Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 51 (1925)
Heft: 25

Artikel: La reconstruction du viaduc de Grandfey
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-39550

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: 08.07.2025

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

51e année 5 décembre 1925 N° 25

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *La reconstruction du viaduc de Grandfey. — Evolution des théories relatives au fonctionnement des turbines*, par M. P. Cayère, ingénieur en chef des « Etablissements Neyret, Beylier, Piccard, Pictet », à Grenoble. — *Le Ve Congrès de fonderie. — Extrait du rapport relatif à la navigation sur le Rhin, présenté à la Société des Nations par M. Walker D. Hines. — Septième Colloque mathématique des Universités de la Suisse romande. — Journées de discussion du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, à Zurich. — Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. — Service de placement. — Avis aux abonnés.*

La reconstruction du viaduc de Grandfey.

Le 31 octobre dernier, une soixantaine de membres de la Section vaudoise de la Société des ingénieurs et des architectes, de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes et de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne, ont visité les travaux de reconstruction du viaduc de Grandfey.

Après que M. Amaudruz, *ingénieur en chef du Ier arrondissement des C. F. F., leur eut souhaité la bienvenue, les visiteurs, que M.* Labhardt, *ingénieur en chef à la Direction générale des C. F. F., avait bien voulu honorer de sa présence, suivirent avec le plus vif intérêt l'exposé que leur fit M.* Bühler, *chef du service des ponts à la Direction générale des C. F. F., et que nous sommes heureux de pouvoir reproduire ci-dessous :*

Le programme d'électrification adopté, prévoit l'ouverture au nouveau mode d'exploitation du tronçon Palézieux-Berne pour le 1er mars 1927. L'exécution de ce travail nécessite entre autres le renforcement des six grands ponts de cette ligne.

I

Le plus important parmi ces ouvrages est le *viaduc de Grandfey*, construit par la Compagnie « Lausanne-Frontière bernoise » durant les années 1857 à 1862 ; c'est le plus long et le plus haut pont de notre réseau (380 m. de longueur et 80 m. de hauteur). Il est en alignement et a 7 ouvertures, dont 2 de rive, ayant une portée de 43,30 m. et 5 ouvertures médianes ayant toutes une portée de 48,75 mètres. A chaque extrémité de la superstructure métallique se trouve une voûte de 5 m. d'ouverture libre. La superstructure des ouvertures principales est continue et supportée par deux culées en maçonnerie et 6 piles dont la partie inférieure seule est en maçonnerie. Sur ces socles sont posées des piles de fonte en forme de tours, comprenant 11 étages et ayant une hauteur de 43,20 m. Les montants des piles ont une section tubulaire ; leur entretoisement consiste en un treillis de fers plats. Les socles de maçonnerie des piles, dont la hauteur va jusqu'à 32 m., ainsi que les culées, ont été exécutés, en majeure partie, en molasse extraite du chantier. Une carrière se trouvait sur la rive gauche en aval du pont et une autre en amont, sur la rive droite. Pour économiser ces matériaux on avait ménagé des cavités dans tous les massifs de maçonnerie de grandes dimensions. Ces cavités représentent 2500 m³. Selon la coutume du pays, on avait revêtu les massifs partout où ils étaient en contact avec l'eau et le terrain avec du tuf (1,0 en dessus jusqu'à 1,0 m. en dessous). Les angles et les parois des avant-becs des piles IV et V, situées dans la Sarine, étaient protégés par des pierres calcaires. Le mortier dont on a fait usage provenait de Châtel-Saint-Denis. Le viaduc, y compris un renforcement peu important de la superstructure effectué en 1899, a coûté 2 470 000 fr.

On avait employé pour la construction :

20 000 m³ de maçonnerie,
3 250 tonnes de fer,

dont 2 000 tonnes { 1 300 t. fonte / 700 t. fer soudé } pour les piles

et 1250 tonnes pour le tablier. La surface de peinture mesurait 30 000 m² et la construction métallique renfermait approximativement 500 000 rivets et boulons.

Les avant-projets étaient dus à MM. Durbach, Etzel, Jacqmin et Nördling, c'est-à-dire à une commission internationale composée d'un Suisse, d'un Allemand, d'un Français et d'un Autrichien.

Le projet définitif avait été dressé par M. Mathieu, ingénieur en chef des usines du Creusot en France, qui exécutèrent aussi la partie métallique à la suite d'un concours.

L'infrastructure avait été adjugée à MM. Wirth, Studer et Co, une entreprise suisse. Le montage s'est fait par lançage, en utilisant le porte à faux pour le montage des tours métalliques, un procédé en son temps tout à fait nouveau et qui fut admiré par le monde technique entier.

Le viaduc ainsi que les tronçons aboutissant de la ligne ont été construits à double voie. La superstructure en fer soudé comprenait 4 poutres principales, distantes de 2,09 m. et calculées de manière à supporter ensemble une charge vive de 8 t. par mètre courant, soit de 4 t. par mètre courant pour chaque voie. Entre les deux poutres principales médianes se trouvait une passerelle publique de 1,60 m. de largeur, dont les accès consistaient en deux escaliers tournants.

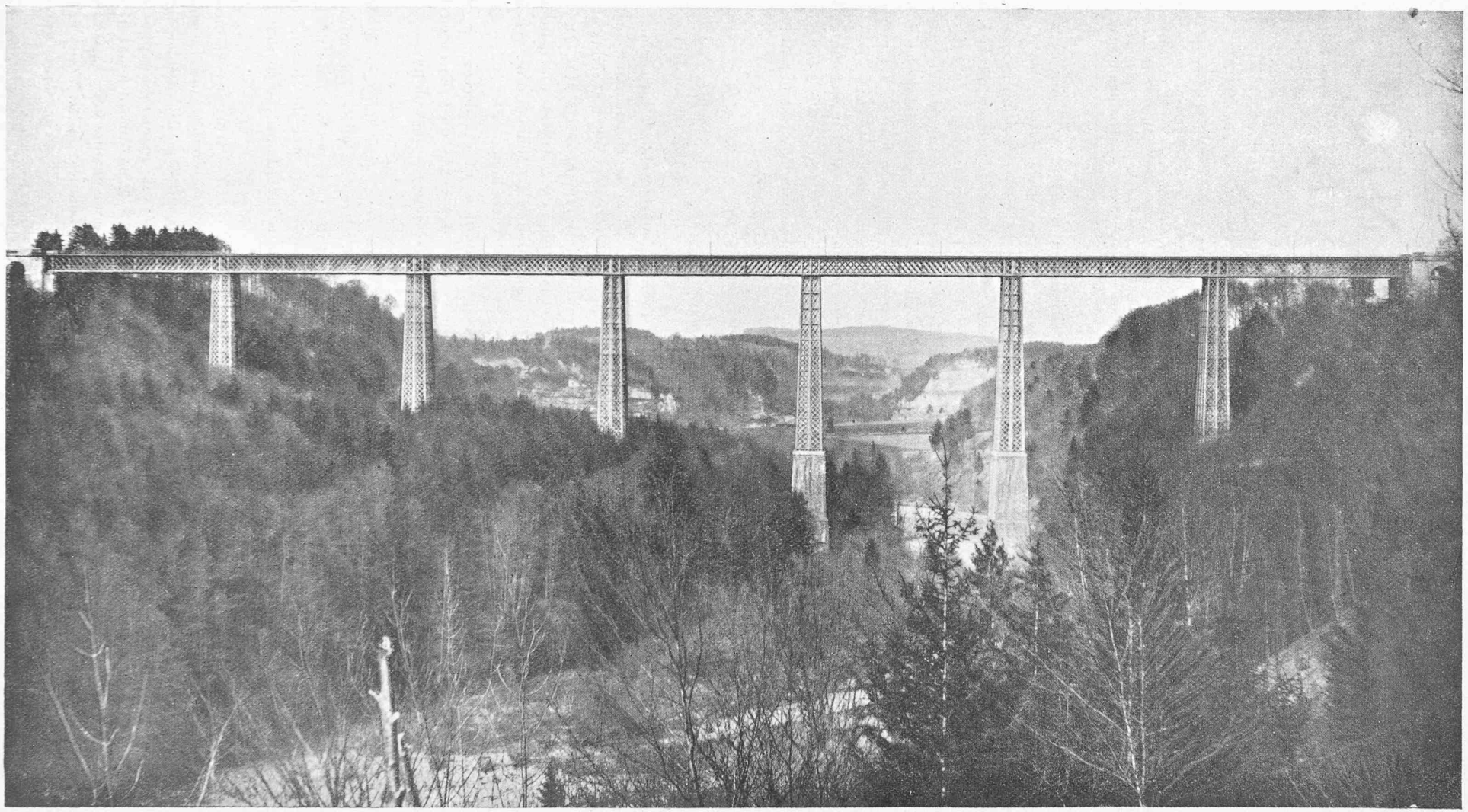

Fig. 1. — Viaduc actuel de Grandfey.

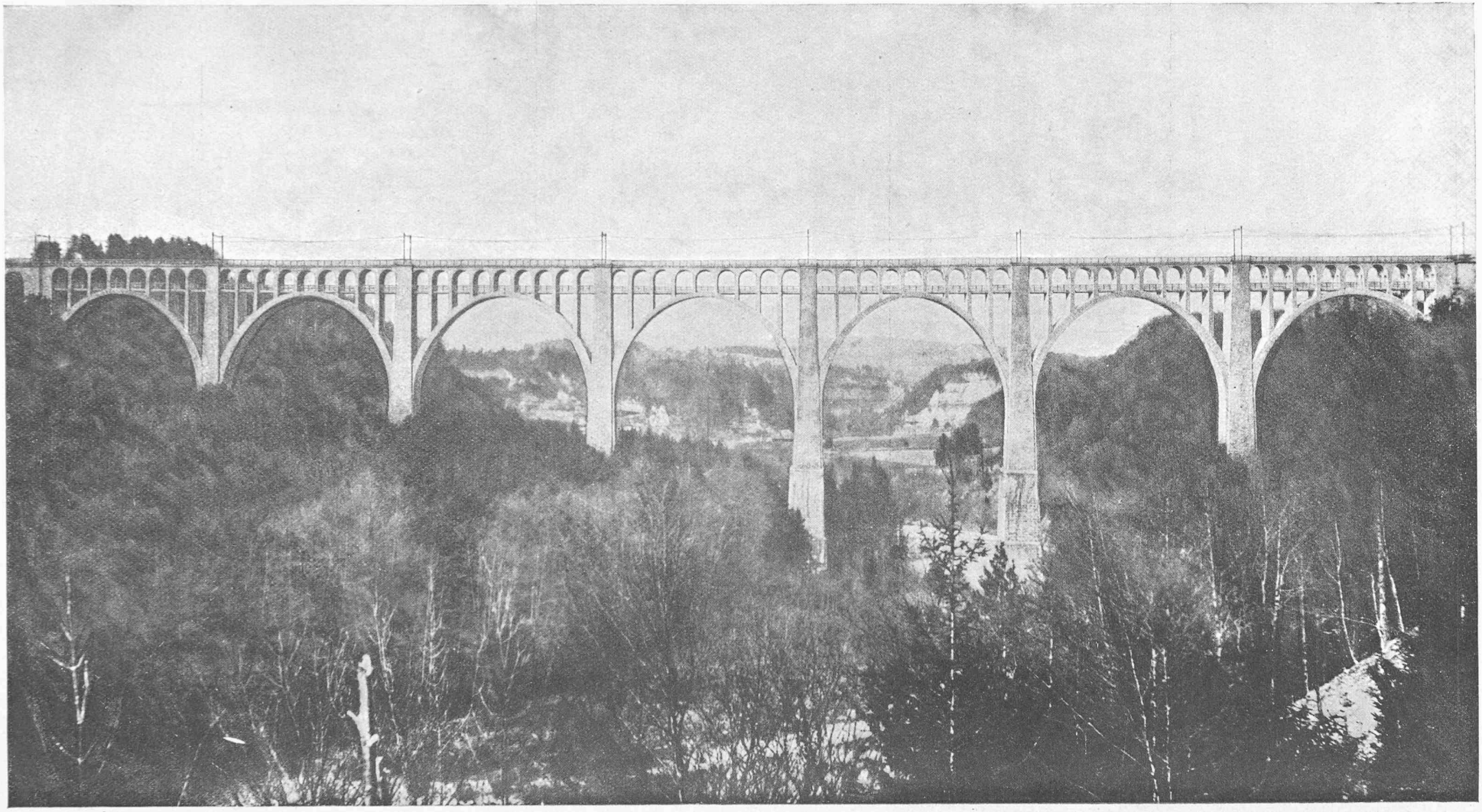

Fig. 2. — Viaduc projeté de Grandfey.

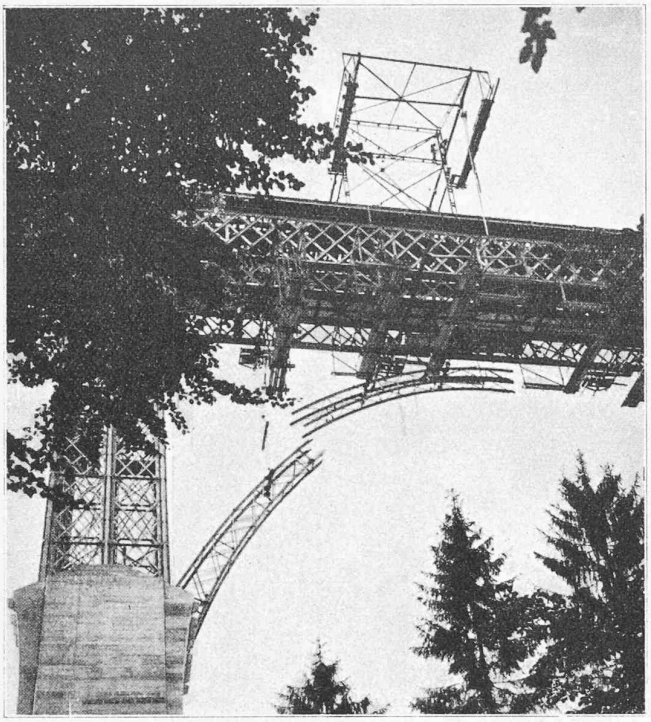

Fig. 3. — Pose de la première ferme Melan (1. IX. 25).

En 1892, on procéda pour la première fois à un calcul de contrôle d'où il résultait que la construction métallique était juste suffisante pour les charges du service à voie unique. La voie, qui, à l'origine, était posée excentriquement avait par conséquent été placée dans l'axe du pont, pour obtenir une répartition uniforme des charges sur les 4 poutres et il avait fallu monter de nouveaux longerons et un nouveau contreventement inférieur. Etant données les fissures qui s'étaient produites dans les pièces d'assemblage de la tête et du pied des piles en fonte des couronnements et des bases et la nature cassante de ces matériaux, on donna l'ordre de ne traverser le pont qu'à la vitesse maximum de 40 km. à l'heure. Une autre circonstance concourut à dicter cette mesure : les piles métalliques n'étaient plus très rigides et s'étaient déformées de 6 cm. environ par suite de la position excentrique que la voie avait occupée au début.

II

Des derniers calculs, faits en 1922, il résultait que la construction métallique du viaduc devait être considérablement renforcée pour la traction électrique. Le tablier devait être pour ainsi dire complètement reconstruit et il en était de même pour les cadres transversaux des poutres principales. Quant à ces dernières, il fallait, en outre, renforcer les membrures inférieures ainsi que le treillis et compléter le contreventement inférieur situé au-dessus des piles. Le renforcement des piles en fonte aurait constitué un travail particulièrement difficile et l'on ne serait pas arrivé à un résultat satisfaisant dans le cas où l'on aurait voulu que les trains pussent franchir le pont à 90 km. à l'heure. Pour un renforcement il aurait en tout cas été nécessaire de remplacer les piles en fer ou de les enrober de béton.

C'est pourquoi la consolidation provisoire du viaduc qui aurait coûté environ 2 000 000 de francs a été abandonnée. Se basant sur les résultats d'une soumission, la solution consistant à construire de nouvelles superstructures métalliques sur les piles enrobées de béton a été également écartée, vu le coût élevé de 3 550 000 fr. La construction d'un viaduc entièrement neuf fut aussi prise en considération. Les frais de ce projet furent devisés à 5 000 000 de francs pour un viaduc en béton et à 5 500 000 fr. pour un viaduc revêtu de pierre naturelle. Vu l'importance de ces sommes, ce projet d'ouvrage entièrement neuf fut abandonné.

III

Il ne restait finalement que le projet [1] qui est exécuté actuellement et qui prévoit la transformation du viaduc existant d'une manière assez simple en un ouvrage voûté, devisé à 3 250 000 fr. y compris les suppléments habituels (intérêts, direction des travaux, travaux supplémentaires et en régie, etc.). MM. *Simonett et Cie*, ingénieurs de Zurich, et *Grémaud* et *Tacchini* de Fribourg, sont les adjudicataires, qui se sont assuré la

[1] Nous avons reproduit, aux pages 196 et 197 du *Bulletin technique* les maquettes de l'ancien et du nouveau viaduc de Grandfey.

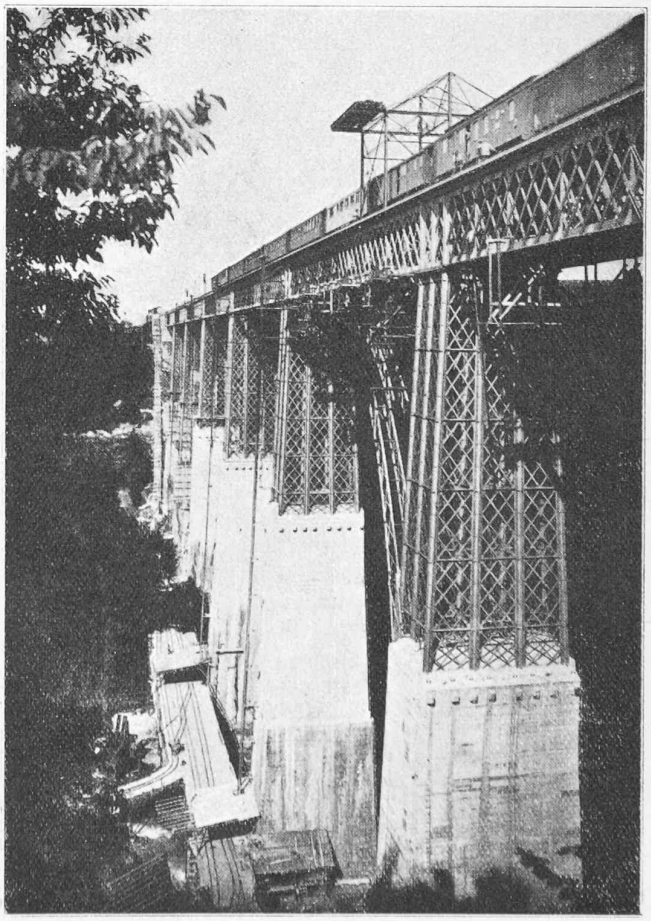

Fig. 4. — Pose de la première ferme Melan (1. IX. 25).

collaboration du bureau d'ingénieurs *Maillart et Cie*, de Genève.

Les *piles et les culées existantes*, fondées sur un sous-sol rocheux molassique, seront conservées et leurs évidements remplis par du béton. Là où cela a paru indiqué, on a encore posé des armatures et exécuté des injections de lait de ciment. Lors des travaux de remplissage de ces évidements on a eu l'occasion de constater la bonne qualité de l'ancienne maçonnerie et de l'exécution très soignée des joints, ce qui justifie le réemploi de l'infrastructure de l'ancien ouvrage, qui, du reste, a peu souffert des intempéries durant les 65 ans de son existence.

fers ronds destinée à empêcher la formation de fissures provenant du retrait du béton. Les fermes métalliques sont enduites au lait de ciment avec adjonction de bichromate de calcium. Nous avons prévu 8 fermes par ouverture. Le poids total des fermes pour les 7 ouvertures sera de 465 tonnes environ, y compris les armatures en fer rond, le poids atteindra à peu près 510 tonnes.

Actuellement (novembre 1925) les piles sont enrobées jusqu'aux naissances des grandes voûtes ; les cintres Melan sont montés et leur embétonnage, qui s'exécute en deux rouleaux (1er rouleau $^1/_3$ d'épaisseur, 2me rouleau $^2/_3$ d'épaisseur) est en cours.

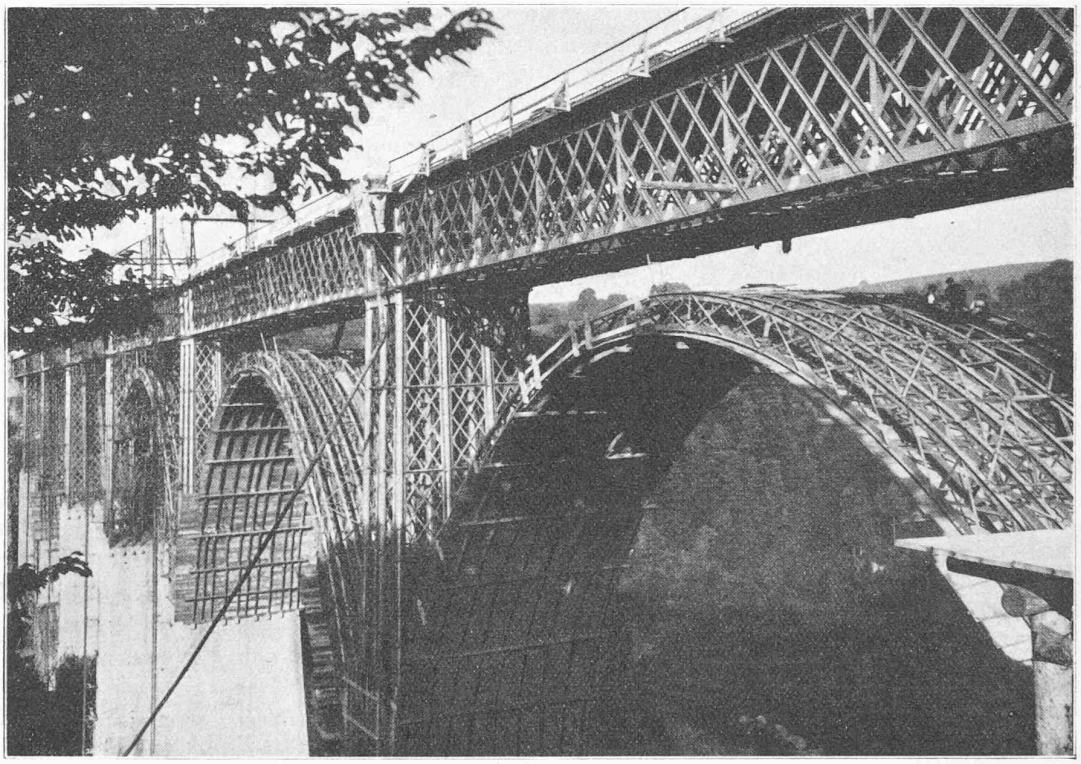

Fig. 5. — Etat des travaux de reconstruction au 6 octobre 1925.

Le tuf des piles est remplacé par du béton et la pile V est reprise en sous-œuvre pour protéger sa fondation contre les érosions de la Sarine.

Les *tours métalliques* sont embétonnées sans enlever la peinture. Le mode de construction ultérieur est lié à la condition que le tablier métallique existant doit être soutenu entre les piles métalliques pour pouvoir procéder au démontage d'une des poutres principales. C'est pourquoi il est nécessaire de relier les tours embétonnées entre elles par des voûtes en béton situées sous le tablier métallique actuel pour pouvoir y appuyer celui-ci.

Ces grandes voûtes de 43 m. de portée seront construites d'après le système Mélan, c'est-à-dire qu'elles seront composées d'une ossature en fer, assemblée de profils laminés constituant en même temps les cintres et l'armature des arches. Cette construction supportera le coffrage, dit suspendu, et elle sera complétée par une armature en

Les *voûtes d'élégissement* en béton armé, consistant en deux séries d'arcades parallèles seront supportées par les voûtes principales et formeront avec la dalle intercalée le tablier. Elles seront construites en deux parties, non seulement à cause du mode de reconstruction mentionné, mais aussi pour donner passage à la passerelle publique qui franchira le pont à la hauteur de l'extrados des grandes voûtes. La reconstruction s'exécutera de la manière suivante : Après l'exécution des voûtes principales et des piliers, reliés entre eux par la passerelle, on appuiera et ancrera les tabliers métalliques sur une partie appropriée des piliers. On démolira alors successivement les parties supérieures des tours métalliques pour les reconstruire en béton armé. Ceci fait, on commencera à démolir une poutre principale extérieure pour gagner l'espace pour la construction de la première série des arcades. La même chose se fera

de l'autre côté de l'ouvrage. Pour pouvoir fermer finalement l'espace entre les deux séries d'arcades, par la dalle armée, on placera un tablier provisoire fait de la même manière que celui employé à la reconstruction du viaduc de Vallorbe [1], (poutres jumelées ayant une petite hauteur de construction).

Le reste des travaux s'exécutera aisément et sans aucune difficulté.

Je me permets d'ajouter que la pression des arêtes des piles sur le sol ne dépassera pas 14 kg/cm² et l'effort auquel sera soumise l'ancienne maçonnerie 18 kg/cm² (arc continu). Ces pressions ont déterminé le choix du système de construction en béton et béton armé, employé

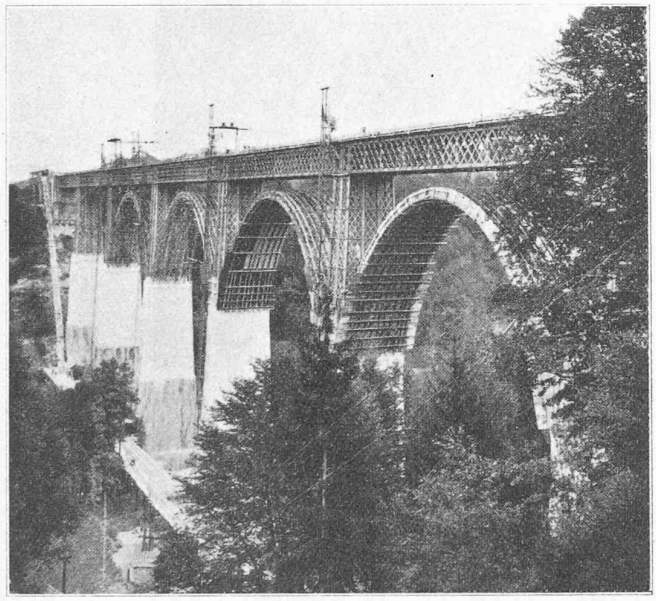

Fig. 6. — Etat des travaux de reconstruction du viaduc de Grandfey, au 20 octobre 1925.

chez nous pour la première fois sur une telle échelle pour un pont sous voie.

La résistance moyenne de la molasse du sous-sol est de 150 kg/cm² et de la molasse des piles de 34 kg/cm².

Les cubes de mortier et de béton que nous avons pu extraire de la vieille maçonnerie pendant les travaux de réfection ont accusé une résistance de 120 kg/cm² environ.

Le coefficient d'élasticité de la molasse des piles est de 50 t/cm² environ.

Les matériaux suivants seront employés pour la maçonnerie nouvelle :

Remplissage des soubassements et des piles au-dessus des soubassements.	béton de 200 kg. de ciment Portland par mètre cube.
Grandes voûtes avec cintres en fer et voûtes d'élégissement (arcades)	béton de 300 kg de ciment Portland par mètre cube.

[1] Voir à la page 196 du *Bulletin technique* du 1er août 1925, la reproduction de la maquette de ce viaduc.

Caractéristiques principales du nouveau viaduc.

Longueur totale	382,7 m.
Hauteur totale	80 m.
Ouverture libre	39,1 + 5 × 42,3 + 39,1 m.
Ouverture des arcades	4,25 m.
Largeur entre tympans	7,00 m.
» entre garde-corps	8,10 m.
» de la passerelle publique	2,40 m.
Cube de la maçonnerie ancienne 27 000 m³ Cube de la maçonnerie nouvelle 20 000 m³	= 47 000 m²
Fers conservés 1 050 t. Fers neufs pour cintres, armatures, appuis, etc. 1 150 t.	= 2 200 t.
Surcharge admise par voie : 11 tonnes en tout	22 t.
Coût total de la vieille construction, déduction faite des parties démolies	Fr. 1 250 000 —
Coût total de la construction neuve tout compris	» 3 250 000 —
Valeur d'inventaire de l'ouvrage fini environ	Fr. 4 500 000 —
Surface en élévation	18 500 m²
Coût par m² en élévation	243 fr.

IV

Il nous reste encore pour terminer à expliquer par quelques mots l'organisation du chantier. Sont nécessaires environ :

30 000 m³ de sable et gravier dont 26 500 m³ seront dragués à proximité du viaduc, dans le lit de la Sarine. Le reste, 3500 m³, exclusivement du sable, sera livré par les Entreprises électriques fribourgeoises qui les draguent en amont de leur barrage d'Oelberg (dans la ville de Fribourg). Ce sable, dit de Pérolles, est amené par chemin de fer.

7 500 tonnes de ciment Portland, fournies par les fabriques de ciment d'Aarau, ci-devant Zurlinden et Cie.

600 m³ de bois de la contrée, amenés par camions, dont 220 m³ pour les coffrages suspendus, 90 m³ pour les coffrages des grandes piles, 150 m³ pour le pont de service et 140 m³ pour les installations.

1 150 tonnes de fer de provenance différente, pour les cintres Mélan et les armatures ; ce fer est amené par chemin de fer. Les cintres Mélan ont été fournis par la S. A. Löhle et Kern à Zurich.

La matière première généralement très grossière, draguée dans la Sarine, est élevée par un téléférage et déposée provisoirement dans un silo compensateur, situé à mi-hauteur de la rive gauche et à 200 m. environ en aval du viaduc. Ce silo est relié par une voie Decauville à l'installation préparatrice du sable et du gravier, consistant en 2 concasseurs, 2 cribleurs avec transporteurs, etc., qui classent les matériaux en gravier de 0-50 (80) mm. et sable concassé mixte de sable naturel de 0-8 mm. A ces deux composantes est ajoutée pour le béton armé de la partie supérieure, une troisième composante : c'est le sable de Pérolles. C'est ainsi que les matériaux préparés

sont emmagasinés en 4 silos, dont 2 pour le gravier et un pour chacune des deux qualités de sable.

De ces silos, le sable et le gravier sont pris en proportions déterminées et transportés par des vagonnets jaugés auprès des bétonnières installées au pied des piles 2, 3, 4 et 5. Le malaxage étant achevé, le béton est versé dans les bennes des ascenseurs qui sont installées et disposées convenablement par rapport aux piles mentionnées. Les bennes sont arrêtées aux hauteurs voulues et déversent leur contenu dans un système de tuyaux répartiteurs qui amènent le béton confectionné aux lieux des travaux de bétonnage.

Les clichés des figures 1 et 2 ont été obligeamment mis à notre disposition par M. Bühler. *Réd.*

Evolution des théories relatives au fonctionnement des turbines

par M. P. CAYÈRE, ingénieur en chef
des *Etablissements Neyret, Beylier et Piccard, Pictet*, à Grenoble.

Sous le titre : « Les progrès, l'état actuel et les tendances de la construction des turbines hydrauliques » M. P. Cayère a publié dans les numéros de juillet et août 1925 de la Revue Arts et Métiers *(Paris) une remarquable étude dont l'extrait reproduit ci-dessous intéressera certainement nos lecteurs.*

Nous écarterons avec soin tout l'appareil mathématique dont on enveloppe en général ces théories ; il est utile pour les applications, mais non pour l'exposition des principes, ceux-ci étant définis aussi clairement par le langage ordinaire que par leur traduction algébrique dans les équations de l'hydrodynamique.

Théories à 1, 2 et 3 dimensions.

Dans les anciennes turbines centrifuges et centripètes, les aubes du distributeur et de la roue étaient disposées entre des plans parallèles normaux à l'axe, l'écoulement de l'eau se faisait dans des plans parallèles à ces plans limites et l'écoulement pouvait être considéré comme étant le même dans les différents plans A B, A′ B′, A″ B″ (fig. 17).

De plus le nombre des aubes était élevé, afin d'assurer un guidage de l'eau parfaitement défini et facile à connaître.

Tous les filets liquides pouvaient donc être considérés comme ayant le même mouvement et il suffisait d'étudier le mouvement de l'eau le long d'une trajectoire pour connaître parfaitement toute la turbine.

L'étude de ces turbines pourrait donc se faire à l'aide d'une théorie relativement simple, qu'on pourrait désigner sous le nom de *théorie à une dimension*.

Dans les *turbines parallèles*, genre Fontaine ou Jonval, on était cependant amené à une étude un peu plus compliquée en raison du fait que les différents filets liquides abordaient la roue mobile en des points situés à des distances différentes du centre et animés par suite de vitesses différentes (fig. 18).

Les triangles de vitesse n'étaient donc pas les mêmes pour les filets s'écoulant en A B, en A′ B′ et A″ B″. Cependant la méthode d'étude de ces turbines se rattache à la théorie à une dimension, parce que l'on peut, dans ces turbines, *étudier chaque filet comme s'il était seul, la présence des filets voisins n'influence pas ses conditions d'écoulement.*

Dans les premières turbines mixtes genre Francis, dont le mode de fonctionnement est centripète à l'entrée et axial à la sortie, on conserva tout d'abord cette conception de l'indépendance des filets liquides et les ouvrages qui traitent de l'étude de ces turbines exposent généralement la théorie à une dimension dans laquelle la turbine est décomposée en turbines élémentaires que l'on étudie chacune isolément sans se préoccuper de l'influence des filets voisins sur ses conditions d'écoulement.

Par suite de cette conception, on était amené à faire la décomposition de la turbine en turbines élémentaires par des cloisons de révolution définies par des lignes d'écoulement telle que $a\ b\ c\ a'\ b'\ c'\ a''\ b''\ c''$ (fig. 19), qui étaient tracées en considérant que, puisque chaque turbine élémentaire débite le même débit élémentaire, il est logique de donner à toutes les turbines élémentaires en des points correspondants, la même section de passage et de faire $S_1 = S_2 = S_3 = S_4$; $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4$; $s_1 = s_2 = s_3 = s_4$.

Il résultait de ce mode de tracé que le long d'une ligne orthogonale, B $b\ b'\ b''$ B, perpendiculaire en chaque point au filet liquide qui passe en ce point, la composante méridienne de la vitesse de l'eau était considérée comme constante.

Or, il est facile de voir que cela ne peut pas être.

En effet, indépendamment de la rotation de l'eau autour de l'axe qui engendre des efforts centrifuges radiaux, dont il est tenu compte dans les équations d'écoulement de l'eau le long d'un filet, la forme courbe des lignes d'écoulement (les lignes d'écoulement étant les méridiennes des surfaces de révolution le long desquelles l'eau s'écoule) engendre des efforts centrifuges qui pressent les filets de la ceinture vers les filets du plafond (fig. 20).

De ce fait, la pression de l'eau est nécessairement plus grande au plafond qu'à la ceinture et, par suite, en raison du théorème de Bernouilli, la vitesse d'écoulement à la ceinture est plus grande qu'au plafond.

On est ainsi conduit à considérer une théorie *dite à deux dimensions*, dans laquelle on tient compte de cette influence des diverses turbines élémentaires les unes sur les autres.

Les lignes d'écoulement qui divisent le débit total en débits élémentaires égaux sont donc plus rapprochées de la ceinture qu'on ne l'admettait dans la théorie à une dimension (fig. 20).

Dans les anciennes turbines Francis, l'entrée et la sortie de la roue se faisaient dans les régions où la différence