Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 24 (1898)
Heft: 5

Artikel: Le pont du grenier à Berne
Autor: Tzaut, Ch.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-20337

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: 17.07.2025

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

24e ANNÉE 1898 N° 5

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT A LAUSANNE 8 FOIS PAR AN

Administration : Place de la Louve.
(GEORGES BRIDEL & Cie éditeurs.)

Volume V

Rédaction : Rue Pépinet, 1.
(M. A. VAN MUYDEN, ing.)

Sommaire : Le pont du Grenier à Berne, par Ch. Tzaut, ingénieur. (Pl. N° 11.)

LE PONT DU GRENIER A BERNE

par CH. TZAUT, ingénieur.

(Planche N° 11.)

Le 18 juin dernier la ville de Berne avait revêtu sa parure de fête pour inaugurer solennellement son nouveau pont et ouvrir à la circulation cette superbe voie de communication destinée à exercer une influence considérable sur le développement de la ville du côté du nord.

Nous ne voudrions pas laisser passer cet événement sans consacrer quelques colonnes du *Bulletin* à cet ouvrage grandiose dont les Bernois sont fiers à juste titre, et cela d'autant plus qu'ayant collaboré en qualité d'ingénieur attaché à l'entreprise, nous sommes à même de fournir des renseignements en partie inédits de nature à intéresser nos lecteurs.

C'est en 1894, qu'après des péripéties diverses et des polémiques assez vives, la ville de Berne décida la construction du pont du Grenier. Un concours international ouvert sur la base d'un projet élaboré par l'ingénieur de la ville, M. de Linden, mit en concurrence trois projets[1]. Le jury se prononça en faveur du projet présenté par MM. Th. Bell et Cie à Kriens, A. et H. de Bonstetten et P. Simons ingénieurs, à Berne, en collaboration avec la Société par actions « Gutehoffnungshütte » de Sterkrade (Prusse Rhénane) et M. de Fischer, architecte à Berne.

Ce projet l'emportait sur les autres soit au point de vue esthétique, soit au point de vue financier et fut adopté pour l'exécution après quelques modifications consistant essentiellement dans le renforcement de la construction métallique. L'entreprise en fut confiée à MM. Th. Bell et Cie à Kriens et P. Simons, ingénieur à Berne pour le prix à forfait de 1 746 000 francs, comprenant la construction dans son ensemble, sous réserve, toutefois, des aléas de dépenses supplémentaires résultant, le cas échéant, de la nature du sous-sol (voir plus loin page 109). La maison Bell remit la construction du grand arc en sous-entreprise à la Gutehoffnungshütte, tandis qu'elle se réservait le reste de la construction métallique ; tous les autres travaux tels que maçonneries, échafaudages, chaussée et trottoirs, garde-corps, etc., restant à la charge de M. Simons.

[1] Un compte rendu complet de ce concours a été donné par M. de Linden dans la *Schweizerische Bauzeitung*, tome XXVIII, Nos 16 à 19.

Description générale.

Les dimensions principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Longueur totale du pont entre extrémités des murs en retour $378^{m}05$.

Longueur entre parement des culées $355^{m}41$. (Pont du Kirchenfeld $229^{m}20$.)

Hauteur au-dessus de l'étiage $48^{m}80$	(Kirchenfeld	$35^{m}40$).
Largeur entre axes des garde-corps $12^{m}60$	(»	$13^{m}20$).
Comprenant une chaussée de $7^{m}20$	(»	$8^{m}40$).
et deux trottoirs de $2^{m}70$	(»	$2^{m}40$).

De la ville le pont gagne le plateau du Spitalacker par une rampe de $27\,^{0}/_{00}$.

Maçonneries. Les maçonneries consistent en deux culées et sept piles. Elles sont constituées essentiellement en béton de ciment Portland avec revêtement des parements vus en moellons piqués. Les proportions prescrites par le cahier des charges pour le béton sont les suivantes : 500 kg. de ciment pour $0^{m3}9$ de sable, et une partie de mortier pour trois parties de gravier, ce qui représente 167 kg. de ciment par m^3 de béton. Cependant, en cours d'exécution, on a pour certaines parties augmenté la proportion du ciment en la portant à 200 kg. par m^3.

Tout le ciment employé provient de la maison Vigier, de Soleure.

Les moellons sont en granit du Gotthard et du Tessin pour tous les socles des piles et culées et en calcaire du Jura (Reuchenette) pour le reste de la construction.

La pierre de taille est en partie du granit du Gotthard (sommiers), en partie du calcaire de Reuchenette et de Soleure (couronnements des piles, plinthes, etc.). Les obélisques, dés, parapets sont en granit rose de Baveno (lac Majeur).

Les piles sont de deux types.

Les piles-culées sur lesquelles s'appuye le grand arc (pl. p. 105) sont massives, en apparence du moins. Car pour les alléger on a ménagé à l'intérieur sept étages d'évidements comprenant chacun (sauf le premier) quatre chambres qui commu-

niquent entre elles. (Dans la pile de la rive droite, les deux chambres médianes ont été réunies en une seule.) On peut pénétrer dans la pile soit d'en haut, soit d'en bas, et une échelle de fer permet de la parcourir sur toute sa hauteur.

Un tuyau de ciment sert à l'évacuation des eaux de pluie du pont.

Les deux grandes piles sont en béton jusqu'à la hauteur du socle ; à partir de là, les évidements ne laissant que des murs relativement faibles, ceux-ci sont en maçonnerie brute, avec revêtement de moellons. Entre chaque étage une couche de béton établit une liaison entre ces parties affaiblies.

Ces grandes piles qui flanquent le grand arc et le séparent nettement du reste de la construction qu'on peut considérer comme des viaducs d'accès, sont surmontées d'obélisques qui les distinguent encore davantage des autres piles couronnées de simples bahuts.

Les piles du second type (pile N° I, pl. 11, fig. 1 et 2) sont formées de deux piliers réunis en haut par une voûte de $6^{m}20$ d'ouverture et reposant chacun sur un massif de fondation distinct. Au-dessus de la clef de voûte un double ancrage en fer réunit les deux piliers.

Ces piles sont entièrement en béton avec le revêtement de moellons dont nous avons déjà parlé.

Construction métallique[1]. Elle comprend huit travées, dont la principale, franchissant l'Aar est un arc parabolique à larges retombées de $114^{m}86$ de portée et $31^{m}54$ de flèche. (Kirchenfeld portée de $80^{m}75$ et flèche de $25^{m}50$.) Les poutres porteuses au nombre de deux ont un écartement de 8 m. au sommet et de $13^{m}40$ à la retombée ; le fruit est un peu supérieur à $^{1}/_{12}$ (exactement $\frac{1}{12,239}$).

Chaque membrure de l'arc est solidement ancrée à la pile par quatre boulons, la membrure inférieure par des boulons de 35 mm. de diamètre et 4 m. de longueur fixés à des plaques de fonte noyées dans la maçonnerie ; des galeries (indiquées en pointillé dans les coupes MN et HI), ménagées pour pouvoir effectuer l'ancrage ont été ensuite remplies de béton. La membrure supérieure est ancrée par des boulons de 77 mm. à 90 mm. de diamètre et 6 m. de longueur aboutissant également à des plaques de fonte, au centre de la pile, dans des galeries accessibles (pl. p. 105).

L'écartement d'axe en axe des membrures de l'arc est de $4^{m}05$ à la retombée et de $1^{m}60$ au sommet.

Les poutres principales du tablier ont une hauteur de $1^{m}20$ et un écartement de 8 m. ; elles s'appuyent sur l'arc par l'intermédiaire de montants à treillis, à $10^{m}332$ de distance les uns des autres. Des consoles de $2^{m}30$ supportent la partie du trottoir qui déborde la poutre.

Ces poutres principales sont contreventées à leur partie inférieure et le contreventement aboutit à chaque pile à une plaque d'appui ancrée dans la maçonnerie.

Toutes les parties de ce grand arc sont très robustes tout en laissant dans leur ensemble une impression de légèreté grâce à d'heureuses proportions.

[1] Nous aurions désiré consacrer au moins une planche aux détails de la construction métallique, mais nous avons dû y renoncer, le *Bulletin* ayant actuellement en préparation d'autre part un nombre inusité de planches.

Cette partie essentielle du pont est reliée d'une part à la ville par un petit arc et une poutre droite, d'autre part au Spitalacker par quatre petits arcs enjambant les villas du Rabbenthal, et une poutre droite.

Les petits arcs ont une forme intermédiaire entre l'arc de cercle et la parabole. Leur portée est de $34^{m}43$ et leur flèche de $9^{m}60$. Ils sont articulés aux appuis. Comme le grand arc ils ont un fruit transversal un peu supérieur à $^{1}/_{12}$; l'écartement des poutres au sommet est de 8 m. La poutre en caisson de l'arc a une largeur de $0^{m}90$ à la retombée et de $0^{m}75$ au sommet.

La hauteur de la poutre principale du tablier a été maintenue constante sur toute la longueur du pont et la division en panneaux étant également la même d'un bout à l'autre, chaque ouverture est un multiple de $1^{m}722$, longueur du panneau. A vrai dire, en cours d'exécution on a légèrement augmenté cette longueur pour les petits arcs, sans que cela nuise cependant à l'aspect général.

Les travées droites qui terminent le pont à ses deux extrémités ont une portée de $16^{m}53$ avec quatre poutres principales, dont les deux médianes sont à âme pleine.

Le tablier est formé pour la chaussée de tôles embouties supportant une couche de béton et un pavé de bois de $0^{m}10$ d'épaisseur. Ces tôles embouties et galvanisées ont une épaisseur de 7 mm. ; elles donnent au tablier une grande rigidité et permettent de supprimer le contreventement supérieur.

Quant aux trottoirs, ils sont en béton et asphalte sur zorès en long.

Aux deux extrémités du tablier du grand arc sont ménagés des joints de dilatation.

Le poids total de la construction métallique sans le garde-corps atteint environ 1800 tonnes, dont la moitié pour le grand arc.

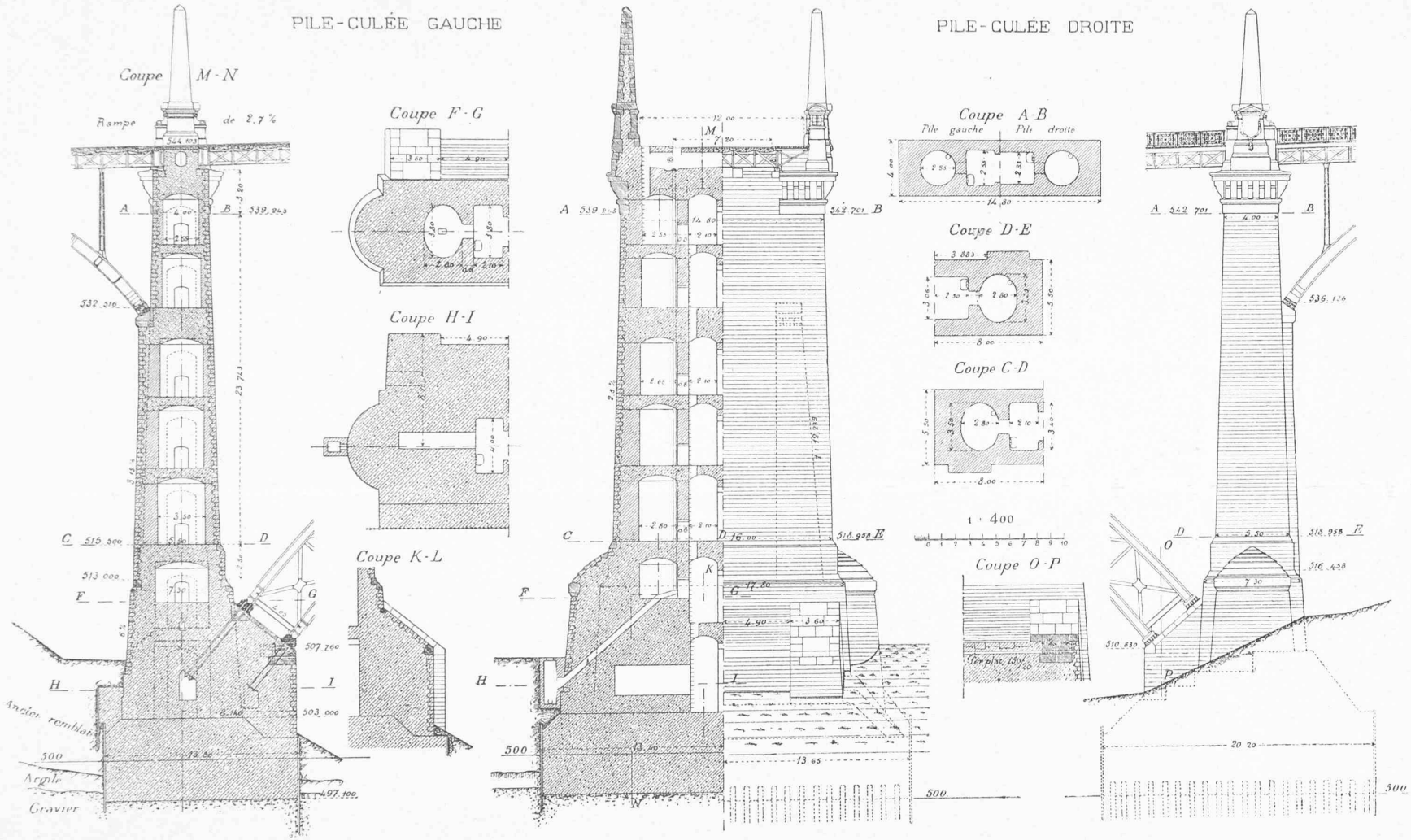
Le garde-corps en fonte dessiné et exécuté par la maison L. de Roll de Gerlafingen (Soleure) a une hauteur de $1^{m}20$ et un poids de 135 kg. par mètre courant.

Travaux.

La période d'exécution commencée à la fin d'août 1895, a été très intéressante à différents points de vue. Nous ne pouvons dans le cadre d'un article comme celui-ci donner une description détaillée de tous les travaux, aussi nous arrêterons-nous plus spécialement aux fondations qui ont présenté certaines difficultés.

Avant l'établissement du projet qui servit de base au concours, la direction des travaux de la ville avait fait faire sur l'axe du pont un certain nombre de sondages qui permirent de tracer approximativement le profil géologique du terrain.

La rive gauche présente entre l'Aar et la ville une côte escarpée et régulière d'environ 43 m. de hauteur, qui porte le nom significatif de « Schüttehalde. » C'est en effet un remblai datant peut-être de 200 à 400 ans et dans lequel on trouve en particulier les débris provenant d'un grand incendie de la ville. Trois puits de sondage pratiqués l'un au sommet, le second au tiers inférieur et le troisième non loin du bord de l'Aar, sur l'emplacement même de la pile-culée, firent constater que l'épaisseur du remblai variait de $8^{m}80$ dans la partie inférieure à



Détails de construction des deux piles-culées.

18 m. dans la partie supérieure. En dessous se trouve une couche de marne glaciaire variant de 2 m. à $11^{m}50$ d'épaisseur, reposant à son tour sur un banc de gravier de formation fluviale. La molasse, apparente en plusieurs points de la vallée, subit là une dépression notable ; on n'a pas pu déterminer sa profondeur par les sondages, mais des rails enfoncés au bord de l'Aar se sont arrêtés à une profondeur d'environ 14 m. au-dessous des basses eaux.

Culée gauche. Afin d'éviter les frais considérables d'une fondation profonde, on s'est contenté pour cette culée de l'asseoir sur le remblai en lui donnant un empatement suffisant pour ne soumettre le terrain qu'à une pression minime. Dans ces conditions on pouvait s'attendre à des mouvements de la culée, mais cette dernière ne servant d'appui qu'à une poutre droite, les tassements éventuels pourraient se corriger sans grande difficulté et ne modifieraient pas les conditions de travail de la construction métallique.

En cours d'exécution on a introduit une amélioration consistant en un plancher ou sorte d'armature formée de deux rangées superposées et croisées de poutrelles en I noyées dans le béton de fondation. On assure ainsi une répartition plus uniforme des pressions. Durant la construction déjà il s'est produit un petit tassement et en même temps la culée s'est légèrement penchée en avant. Depuis lors, ce mouvement a continué lentement. Du 4 janvier 1897 au 20 juin 1898 l'affaissement total a été de 55 mm. sur le devant et le surplomb atteint 18 mm. mesuré sur une hauteur de $3^{m}66$. Le massif entier avec ses murs en retour a suivi le mouvement, aucune fissure n'ayant pu être constatée.

Pile N° I (pl. 11). Si l'on pouvait se contenter d'une fondation sur le remblai pour la culée, il n'en était pas de même pour la première pile. Comme elle sert de point d'appui à un arc, il fallait lui donner une assise solide en la fondant sur le banc de gravier et pour cela traverser 16 m. de remblai et 8 m. de terrain naturel, marne glaciaire. Il était de la plus haute importance d'exécuter ces fondations en évitant de provoquer le moindre mouvement de la masse du remblai. Le problème fut résolu d'une manière très ingénieuse et nouvelle par M. Simons.

Comme nous l'avons dit plus haut, les petites piles sont formées de deux piliers réunis dans le haut par une voûte; à chacun de ces piliers correspond pour la pile N° I un pilier de fondation d'environ 27 m. de profondeur. Ces piliers ont en plan la forme indiquée sur la pl. 11, fig. 3, avec une section de $31^{m2}3$; ils sont formés d'une enveloppe de briques perforées de $0^{m}615$ d'épaisseur avec remplissage en béton. Cette enveloppe de briques a l'avantage de diminuer le poids de la construction et remplit en même temps le rôle de coffrage. Dans la partie inférieure un renflement du côté aval porte la longueur de la base de fondation à $8^{m}54$, correspondant à une section de $37^{m2}12$. pour chaque pilier. La pression uniformément répartie sur le sol est de $6^{kg}4$ par cm^2.

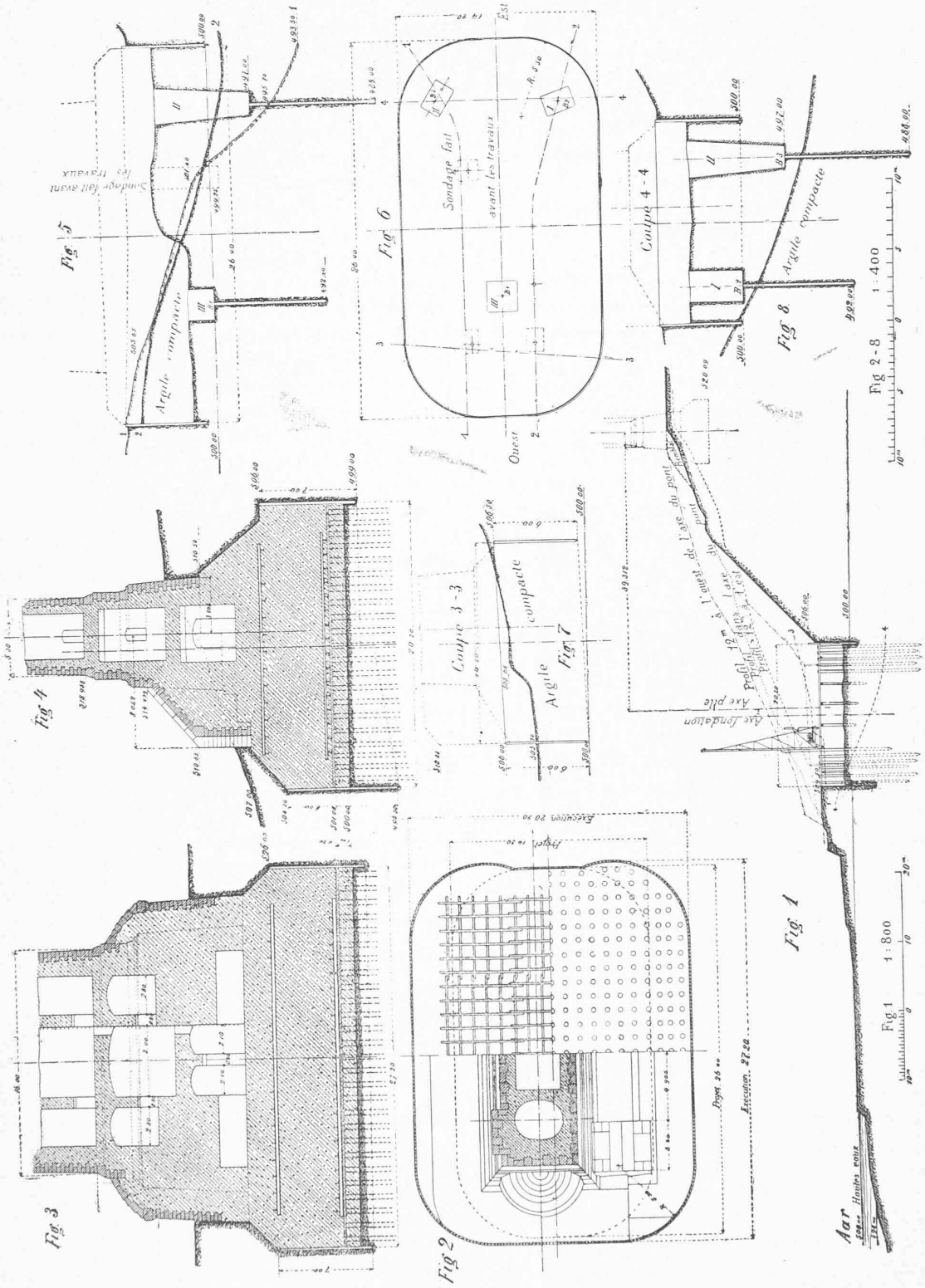
L'intention de M. Simons était de construire l'enveloppe de briques de haut en bas en maçonnant en sous-œuvre successivement anneau par anneau.

Pour établir le premier anneau à la partie supérieure, on employa les procédés ordinaires en prenant toutes les précautions voulues pour ne pas rompre l'équilibre du terrain. Le mur cintré d'aval fut d'abord maçonné jusqu'à une profondeur de 3 m., puis contre celui-ci vinrent s'appliquer les murs latéraux et enfin le mur cintré d'amont. De cette façon la pression du terrain d'amont est transmise au terrain d'aval et équilibrée. Une fois cet anneau déblayé et les murs latéraux convenablement étrésillonnés, on procéda comme suit à la fondation du pilier :

Supposons le puits terminé à une hauteur quelconque. L'enveloppe de briques repose sur des semelles de bois dépassant de $0^{m}04$ l'intrados du mur. Ces semelles sont simplement posées sur le terrain et viennent butter à l'intérieur contre une paroi de palplanches en bois de $1^{m}30$ sur $0^{m}25$, munies de sabots et de frettes. A chaque semelle correspond une palplanche. Ces palplanches sont maintenues par deux cadres d'étrésillons formés le long des murs latéraux par deux longrines en bois aux extrémités desquelles s'appuyent deux fers en ⌒ cintrés. D'une longrine à l'autre il y a 3 traverses pourvues à leurs extrémités de fers plats qui embrassent les longrines ; des coins chassés entre l'extrémité de la traverse et la longrine donnent le serrage voulu. Une fois qu'un anneau est terminé on desserre le cadre inférieur et le fait descendre de la quantité nécessaire suivant la hauteur qu'on veut donner à l'anneau à maçonner, puis on descend le cadre supérieur jusque sur le premier. Ensuite à coups de masse et en aidant un peu en creusant sous le sabot on enfonce 5 ou 6 palplanches jusqu'au niveau du cadre supérieur ; on enlève les semelles correspondantes, déblaie le terrain ainsi mis à nu, et après avoir replacé les semelles dans leur nouvelle position, on maçonne le vide en plaçant les briques de champ (pour obtenir une grande surface de frottement dans le sens vertical). On commençait ainsi en quatre points simultanément. (Pl. 11.) fig. 7, les segments teintés en noir.) Puis on répétait la même opération sur quatre autres points et ainsi de suite jusqu'à fermeture de l'anneau. En même temps on déblayait l'intérieur du puits de façon à maintenir constamment pour le maçon une hauteur qui lui permît de travailler commodément.

Dans le pilier *est* (à droite sur la fig. 2), exécuté le premier, les précautions inhérentes à un premier essai et la formation du personnel devaient nécessairement se traduire par une certaine lenteur dans l'avancement du travail. Les anneaux n'avaient d'abord que la hauteur de trois briques, soit environ $0^{m}47$, puis on augmenta successivement jusqu'au double. Grâce aux expériences faites dans ce premier puits, grâce aussi à un personnel bien entraîné et à une surveillance rigoureuse, le second puits fut exécuté rapidement, et exclusivement par anneaux de $0^{m}95$ de hauteur. Les trois assises inférieures de chaque anneau étaient maçonnées avec un mortier liquide de façon à être sûr que les joints fussent bien remplis. Tous les deux jours on fermait un anneau, de sorte que la maçonnerie à laquelle on enlevait son appui sur une longueur de $1^{m}50$ à $1^{m}75$ ne datait que de 48 heures au maximum et cependant on n'a observé aucune fissure ni aucun affaissement. Le mortier employé avait la composition que nous avons déjà indiquée plus haut pour le béton, soit 500 kg. de ciment Portland à prise un peu rapide pour 900 litres de sable.

A mesure qu'on descendait on étrésillonnait les murs longi-



Fondation de la pile-culée de droite.

tudinaux. A un anneau sur deux on laissait quelques briques en saillies destinées à supporter le cadre d'étrésillons. Ces cadres étaient donc espacés de $1^{m}90$.

Les déblais étaient enlevés par une cheminée en bois dans des seaux mus par un treuil actionné lui-même par un manège. Les briques étaient descendues par un canal en bois et le mortier par des tuyaux de fonte.

Les deux piliers ont été terminés sans accident; au contraire, la réussite du procédé employé a dépassé toute attente. Durant la construction de l'enveloppe de briques on a observé un affaissement de $0^{m}025$ du puits *est*, et de $0^{m}011$ du puits *ouest*. Il est à remarquer du reste que ces fondations n'ont été exécutées qu'après l'achèvement de celles de la pile culée gauche dont nous parlons ci-dessous.

Le puits terminé était immédiatement rempli de béton.

Au-dessous de la surface du sol ces deux piliers de fondation sont reliés par une voûte en béton et un double tirant en fer.

Dans l'exécution on n'a pas atteint la profondeur prévue dans le projet qui la fixait à la cote 502,21 ; on a pu s'arrêter à 505,47 du côté *est*, et à 506,00 du côté *ouest*, soit une économie de $3^{m}26$ d'un côté et de $3^{m}79$ de l'autre.

Jusqu'à présent cette fondation s'est parfaitement comportée, car du 7 novembre 1896 au 20 juin 1898 on n'a observé que 4 mm. d'affaissement.

Pile-culée de la rive gauche. La fondation de cette pile était celle où l'on s'attendait à rencontrer les plus grandes difficultés ; hâtons-nous de dire qu'elles ont été vaincues avec le plus grand succès.

Il ne s'agissait plus dans ce cas d'une fondation à faible section, mais il fallait ouvrir au pied du remblai une fouille de $26^{m}80$ de longueur sur $13^{m}80$. (Pl. 11, fig. 8-10.)

Comme nous l'avons vu, l'épaisseur du remblai en cet endroit dépasse 8 m. et d'après le projet la fondation devait atteindre une profondeur moyenne de $10^{m}60$. Tout autour de la fondation était prévue une enceinte de palplanches en fer se composant de poutrelles en I disposées en croix comme l'indique la figure 10.

Cependant la hauteur du terrain d'amont nécessita le battage préalable d'une paroi auxiliaire de palplanches de $4^{m}50$ de hauteur. Cette première paroi permit d'établir une plateforme à niveau sur laquelle la sonnette à vapeur pouvait se manœuvrer facilement. Quant à l'enceinte proprement dite de la fondation, elle se compose de poutrelles de 7 m. du côté de l'Aar et de $6^{m}50$, du côté de la ville, battues jusqu'à une profondeur suffisante pour que les érosions ne soient plus à craindre ; de cette façon l'emploi des palplanches métalliques permet de diminuer la profondeur de fondation.

A mesure que l'avancement de la fouille le rendait nécessaire, les parois étaient étrésillonnées par de fortes pièces de bois s'appuyant dans l'axe de la fondation sur une rangée de pilotis également en fer I. En outre, entre les parois supérieure et inférieure la terre fut déblayée sur $0^{m}30$ à $0^{m}40$ de profondeur et remplacée par du béton bien damé.

Pour être en mesure de constater les moindres mouvements éventuels du terrain et prendre le cas échéant des mesures immédiates, des observations journalières très exactes furent faites au sommet de la paroi supérieure. Durant 66 jours d'observation, c'est-à-dire jusqu'au moment où l'avancement des maçonneries fit disparaître tout danger, le mouvement total occasionné par la poussée des terres ne fut que de 41 mm.

A part leur solidité ces palplanches en I ont l'avantage de présenter une grande étanchéité provenant de ce que la terre prise entre les poutrelles y est très fortement comprimée et ferme les joints.

Malgré le voisinage immédiat de l'Aar et son niveau dépassant parfois de 2 m. le fond de la fouille, l'eau fut peu abondante et deux pompes ordinaires débitant quinze litres par minute suffirent à l'évacuer.

La paroi métallique restant définitivement en place constitue une cuirasse protégeant le massif de fondation contre les érosions.

Le banc de gravier s'étant présenté dans des conditions plus favorables qu'il n'était prévu on put arrêter la fondation à la cote 497,10 soit $1^{m}80$ plus haut que d'après le projet.

Le premier coup de pioche avait été donné en août 1895 et à la fin de novembre on commençait le remplissage en béton.

Dans le voisinage de la pile on n'avait que fort peu de place disponible. Un dépôt de gravier se trouvait au bord de l'Aar à 300 m. en amont ; on installa en cet endroit une bétonnière actionnée par un moteur à pétrole de sept chevaux, et le béton préparé était amené à la fondation par wagonnets.

D'autre part, un second groupe, moteur et bétonnière, était installé près de la fondation. Le gravier qui lui arrivait par bateaux de différents points de l'Aar au fur et à mesure des besoins, était déchargé et lavé dans des canaux ad hoc, puis un petit funiculaire le transportait à la bétonnière située quelques mètres plus haut. Le sable arrivait du haut de l'échafaudage par un canal en bois.

Ces deux installations parvinrent à fournir plus de 200 m^3. de béton par journée de 9 $^1/_2$ heures.

Lorsque la construction eut atteint la hauteur du socle, les matériaux furent amenés de la place du Grenier sur l'échafaudage par voie de service, puis descendus à la pile par un ascenseur.

Pile-culée de la rive droite. La fondation de cette pile devait être, suivant le projet, identique à celle de la rive gauche, avec la seule différence que la base de fondation devait avoir une surface de 348 m^2. au lieu de 338 m^2. Comme sur la rive gauche plusieurs puits de sondage avaient fourni les données du projet, un puits pratiqué sur l'emplacement même de la pile (cliché *e*, fig. 5 et 6) avait donné les résultats suivants :

$6^{m}50$ d'argile sablonneuse jaune mélangée de pierres.

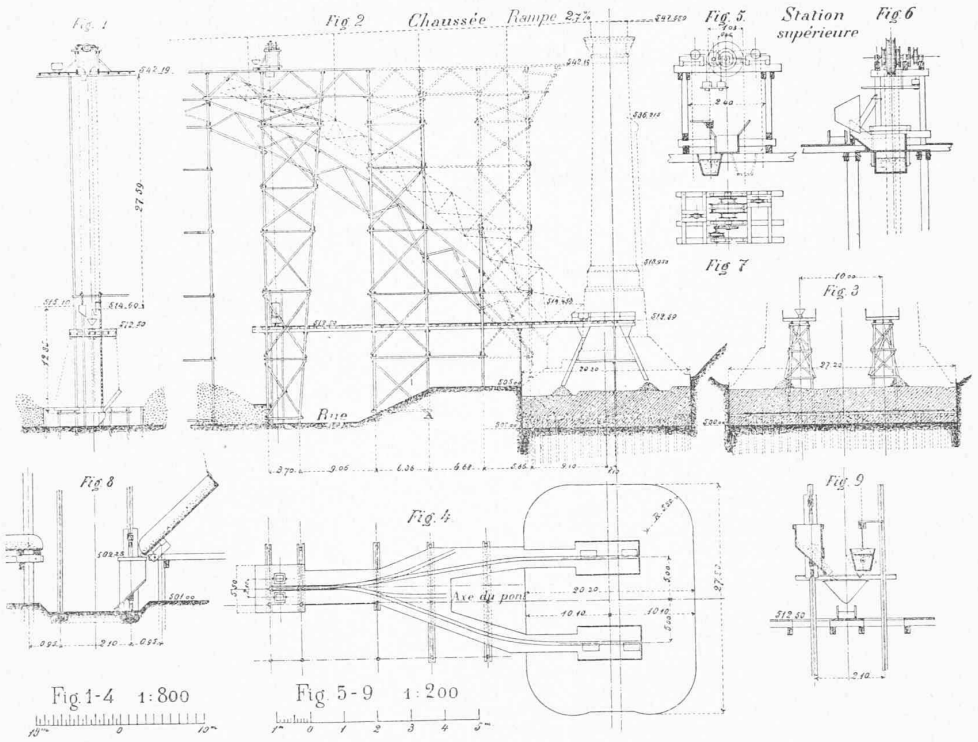
$1^{m}50$ de sable et gravier.

En dessous se trouvait un banc d'argile compacte bleue, de formation glaciaire.

C'est sur ce banc d'argile qu'on projetait d'asseoir la fondation avec une pression maxima de $4^{kg}9$ par cm^2.

Dès qu'on eut commencé les travaux de fouille dans le flanc de la colline on put constater que le terrain ne répondait pas partout aux indications fournies par le puits de sondage. Dans la partie ouest de la fouille, l'argile compacte se rencontrait déjà à une faible profondeur, et environ 6 m. plus haut que dans le sondage.

Comme sur la rive gauche, on battit une enceinte de palplanches en fer et les observations qu'on put faire pendant cette opération confirmèrent les prévisions relatives au peu d'homogénéité du terrain. A mesure que la fouille avançait on s'aperçut que la surface du banc d'argile compacte avait une inclinaison très prononcée. Trois puits de sondage furent pratiqués aux endroits indiqués pl. p. 107, fig. 6, et démontrèrent que sur les 26 m. de longueur de la fondation il y avait une dénivellation de 12 m. parallèlement au cours de l'Aar et en sens inverse, tandis que perpendiculairement à la rivière il y avait une légère pente contre la colline. Dans la partie *est* on rencontrait de l'eau en abondance provenant d'une poche souterraine alimentée par quelques sources du voisinage. Les



Bétonnage de la pile-culée de droite.

pompes étaient insuffisantes à l'évacuer, mais on put s'en rendre maître plus tard au moyen de deux siphons de 38 mm. de diamètre débouchant dans l'Aar.

Bref, on se trouvait en plein chaos glaciaire. Des tentatives furent faites à la sonde pour trouver le rocher, mais à une profondeur de 26 m. au-dessous de la base de fondation (cote 500) on ne rencontrait toujours que l'argile.

En présence de ces résultats, une commission d'experts consultés par la direction des travaux prescrivit les mesures suivantes :

1° Elargissement de la fondation de 3 m. de chaque côté dans le sens de l'axe du pont, de façon à augmenter de moitié la base de fondation en la portant à une surface de 525 m²; la pression sur le sol serait ainsi réduite à 3kg5 par cm².

2° Fonçage d'une nouvelle enceinte métallique composée de poutrelles de 8 m. de longueur du côté Aar et de 7 m. du côté opposé, dont les pointes devaient atteindre respectivement les cotes 496,00 et 499,00.

3° Maintien de la base de fondation à la cote prévue au projet (500,00) et battage d'environ 300 pieux de pitchpine de 12 à 15 m. de longueur, dans le but soit de comprimer le terrain, soit de reporter dans les couches profondes la charge de la pile.

C'était le bouleversement non seulement des travaux de cette pile, mais de tout le programme de construction du pont; c'était aussi une grosse dépense imprévue à supporter par la ville, car les entrepreneurs qui avaient pris à forfait la construction avaient décliné toute responsabilité au sujet de la nature du sol. Un nouveau contrat fut conclu et le délai de livraison du pont primitivement fixé au 1er janvier 1898 dut être reporté au 1er janvier 1899. Nous pouvons ajouter que malgré ces difficultés, la meilleure entente n'a cessé de régner entre la direction des travaux et l'entreprise [1].

Le terrassement nécessaire pour rélargir la fouille une fois terminé, et la nouvelle paroi de palplanches battue, on enleva la première, en partie en l'arrachant, en partie, là où elle s'enfonçait trop profondément dans le sol, en la coupant à coups de dynamite.

L'étrésillonnage de la nouvelle enceinte de palplanches s'appuyant dans le milieu sur une double rangée de pieux, servit de plancher pour les sonnettes à vapeur destinées au battage des pilotis. Trois sonnettes furent employées à ce travail. On battit d'abord deux rangées de pilotis sur le périmètre de la fondation, puis successivement par rangées concentriques en allant de la périphérie au centre. Vu l'urgence, au lieu de faire venir les pilotis de pitchpine directement d'Amérique, on dut se les procurer sur le marché européen; ils étaient équarris et parallélipipédiques, conditions peu favorables au pilotage. Leur section variait entre 32 × 32 cm. et 38 × 38 cm.

Les pilotis devaient répondre aux conditions suivantes : un

[1] Bien que les comptes ne soient pas encore définitivement arrêtés, le coût approximatif du pont peut s'établir comme suit :

Prix à forfait des entrepreneurs	Fr. 1 746 000
Economies réalisées dans les fondations des piles I et II, environ	» 22 000
Reste,	Fr. 1 724 000
Frais supplémentaires pour la fondation de la pile-culée de droite, environ.	» 250 000
Divers travaux de renforcement, etc., non prévus au projet, environ.	» 100 000
Escalier et viaduc d'accès à la culée droite, environ . .	» 56 000
Total,	Fr. 2 130 000

refus de 5 cm. pour une volée de 10 coups d'un mouton de 1000 kg. sous 3 m. de chute.

Mais lors même que leur nombre fut porté à 432 au lieu de 300, le battage était terminé au niveau du plancher de manœuvre qu'un petit nombre seulement de pilotis répondaient aux conditions fixées. Comme il restait encore plus de 3 m. de longueur disponible on décida de procéder à un second battage de tous les pilotis.

On aurait pu en prolongeant les jumelles de la sonnette battre en contrebas du plancher, mais, eu égard au grand nombre de pièces de bois de l'étrésillonnage, il aurait fallu chaque fois qu'on passait d'un pieu à un autre démonter les jumelles, ce qui eût occasionné une grande perte de temps. M. Simons évita cet inconvénient en fabriquant des moutons de 7 m. de longueur et du poids de 1250 kg., consistant en une poutre de chêne munie d'un sabot de fonte et de frettes. On battit ainsi un certain nombre de pilotis jusqu'à créer à l'étage inférieur un espace libre assez grand pour y descendre les sonnettes et poursuivre le battage avec le mouton ordinaire.

En se servant alors des pilotis voisins des parois du caisson pour étayer celles-ci, on put supprimer tous les étrésillons qui entravaient le travail.

Le battage terminé, les pilotis furent recépés à la cote 501,00 de façon à être noyés sur 1 m. de hauteur dans le béton de fondation.

En somme ce pilotage n'a pas donné tous les résultats qu'on en attendait. Tout d'abord pour ce qui concerne la compression du terrain, celui-ci, de nature plastique, refluait et reprenait en hauteur la plus grande partie du volume occupé par le pilotage. Le plancher portant les sonnettes qui reposait au milieu de la fondation sur une double rangée de pieux, prit un bombement de plus en plus accentué et finit par se trouver au milieu 0^m50 plus élevé qu'au début du pilotage. Un massif de béton dont on avait rempli un puits de sondage remonta de 0^m30. La compression du terrain peut avoir atteint environ 4 % d'après des calculs approximatifs.

Quant à la résistance des pilotis, à part quelques-uns qui n'ont pas satisfait aux conditions, on a obtenu une résistance de 200 à 250 tonnes par pieu. Pour le calcul de cette résistance on a admis une formule récemment développée dans le journal *Centralblatt der Bauverwaltung* (avril 1896), formule basée sur le résultat de deux volées successives avec des hauteurs de chute notablement différentes. La résistance est directement proportionnelle au poids du mouton et à la différence entre les hauteurs de chute, inversément proportionnelle à la différence des pénétrations :

$$R = P \frac{h_1 - h_2}{x_1 - x_2}$$

En admettant que toute la charge de la pile et sa surcharge, montant à 18 000 tonnes, soit répartie sur 400 pilotis, chacun de ceux-ci doit porter 45 tonnes, ce qui n'a rien d'anormal. Par contre, la réaction sur le béton, la section moyenne d'une tête de pieu étant de $^1/_{10}$ de m², atteindrait 45 kg. par m². Il est évident que cette hypothèse faisant porter toute la charge aux seuls pilotis est trop défavorable, car on ne peut faire abstraction du sol de fondation, non plus que de l'adhérence aux parois du caisson. Cependant, pour obtenir une meilleure répartition de la charge, après avoir bétonné jusqu'au niveau des têtes de pilotis, on a établi sur toute la surface un radier métallique en utilisant, en deux couches superposées et entrecroisées, les poutrelles en I de la première enceinte de palplanches, le tout noyé dans un béton gras. 5 m. plus haut il y a de nouveau un radier semblable. (Pl. p. 107, fig. 2, 3 et 4.)

Le remplissage en béton de ce caisson n'est pas la partie la moins intéressante de cette fondation. Le temps pressait, on était au milieu de février 1897 et l'on avait commencé ce travail en septembre 1895. Près de 5000 m³ de béton devaient s'engouffrer dans cette fondation. Le gravier était en dépôt sur la rive droite de l'Aar sous l'échafaudage du grand arc. M. Simons, jamais à court d'idées ingénieuses, combina son installation de la façon suivante. Le mortier préparé mécaniquement sur la place du Grenier c'est-à-dire non loin de la culée gauche du pont, était amené par wagonnets sur l'échafaudage jusqu'à la station supérieure d'un monte-charge situé à proximité de la fondation (pl. p. 109); là il était vidé dans une caisse ad hoc suspendue à un câble métallique fixé à un tambour. Une autre caisse semblable se trouvait en ce moment à l'autre extrémité de la course. Pendant ce temps, à la station inférieure située au dépôt de gravier on lavait et chargeait dans une caisse suspendue de la même façon que les précédentes, mais à un tambour de plus petit diamètre la quantité de gravier correspondant au mortier chargé en haut. Chaque chargement contenait 75 kg. de ciment, 135 litres de sable et 337 litres de gravier, soit $^3/_8$ m³ de béton. Par son poids, le mortier en descendant faisait monter le gravier et les deux caisses arrivaient ensemble à la station intermédiaire située un peu plus bas que le tiers inférieur, où elles étaient simultanément vidées dans un wagonnet. Puis le mélange transporté à niveau sur un pont de service jusqu'au-dessus de la fondation, était jeté dans quatre entonnoirs aboutissant dans le caisson.

Cette seule installation a fourni en moyenne 130 m³ de béton par journée de 10 heures (148 m³ au maximum).

Une fois que la maçonnerie de la pile eut atteint une certaine hauteur, l'échafaudage devant rester libre pour le montage du grand arc, les matériaux, sauf le mortier, furent amenés du plateau du Rabbenthal par un petit chemin de fer aérien actionné par un moteur à pétrole.

Les travaux furent poussés très activement, car il importait de pouvoir ancrer sur la pile le contreventement du tablier du grand arc; aussi, à la fin de septembre, soit au bout de sept mois, on atteignait la hauteur voulue (46^m10 au-dessus de la fondation).

Cette pile s'est jusqu'à présent fort bien comportée. L'affaissement total du 8 avril 1897 au 20 juin 1898 ne dépasse pas 15 mm.

Piles du Rabbenthal et culée de droite. Les fondations n'offrent aucune particularité; leur profondeur atteint au maximum 5 m. et le terrain de fondation est partout la moraine. On a donné des bases assez larges pour réduire la pression à $2^{kg}8$ par cm² au maximum.

La pile N° IV située immediatement au-dessus de la pile-culée de la rive droite n'a été commencée qu'après l'achèvement de la fondation dont nous venons de parler, de façon à éviter de provoquer des glissements dans les berges de la fouille.

Le nivellement de précision sur ces piles du Rabbenthal a donné des affaissements insignifiants (au maximum 3 mm.)

On pourrait s'étendre encore beaucoup sur ces travaux, sur la construction métallique, les échafaudages, etc., mais cela nous porterait trop loin. Nous avons désiré surtout mettre en relief les points les plus importants, et ceux de nos lecteurs que cela intéresse trouveront de plus amples détails dans les articles publiés par M. Simons dans la *Schweizerische Bauzeitung*, tome XXIX, N° 6 et tome XXXI, N°s 13 et 14 [1].

Berne, le 29 juillet, 1898.

[1] Nous devons à l'obligeance de M. Simons d'avoir pu utiliser trois dessins originaux qu'il a bien voulu mettre à notre disposition

LAUSANNE. — IMP. GEORGES BRIDEL & Cie