Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 40 (1914)
Heft: 24

Artikel: Pont en béton armé sur l'Aar, à Olten
Autor: Froté, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-30878

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: 11.07.2025

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

40me Année. 25 Décembre 1914. N° 24

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES — PARAISSANT DEUX FOIS PAR MOIS

RÉDACTION : Lausanne, 2, rue du Valentin : Dr H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE : *Pont en béton armé sur l'Aar, à Olten,* par E. Froté, ingénieur-conseil (suite et fin). — *Eglise de Poliez-Pittet* par L. Brazzola, architecte (Pl. 12 et 13). — Sur l'énoncé le plus général des lois de l'induction. — Concours de plans pour l'Hôpital Daler à Fribourg. — Programme du concours d'idées pour la construction du pont « Butin » sur le Rhône.

Pont en beton armé sur l'Aar, à Olten.

par E. Froté, Ingénieur-Conseil, à Zurich.

(Suite et fin)[1].

L'arche étant dans tous les cas soumise uniquement à la compression, elle pourrait se passer théoriquement d'armature. On en a cependant introduit une pour plus de sécurité. La section totale des fers a été admise à environ 0,2 % de la section du béton de la voûte. Vingt-sept barres de 20 mm. de diamètre, reliées ensemble tous les 50 centimètres par des barres transversales de 10 mm. de diamètre, sont par conséquent noyées dans le béton à l'extrados et à l'intrados du premier quart de la demi-voûte. Dans la partie du milieu, soit dans le deuxième et troisième quart le nombre des barres s'élève à trente, tandis qu'au quatrième quart, vers la clef, il est réduit à vingt-trois. Sous les colonnettes, les fers de 10 mm. sont renforcés, aussi bien à l'extrados qu'à l'intrados, de façon à ce que 8 fers ronds de 10 mm. distancés de 8 cm. l'un de l'autre répartissent mieux les efforts des colonnettes sur la voûte. La disposition de l'ensemble des fers ronds se trouve à la fig. 6. Les joints des barres de 20 mm. de diamètre sont exécutés avec soin. Chaque extrémité des deux barres à relier ensemble est munie d'un crochet, puis les barres ligotées ensemble sur une distance de 40 centimètres. Aux deux endroits où le nombre des barres longitudinales varie, les fers se croisent sur une longueur de 60 à 350 centimètres suivant la fig. 6. Tous les cinquante centimètres les barres de l'extrados sont reliées aux barres de l'intrados par des étriers de 8 millimètres de diamètre.

Les articulations aux naissances et à la clef de la voûte ont été étudiées et exécutées avec le plus grand soin. La construction de rotules en acier aurait occasionné de trop grands frais de sorte qu'il fallut étudier une articulation plus simple. Pour différents autres ponts de moindre importance, l'auteur avait employé une bande de plomb contenant un certain pourcentage d'antimoine, intercalée entre des moëllons de béton armé ou de granit noyés dans le béton de la voûte. Pour le pont d'Olten, les pressions aux naissances et à la clef sont trop élevées pour permettre d'employer ce système. En effet, la plaque de plomb aurait dû avoir une telle largeur que sa grande surface de contact aurait presque annulé le but de l'articulation. La courbe de pression pouvant varier de position les moëllons d'articulation auraient eu à subir des efforts de pression et d'extension.

L'auteur s'est décidé à construire les articulations d'après la fig. 7. La bande de plomb utilisée ultérieurement pour d'autres ponts a été remplacée par une lame d'acier de 25 mm. d'épaisseur et de 250 mm. de hauteur. La longueur de chaque lame est de 500 mm. ; elles sont jointes l'une à l'autre sur la largeur totale de la voûte de 6 mètres. Afin d'éviter l'introduction d'eau et d'autres matières cette lame d'acier est entourée d'une tôle en fer de 5 mm. d'épaisseur qui est repliée à l'extrados de la voûte.

Les efforts de la voûte en béton armé sont transmis à la lame d'acier par une rangée de moëllons en granit de 400 mm. de largeur, de 600 mm. de hauteur et de 500 mm. de largeur chacun. Ces moëllons sont noyés dans le béton, lequel pour augmenter sa résistance à la pression, est muni sur une longueur de 0,60 mètre de plusieurs groupes entrelacés l'un dans l'autre, de cercles fermés, placés en cône autour de fer longitudinaux et établis avec des barres de 10 mm. de diamètre.

Au lieu de polir les surfaces de contact des blocs de granit, afin d'obtenir un contact uniforme, ce qui aurait occasionné de gros frais, il a été intercalé de minces plaques de plomb doux entre la surface unie et piquée des blocs et la tôle protégeant la lame d'acier. Ce plomb malléable remplit les irrégularités du granit, de sorte que l'on peut compter sur une transmission uniforme des efforts de la voûte à l'articulation.

En employant des articulations entièrement en granit, sans lame d'acier, les grandes surfaces de friction auraient diminué la liberté des mouvements ; les surfaces non unies auraient été broyées par les fortes pressions, ce qui aurait occasionné des efforts défavorables.

Les matériaux employés pour les articulations du pont d'Olten, soit la lame d'acier et le granit, ont à supporter l'effort maxima d'env. 190 kg/cm², la résistance à la rupture pour cet acier étant supérieure à 5000 kg. par cm², et celle du granit d'Uri, employé au pont, de 1800 kg/cm².

Il était à prévoir pendant et après la construction du pont, des fléchissements de la voûte, fléchissements qui

[1] Voir N° du 25 novembre 1914, page 249.

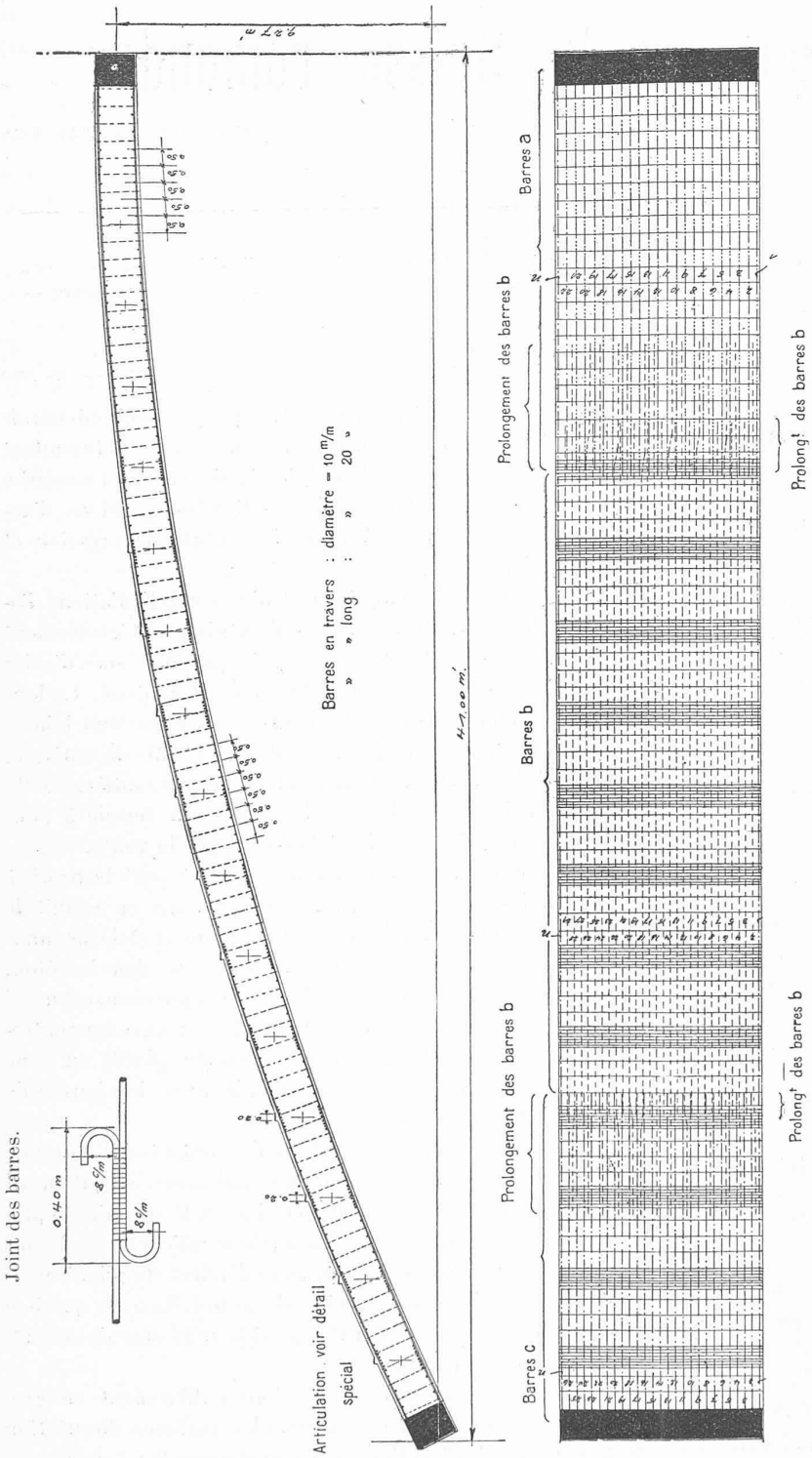


Fig. 6. — Détails des armatures de la voûte principale.

ont été estimés autant que possible par le calcul avant l'établissement du pont. Les causes et les estimations de ces fléchissements sont mentionnées ci-dessous.

C'est d'abord la charge constante qui occasionne un rétrécissement de l'arc et par conséquent un abaissement de sa clef. En prenant en considération la force longitudinale de retrécissement ainsi que l'influence des efforts de cisaillement et des moments de flexion, le fléchissement de la clef se calcule à env. 8,5 cm.

Ensuite, la construction de la voûte se faisant en été, il était prudent de prévoir un abaissement de température jusqu'à l'achèvement des travaux. En admettant une diminution de température d'environ 20°, le rétrécissement de la voûte devait occasionner un abaissement de la clef d'environ 4,9 cm.

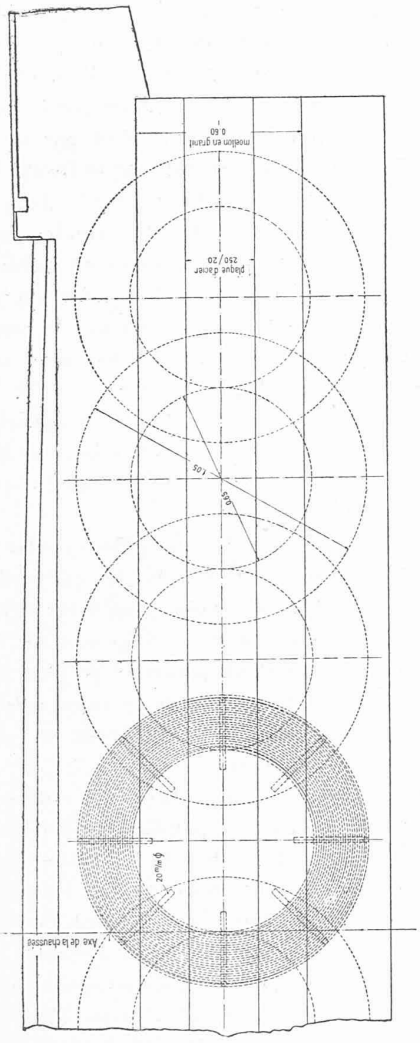
Le desséchement de la voûte qui se produit à la longue, occasionne une contraction, estimée à env. $\frac{1}{2000}$ de la longueur. Ce rétrécissement a pour effet un affaissement de la clef d'env. 9 cm. Un quatrième affaissement de la voûte devait être prévu par le recul des culées. En effet, ces dernières ne pouvant être fondées sur le roc, mais simplement dans des terrains d'alluvion, il semblait nécessaire d'admettre pour une voûte d'une telle importance une contraction du sol et par conséquent un recul des culées. En admettant un recul de 2 cm. seulement, il résultait des calculs un fléchissement de la clef d'environ 4,8 cm.

Malgré la construction d'un échafaudage et de cintres solides, il était à prévoir cependant des tassements et des contractions des bois et de l'échafaudage même. Il résultait de ce fait un fléchissement de la voûte, à la clef, de 3,7 cm. environ.

En résumé il fallait donc prévoir un fléchissement total de la clef de la voûte de $8{,}5 + 4{,}9 + 9{,}0 + 4{,}8 + 3{,}7 = 30{,}9$ centimètres.

Pour remédier à ce fléchissement possible après l'achèvement du pont les cintres ont été surélevés à la clef d'environ 30 cm. Il est cependant à remarquer qu'après le décintrage de la voûte, les affaissements prévus ne se sont produits que partiellement. Cela provient d'abord du fait que, contrairement aux prévisions d'une compression du sol, ce dernier n'a pas cédé, car aucun recul des culées n'a pu être observé. D'autre part la méthode employée pour bétonner la voûte a eu pour conséquence de réduire sensiblement les retraits du béton et par conséquent de l'arche, retraits qui par précaution avaient été calculés largement. Il était préférable que la flèche de l'arc reste supérieure à la flèche admise plutôt que d'être raccourcie.

La voûte fut bétonnée par voussoirs dans l'ordre indiqué à la figure 8. De forts étrésillons maintenaient les intervalles de 0,6 mètre et plus de largeur entre les claveaux, intervalles qui furent bétonnés après coup. De



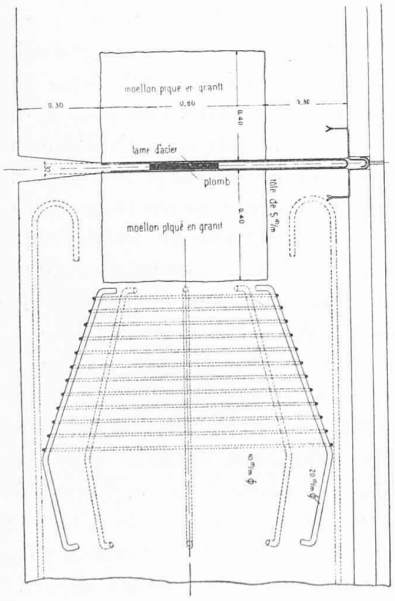


Fig. 7. — Articulation à la clef.

cette façon les voussoirs pouvaient durcir séparément et réduire par conséquent le rétrécissement total de la voûte à un minimum. Ce mode opératoire permettait en outre de fermer des plus grandes longueurs de voûte lorsque l'échafaudage a déjà subi, par le poids des parties bétonnées sa déformation ou plutôt son tassement. Grâce à la division adoptée et à l'exécution soignée de l'échafaudage, le but prévu a été complètement atteint, car il n'a été découvert aucune fissure sur la voûte.

Il est évident que pour la construction d'une voûte si considérable, le béton devait être de toute première qualité. Il était composé de gravier et de sable lavés et de ciment Portland artificiel de première qualité, mélangés ensemble au moyen d'un malaxeur. Le dosage était de 350 kg. de ciment pour 1200 litres de gravier et de sable. Près des naissances et près de la clef, on a augmenté la quantité de ciment à 400 kg. Les essais faits avec des cubes de béton, exécutés d'avance avec le dosage du béton de la voûte, ont donné une résistance de pression minimum de 263 kg/cm² en 8 jours et de 351 kg/cm² en 28 jours. La résistance de tension était de 27,5 kg/cm² en 8 jours et de 34,2 kg/cm² en 28 jours. La voûte seule a absorbé 700,5 m³ de béton.

L'échafaudage. L'échafaudage représenté sur les fig. 9 et 10 a été calculé avec un grand cœfficient de sécurité et exécuté avec toutes les précautions nécessaires, afin d'obtenir le plus léger tassement possible. Toutes les charges sont transmises directement sur les pilotis. A l'exception des poutres et des planches sur lesquelles repose le béton de la voûte, il n'existe point de parties soumises à la flexion, toutes les autres poutres n'ont à supporter que des pressions axiales. Pour empêcher l'enfoncement des montants et des contrefiches dans les traverses et pour réduire les pressions, dans le sens du fil du bois, les montants et les contrefiches ont été placés sur des blocs de bois dur. Pour garantir les cintres contre les pressions du vent, leur base a été élargie, aussi bien en amont qu'en aval de la voûte. L'échafaudage a été établi de façon à ce qu'il ne soit pas endommagé par les hautes eaux et surtout par toutes sortes d'épaves que celles-ci entraînent. Des rangées de 6 pilotis chacune ont été enfoncées dans l'Aar à une distance de 6 mètres l'une de l'autre et reliées ensemble au-dessus du niveau des hautes eaux. Pour faciliter le décintrage, la partie supérieure de l'échafaudage a été posée sur 48 boîtes à sable, en tôle, de forte dimension. Pour protéger le sable contre l'humidité, on l'avait recouvert d'une couche de ciment. Près des naissances, les soutiens du coffrage de la voûte étaient supportés directement par les pilotis; des boîtes à sable et des coins y avaient aussi été intercalés. Pour protéger les rangées de pilotis contre le choc de matériaux ou d'épaves que pourrait amener l'Aar, des brise-glaces en rails ont été enfoncés devant chaque rangée.

Les culées. Les culées représentaient la partie la plus délicate du pont. Chaque culée est formée d'un bloc de béton, dans lequel 4 treillis composés de câbles de 30 millimètres de diamètre ont été noyés. Ces treillis sont reliés ensemble par des étriers en fers ronds de 10 mm. de dia-

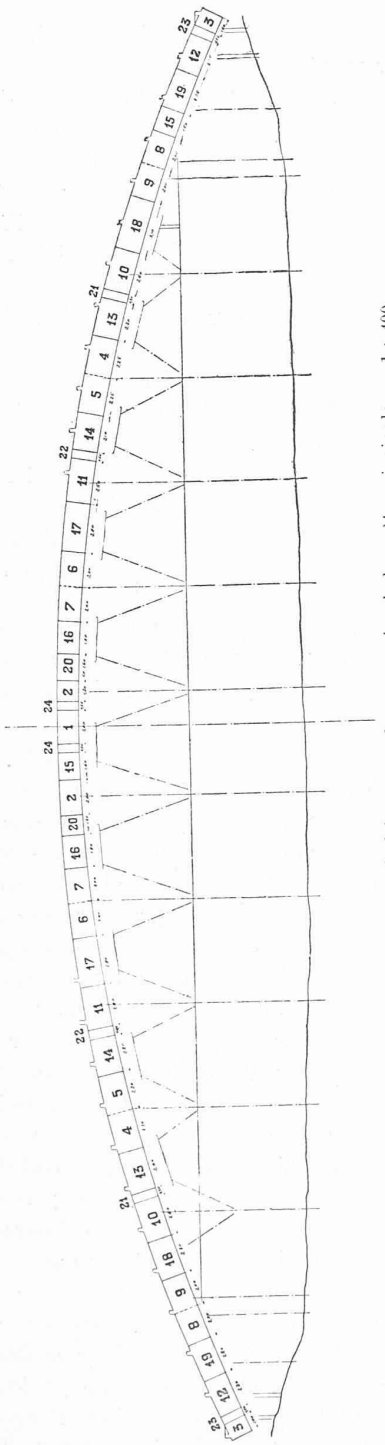


Fig. 8. — Plan de travail pour le bétonnage des voussoirs de la voûte principale. — 1 : 400.

mètre. Ces forts treillis ont été placés après qu'il avait été reconnu par les fouilles que le terrain n'était pas homogène, qu'il contenait de légères couches de sable un peu suspectes et moins résistantes que le reste du sol. Pour éviter par conséquent des fissures dans le béton, ce dernier a été armé de façon à ce que les parties de la culée reposant sur le sol plus résistant puissent supporter toute la poussée. Les culées ont aussi tellement bien réussi qu'après le décintrage de la voûte et le chargement du pont ensuite, il n'a pas même été remarqué un recul d'un millimètre.

Afin de ne pas augmenter inutilement la pression du sol, on construisit sur chaque culée une cage vide jusqu'au tablier du pont, suivant la fig. 4, cage ou chambre qui est munie d'une porte et qui sert actuellement de réduit à la municipalité. La forme était donnée par la forme de la culée. La disposition de ces cages n'est pas la même sur les deux rives, puisqu'à la rive droite se trouve le passage d'un chemin. Le mur du côté du pont, dans lequel se trouve la porte et des petites fenêtres rondes, est en béton ordinaire, tandis que les autres murs sont établis en béton armé avec parois et contreforts. Des piliers en béton armé soutiennent en outre le tablier, formé de sommiers et hourdis en béton armé. Les détails des culées sont représentés dans les figures 11, 12, 13 et 14.

Les pressions maxima du sol ont été calculées sur la rive droite à 2,18 kg/cm² à l'angle supérieur de la culée et à 2,26 kg/m² à l'angle inférieur et sur la rive gauche à 2,13 kg/cm² et à 2,14 kg/cm².

Pour préserver les fouilles des culées contre le courant de l'Aar et pour pouvoir exécuter les excavations et le bétonnage à sec, il a été établi dans l'Aar pour chaque culée un batardeau très solide, composé d'un fort noyau d'argile, dammé entre deux parois en palplanches. L'évacuation des eaux se faisait par des pompes actionnées par des moteurs électriques. Les batardeaux ont été enlevés après l'achèvement du pont.

Afin d'éviter des érosions futures des culées par l'Aar, il a été enfoncé une paroi de palplanches le long de chaque bloc de béton, du côté du fleuve. Le béton des culées a été exécuté avec différents dosages. A la base il était composé d'un mélange de 180 kg. de ciment Portland de 1re qualité et de 1200 litres de gravier et de sable; puis venait une couche d'environ 1,30 m. d'épaisseur, toujours à peu près perpendiculaire à la résultante des pressions, ayant 220 kg de ciment, puis une troisième ayant 280 kg par 1200 litres de gravier et de sable. Vers les naissances de la voûte, le béton contenait par 1200 litres de gravier et de sable 350 à 400 kg de ciment. Les fondations des culées ont nécessité une excavation de 900 m³ sur la rive gauche et de 475 m³ sur la rive droite. Les blocs de béton constituant les culées de la voûte ont un volume de 340 m³ sur la rive gauche et de 386 m³ sur la rive droite. La maçonnerie non armée au-dessus de ces blocs, atteint une quantité de 97 m³, tandis que tous les travaux en béton armé, soit les murs, les colonnes et les tabliers ont employé 69 m³ de béton sur la rive gauche et 43 m³ sur la rive droite.

Les colonnes, le tablier et la chaussée. Le poids du tablier et de la chaussée, y compris les trottoirs, ainsi que la surcharge du pont, sont transmis à la voûte par les rangées de colonnettes. Aux abords de la clef, le tablier se confond avec la voûte. Les colonnes extérieures ont une section variante de 30 cm. à 40 cm. à la façade sur 20 cm. de profondeur. Cette variation a été faite pour cause d'esthétique. Toutes ces colonnes contiennent 6 fers de 12 mm. de diamètre reliés ensemble par des étriers en fers ronds de 6 mm. Les colonnes dans l'intérieur du pont ont une section de 20 cm. sur 20 cm. avec 4 barres de 12 mm. de dia-

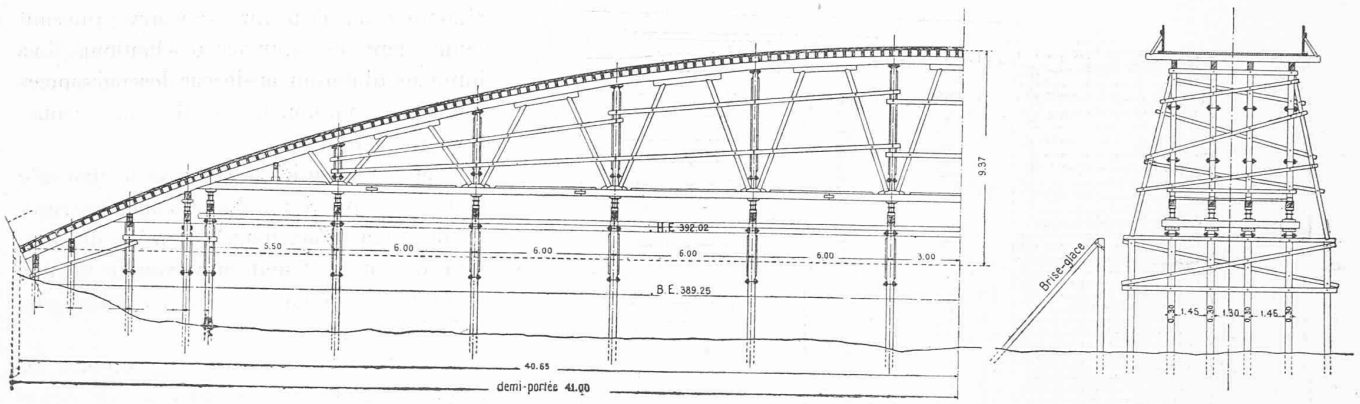


Fig. 9. — Echafaudage. — 1 : 300.

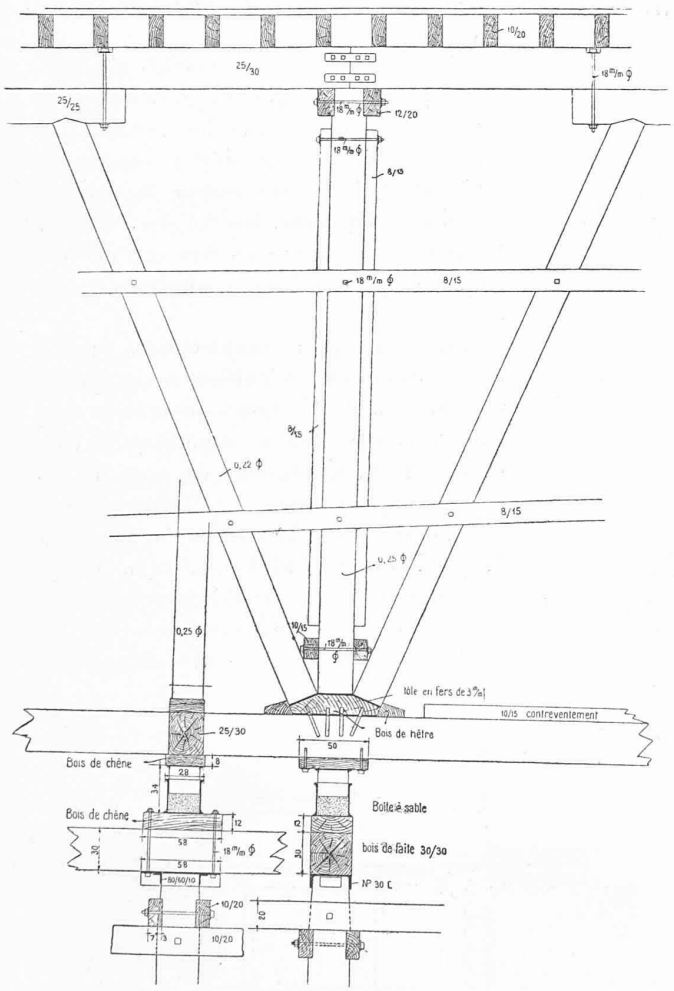


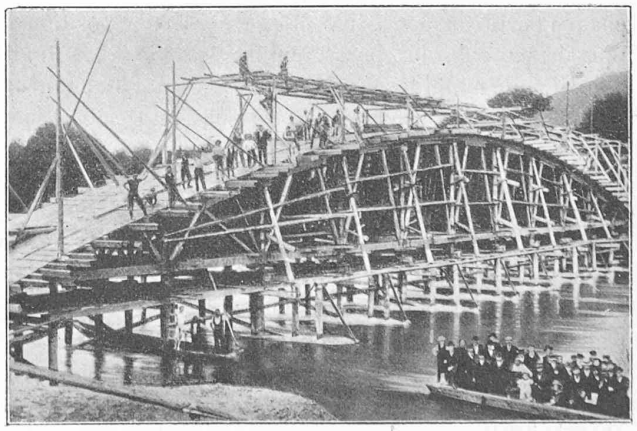
Fig. 10. — Détails de l'échafaudage. — 1 : 50

mètre. Les colonnes des 4 rangées vers les naissances sont reliées ensemble transversalement par des poutrelles en béton armé, afin de présenter plus de stabilité contre les flambages. Les rangées des colonnes sont distantes l'une de l'autre de 2,40 m. Chaque rangée est composée de 4 colonnes éloignées l'une de l'autre de 1,45 m. Les barres des colonnes sont bien ancrées dans la voûte.

Ces colonnes supportent des poutres principales longitudinales, qui à leur tour, supportent la dalle du tablier, la chaussée et les trottoirs. Les poutres de 0,50 m. sur 0,20 m. sont arrondies vers les colonnes, et sont armées de fers ronds de 12 mm. de diamètre avec des étriers de 6 mm. Les détails sont indiqués sur la fig. 15.

Le tablier de la chaussée (fig. 16) a une épaisseur de 15 cm. et est arrondi vers les poutres ; quant aux trottoirs ils sont construits en porte à faux en prolongation du tablier de la chaussée. L'armature est composée de fers ronds de 10 mm. courbés suivant les efforts indiqués par le calcul. Pour éviter des fissures dans le béton provenant de la dilatation, les poutres longitudinales ainsi que la dalle du tablier sont interrompues aux endroits où la dalle se confond avec la voûte et près des culées, où elles ne reposent pas sur celles-ci. Aux deux extrémités du pont, vers les culées, de fortes poutres transversales donnent une grande rigidité aux dernières colonnes et à la dalle (fig. 18).

Tous les travaux en bèton armé ont été calculés conformément aux prescriptions de l'Association suisse des ingénieurs et architectes. Il a été admis pour les poutres et les dalles du tablier ainsi que pour les colonnes, le passage d'un char de 12 tonnes ayant un écartement des roues de 1,6 m. et des essieux de 3,0 m. Pour ces parties du pont ce mode de surcharge était plus défavorable qu'une surcharge uniformément répartie de 350 kg par m².



Vue de l'échafaudage.

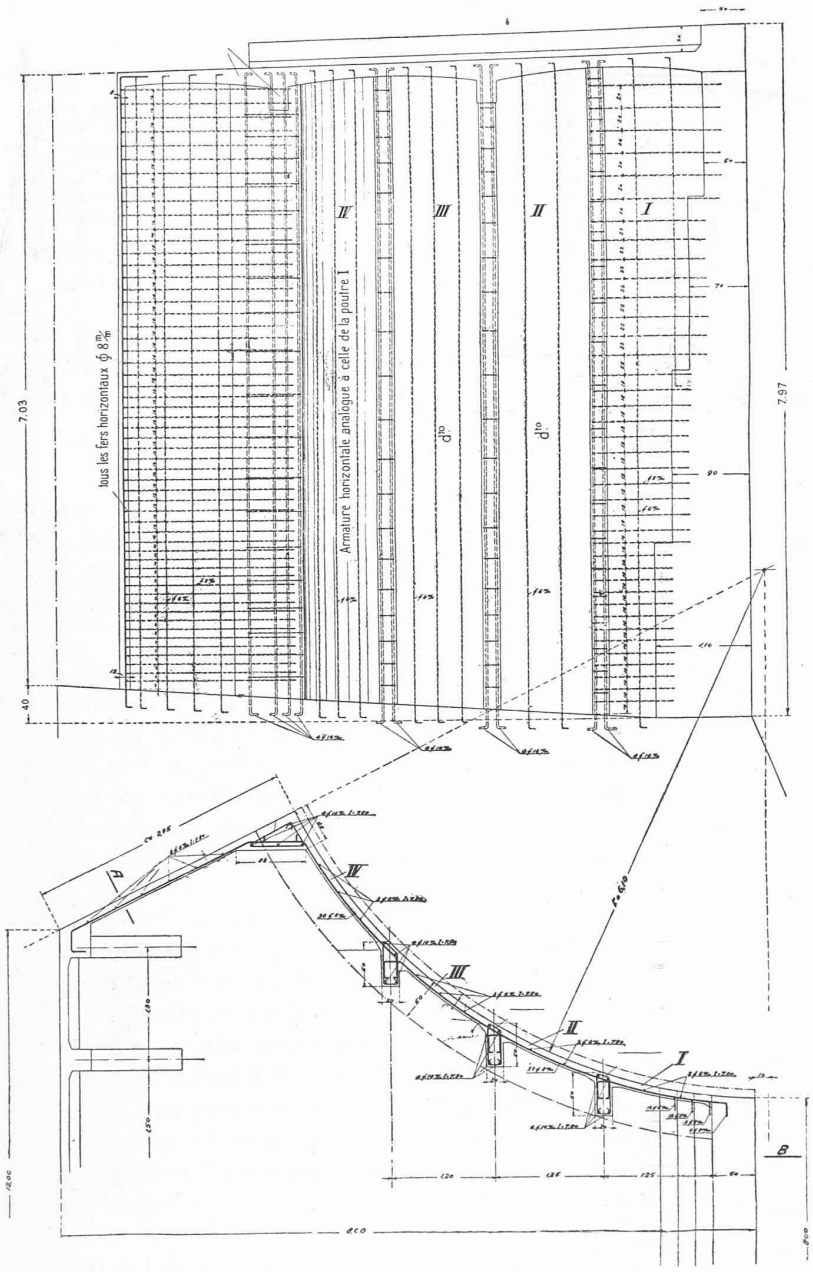


Fig. 11. — Culée gauche. — Armature des parois.

chaque partie du pont, il a été recherché la position la plus défavorable du char. Pour les sommiers longitudinaux il a été établi les lignes d'influence pour les moments de quelques sections et à l'aide de celles-ci la courbe des moments maxima.

La limite prescrite pour le travail à la compression du béton de 40 kg/cm² et pour celui à l'extension du fer de 1200 kg/cm² n'a été atteinte dans aucune partie de ces travaux. Les efforts de cisaillement existant dans les différentes parties sont bien inférieurs à la limite admissible de 4,0 kg/cm². Les colonnes ont aussi été vérifiées à leur résistance au flambage.

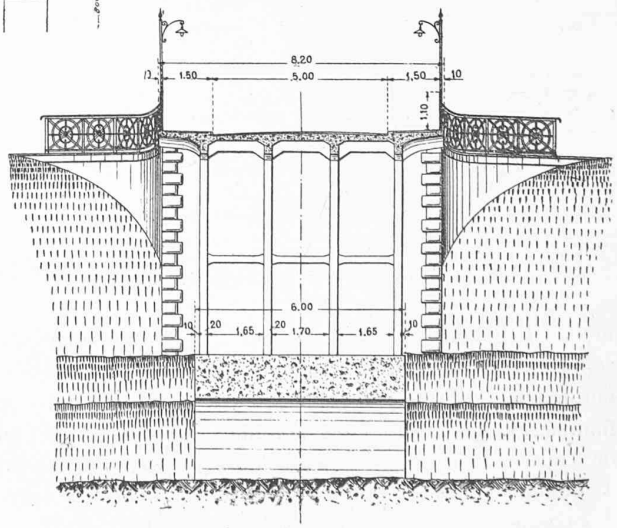
La chaussée qui était d'abord prévue en une couche d'asphalte pilé de 5 cm. d'épaisseur a été formée d'un macadam au goudron qui résistait mieux à la chaleur. Le trottoir est cimenté et bordé de fortes cornières qui sont tenues dans le béton par des boulons. Les joints de dilatation au-dessus des naissances et à la clef sont bouchés par des tôles recourbées et élastiques.

Pour l'évacuation des eaux de la chaussée et des trottoirs il a été établi dans les rigoles des regards aux deux extrémités du pont, regards qui se vident au moyen de tuyaux en fonte descendant le long des culées jusqu'à l'Aar.

Le tablier de la chaussée y compris les sommiers ont nécessité 84,7 m³ de béton armé, les trottoirs 47,9 m³, les colonnes avec les poutrelles 20,8 m³ et le remplissage entre la voûte et le tablier au sommet de l'arche 21,3 m³.

Les garde-fous sont construits très solidement en fer. Toutes les précautions ont été prises pour ne pas les rendre trop lourds et gâter la vue paisible de l'ensemble. Huit candélabres, très légers, fournissent l'éclairage électrique. Il a été placé sous les trottoirs des consoles en fers qui devront supporter plus tard les conduites à gaz et à eau.

Essais. Le pont complètement achevé, des essais ont été exécutés avec un rouleau compresseur de 15 tonnes quoique le contrat de construction ne stipulât qu'un char de 12 tonnes. Le passage du pont fut fait à différentes vitesses. Les fléchissements maxima ont été à la clef du côté amont de 3,5 mm. et du côté aval de 4,0 mm. Malgré les fortes vibrations produites par le rouleau compresseur il n'a été observé aucune fissure dans les différentes parties du pont.



Coupe transversale à la culée. — 1 : 200.

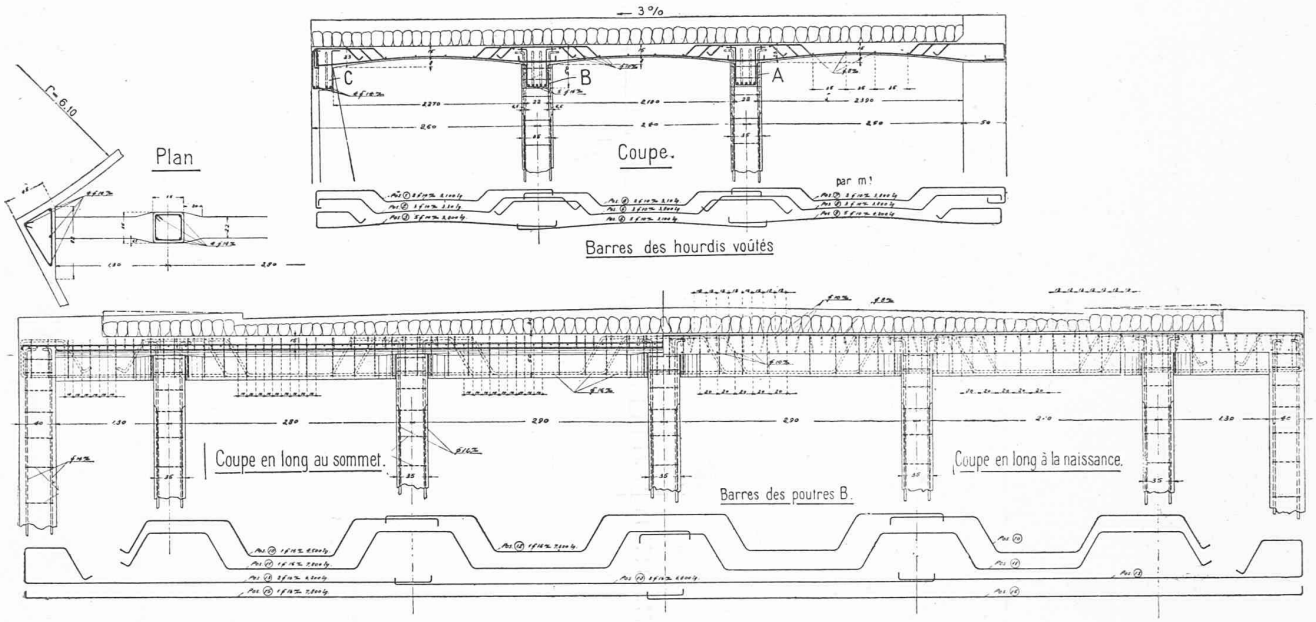


Fig. 13.— Culée gauche. – Armature des hourdis et des poutres. — 1 : 80.

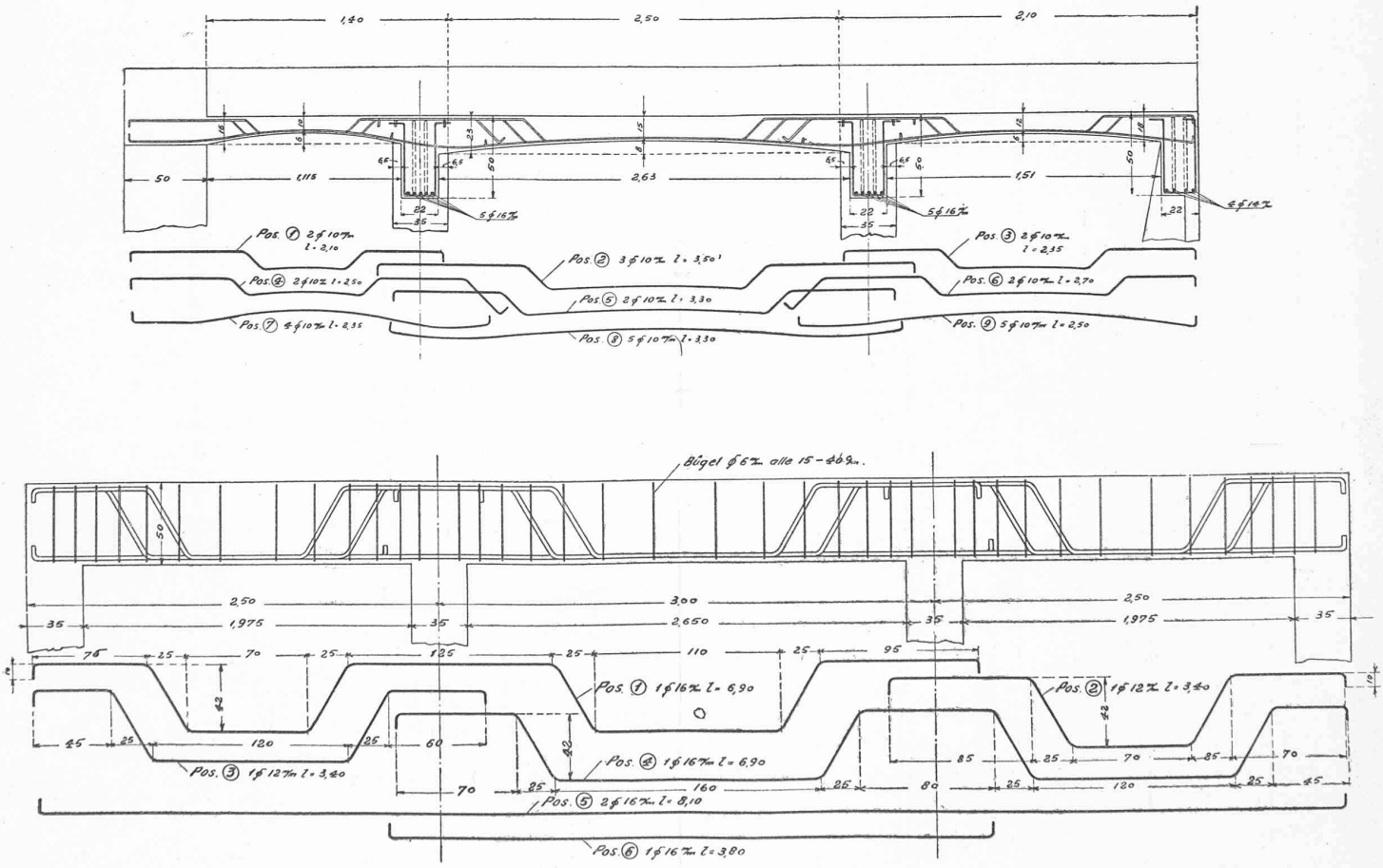


Fig. 14. — Culée droite.— Armature des hourdis voûtés et des poutres.— 1 : 40.

Coupe *A-B*.

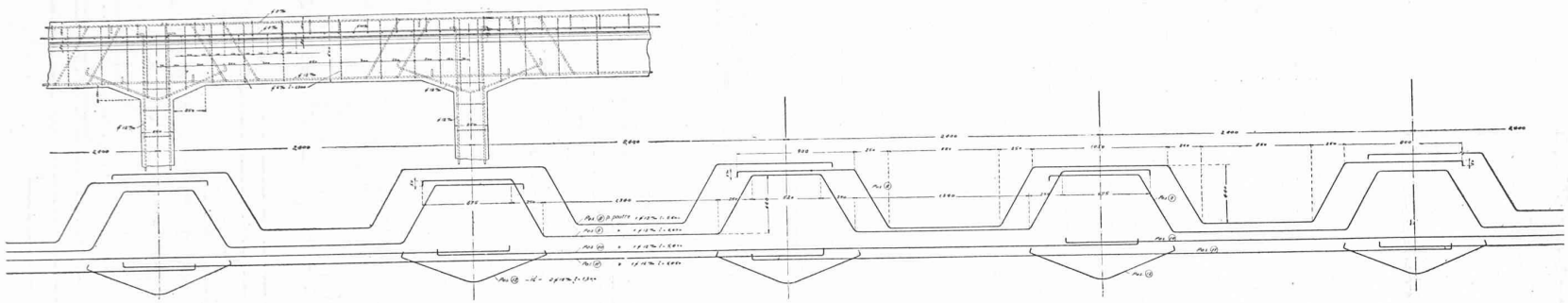
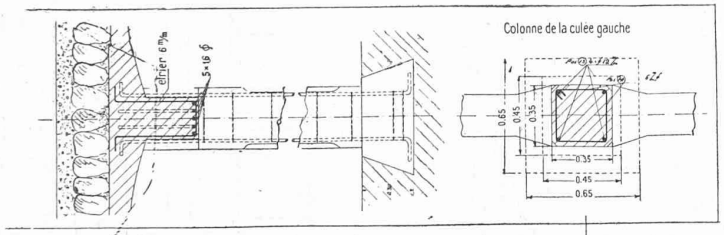


Fig 15

Fig. 17.



Coupe.

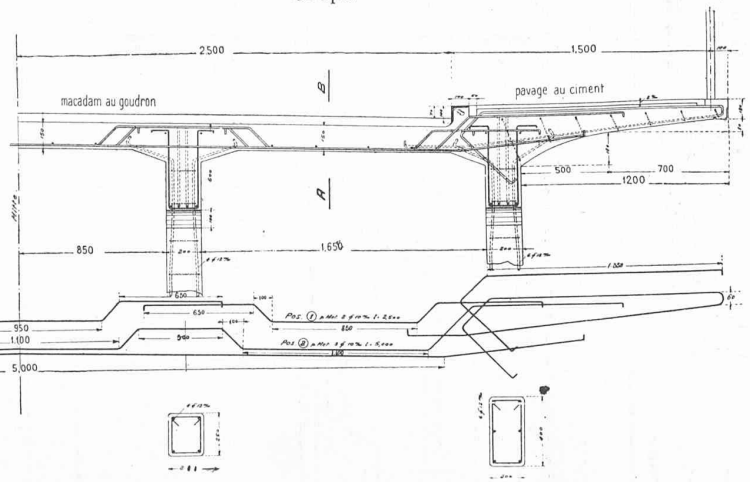


Fig. 16.

Fig. 15, 16 et 17. — Plan d'armature pour la chaussée, les trottoirs et les poutres longitudinales.

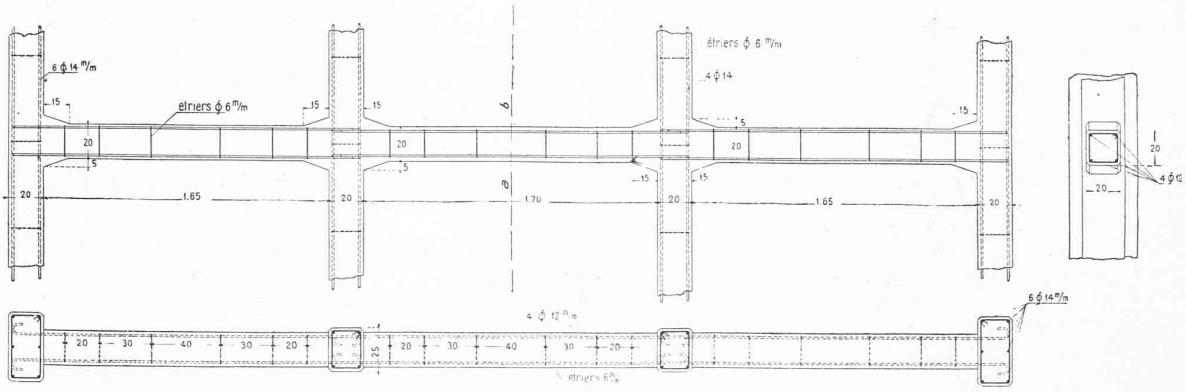


Fig. 17. — Poutres transversales des colonnes de la chaussée. — 1 : 40.

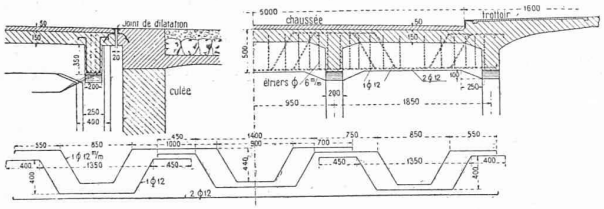


Fig. 18.— Armature des poutres transversales aux 2 extrémités du pont.

Chantiers. Le gravier et le sable provenant des grandes carrières d'Olten, furent amenés sur la rive droite où était installé le malaxeur, actionné par un moteur électrique. Un pont en bois exécuté au-dessus du tablier et reposant sur l'échafaudage de l'arche, permettait au moyen d'une double voie Decauville, le transport du béton du malaxeur jusqu'à toutes les parties du pont. L'assemblage de la charpente pour les échafaudages et les cintres se faisait sur un grand champ, situé sur la rive gauche. C'est aussi là que furent préparés les fers ronds pour le béton armé.

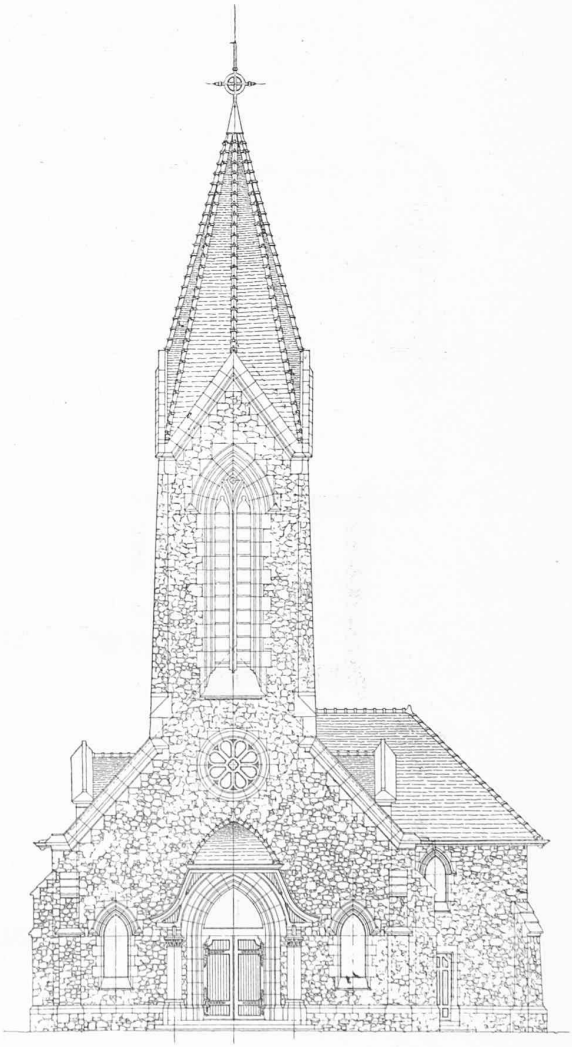
Avec les installations précitées, les travaux en béton ont pu être achevés en peu de temps. On a atteint par jour l'exécution de 40 m³ de béton pour la voûte qui offrait quelques difficultés, à cause des nombreuses barres et des étriers qui s'y trouvaient, et des blocs de béton à établir séparément.

Quantité. Le pont a nécessité en tout 823 m³ de béton ordinaire, 987 2 m³ de béton armé et 50 tonnes de fers ronds pour ce dernier.

Coût. Le pont y compris les culées est revenu à fr. 135 000 ou fr. 173 par m² de superficie. Dans cette somme les échafaudages et cintres complets avec les pilotis figurent avec fr. 22 500, les batardeaux et les palplanches pour fr. 6800, le reste soit fr. 105 700 représente la valeur de tous les autres travaux du pont.

Divers. Pendant toute la construction du pont il n'y a eu aucun accident d'une certaine gravité à déplorer. Malgré les hautes eaux, presque continuelles, et la constitution variable du sol des fondations, ce qui augmentait les difficultés, les travaux ont suivi leur cours normal, de sorte qu'il n'y a pas eu de retard.

Depuis que le pont a été remis à la circulation, il a eu à résister à de lourdes charges et à de hautes eaux sans que l'on ait pu remarquer quelque changement à son état primitif. Il remplit ainsi complètement le but pour lequel il a été construit, et est en même temps un nouvel ornement pour la ville d'Olten.



Façade sur l'entrée.

EGLISE DE POLIEZ-PITTET