exploitation n'a jamais été gravement dérangée ni sérieusement menacée dans le tunnel I.

Après achèvement des travaux de construction du tunnel II, il faut encore démolir la maçonnerie endommagée du tunnel I et la remplacer. Les lourds cintres métalliques seront également enlevés après reconstruction de la maçonnerie qui est derrière eux. Du côté nord, cette reconstruction a été entreprise immédiatement après l'achèvement des travaux du tunnel II ; elle est aujourd'hui complètement terminée. Du côté sud, on l'exécutera dès que

le tunnel II sera ouvert à l'exploitation. La partie sud du tunnel I sera alors mise hors de service pour que les travaux puissent s'effectuer rapidement et d'une manière continue. Dans l'ensemble, les avaries causées au tunnel I par la construction du tunnel II ne sont pas très importantes, mais elles auraient pu l'être si l'on n'avait pas agi avec tant de prudence dans le tunnel II.

Au nombre des mesures prises pour garantir le tunnel I, les injections de ciment ont donné d'excellents résultats. Partout où l'on devait craindre que des mouvements ne se produisissent dans la masse, on a d'avance consolidé l'ancienne maçonnerie à l'aide d'injections de ce genre. Sans ces dernières, les détériorations auraient certainement été beaucoup plus considérables.

Il est à peine besoin de dire que les événements qui ont agité le monde à l'époque même où s'exécutaient les travaux, ont créé des conditions toutes différentes de ce qu'elles étaient en 1912 quand on s'est mis à l'œuvre. Le renchérissement formidable de toutes les matières premières et de tous les salaires a eu sa répercussion sur le coût du travail, et encore aujourd'hui, bien qu'une baisse se fasse déjà sentir depuis quelque temps, les frais de construction sont de 200 à 250 % plus élevés qu'avant la guerre. Mais celle-ci a encore eu d'autres conséquences fâcheuses. Le fait que la main-d'œuvre a manqué et que l'exploitation s'est heurtée à de nombreux obstacles a non seulement englouti des sommes importantes, mais encore retardé d'une façon considérable l'achèvement des travaux. Le programme de construction qui avait été établi à l'origine eût certainement été observé dans toutes ses parties si les événements auxquels nous venons de faire allusion n'étaient point intervenus, et le tunnel II aurait pu être ouvert à l'exploitation en 1917, comme on l'avait prévu.

Quant aux frais effectifs qu'entraînera cette œuvre, on ne saurait encore indiquer de chiffre, car les travaux ne sont point encore tous terminés ni les comptes arrêtés. Toutefois, une constatation réjouissante qu'il est permis de faire dès maintenant, c'est que, malgré toutes les difficultés auxquelles on a dû faire face, la somme fixée en 1912 ne sera guère dépassée.

## L'usure des turbines hydrauliques, ses conséquences et les moyens d'y parer.

par H. DUFOUR, ingénieur, à Bâle.

(Suite)<sup>1</sup>

### VI. L'usure des turbines et le dessablage de l'eau dans les usines à grands débits.

On pourrait croire que l'usure des turbines par les alluvions se produit seulement dans les usines à hautes chutes. Une étude approfondie de cette question nous a montré qu'il n'en est point ainsi et que les phénomènes

d'usure, constatés même sous les plus faibles chutes, méritent l'attention des constructeurs et propriétaires d'usines hydro-électriques.

La quantité et la dureté des alluvions traversant les turbines à moyenne et basse chute, envisagées spécialement ici, est parfois très grande; nous avons trouvé souvent des grains de sable qui, sans préparation spéciale et sous la simple pression des doigts, sont capables de rayer le verre qui se casse ensuite comme celui rayé au diamant.

Dans les turbines du type Francis presque exclusivement utilisé aujourd'hui, les alluvions concentrées sous la forme de véritables veines de sable, usent et déforment les parois et les aubes des distributeurs et des roues motrices. Les grains qui, chassés par la pression de l'eau se coincent entre ces deux organes, sont entraînés par la roue et poussés vers le tube d'aspiration; en usant les surfaces qui les guident et les compriment ils agrandissent rapidement le jeu radial entre le distributeur et la roue, ce qui provoque une perte d'eau exagérée.

La détermination exacte des rendements de turbines, comme elle a eu lieu au cours des études précédemment décrites, exige, selon les conditions d'établissement et d'exploitation des usines, une somme plus ou moins grande de préparatifs et de travail. C'est pourquoi, souvent, et particulièrement dans les usines à grands débits, on doit se contenter des appareils et dispositifs de mesure utilisés par l'exploitation. Les résultats ainsi obtenus, quoique approximatifs, ont cependant une grande valeur pour l'exploitant qui sait les interpréter et peuvent pour le moins justifier l'exécution de mesures de précision.

Nous en donnons quelques exemples:

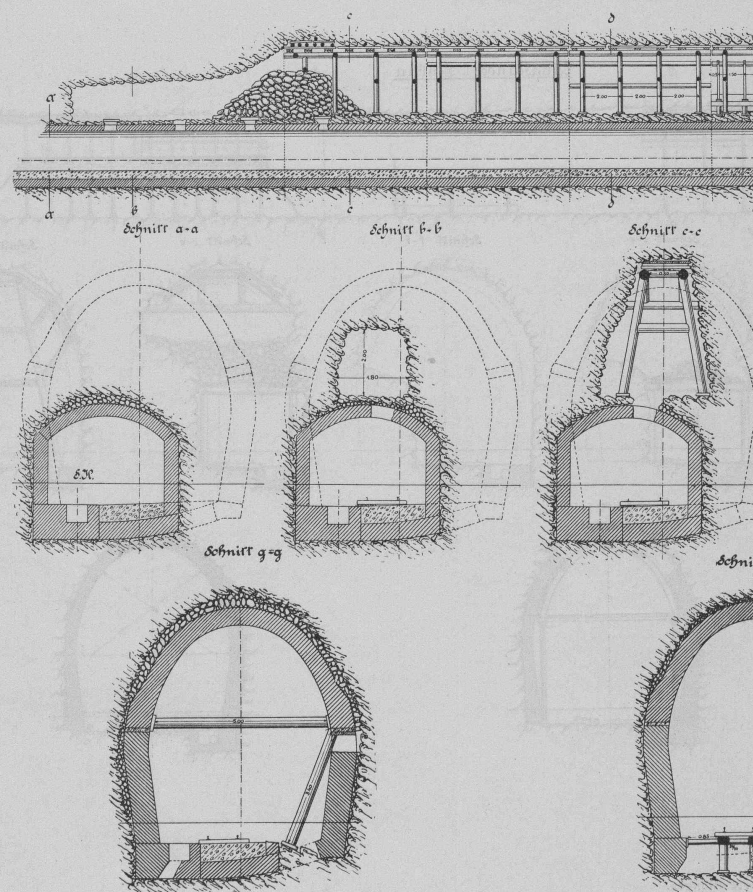
Les figures 35 et 36 représentent les diagrammes des rendements et des puissances disponibles de deux usines travaillant sous des chutes comprises entre 50 et 100 m. Dans le cas de la fig. 35, les turbines sont réparées tous les deux ans; la baisse de rendement de juin à août est due aux progrès de l'usure, son augmentation successive de novembre à mars aux réparations opérées et au fait qu'en basses-eaux les turbines les plus usées sont hors de service. En mars et avril, toutes les turbines en marche sont nouvellement réparées, mais leurs rendements restent inférieurs à ceux de turbines neuves. La surface hachurée représente la diminution d'énergie disponible par l'usure des turbines, elle atteint pour l'année 21 millions 450 000 kwh. (= 2450 kw. an) ou le 9,8 % de l'énergie disponible avec des turbines neuves.

Dans le cas de la fig. 36 les turbines sont révisées et remises en état chaque année. La diminution annuelle d'énergie disponible se monte à 8 383 000 kwh. (= 957 kw. an) ou le 10 % de l'énergie disponible avec des turbines neuves.

L'énergie de ces deux usines (diagrammes fig. 35 et 36) étant utilisée en grande partie par l'industrie électrochimique, nous donnons ici, selon l'*Annuaire* de la Chambre Syndicale des Forces Hydrauliques françaises, la

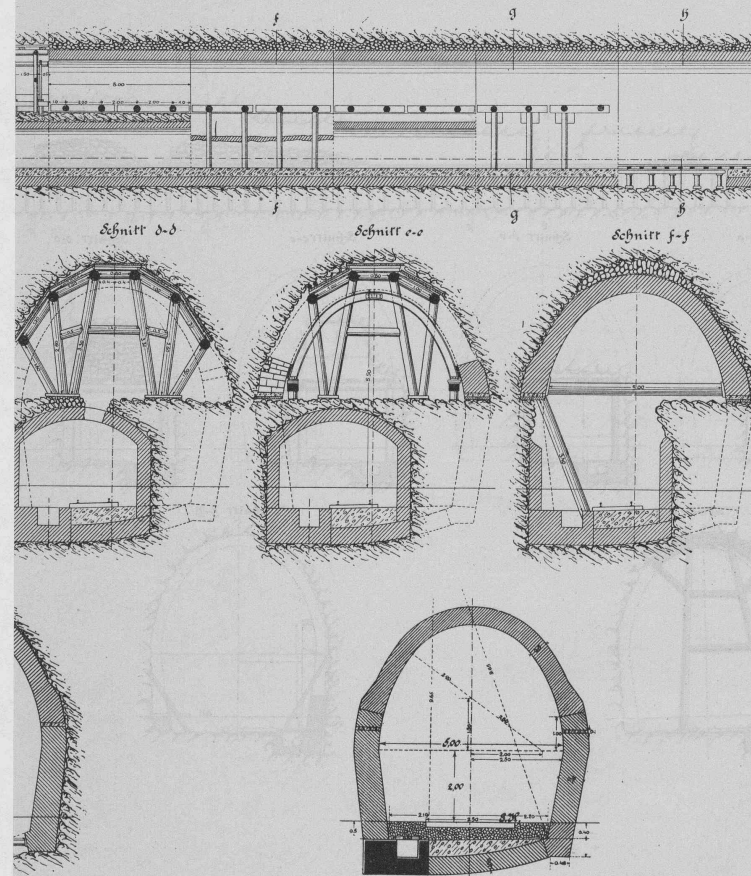
<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 29 octobre 1921.





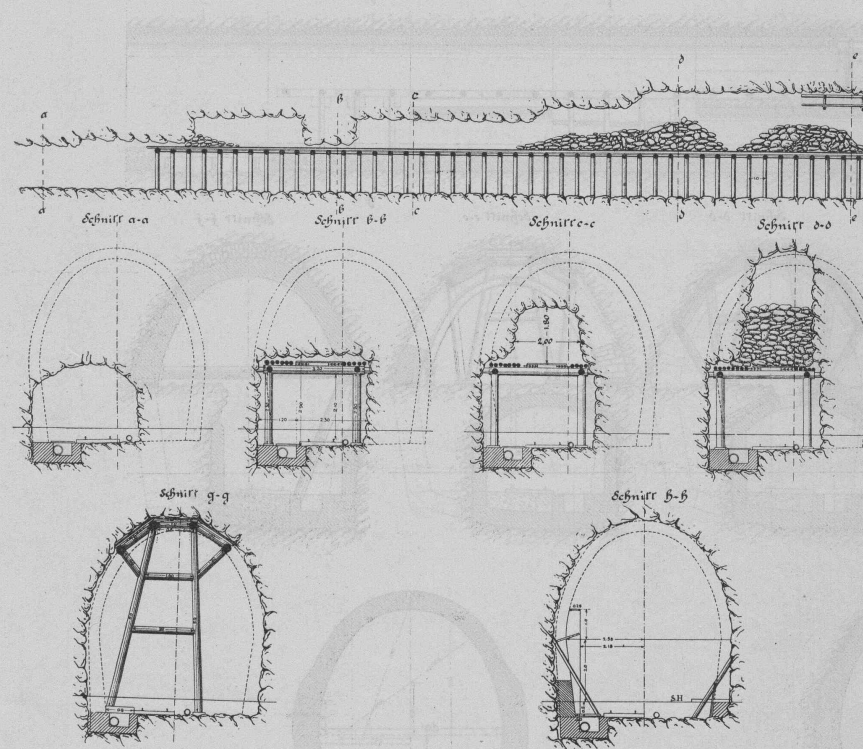
Avancement de la méthode belge.

PARACHÈVEMENT DE LA



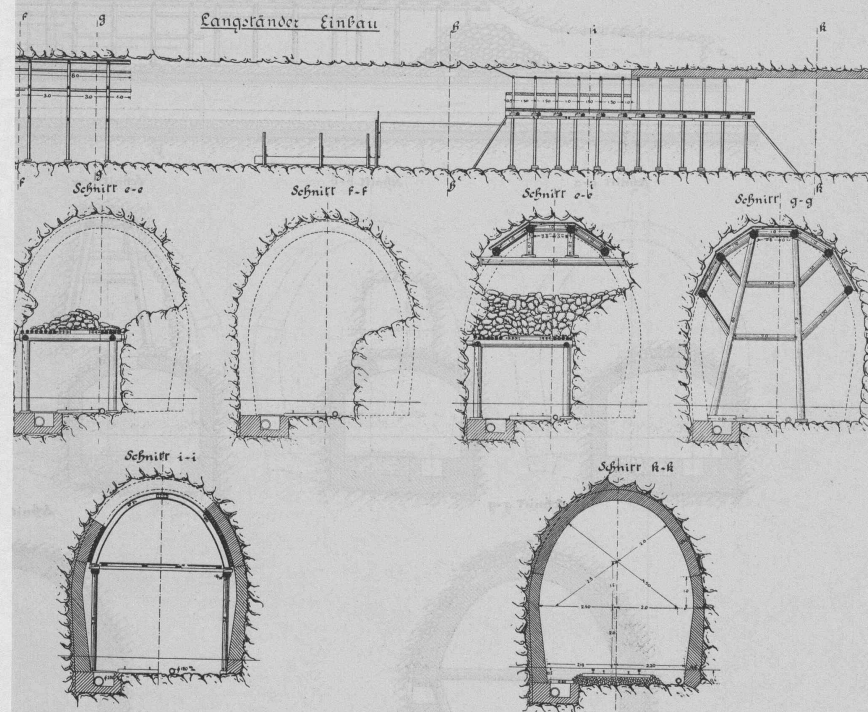
Avancement de la méthode belge.

PARACHÈVEMENT DE LA



Avancement et ports allongés.

PARACHÈVEMENT DE LA 1<sup>re</sup> ME GALERIE DU SIMPLON



ports allongés.

ME GALERIE DU SIMPLON