

Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 11 (1885)
Heft: 2

Artikel: Reconstruction du pont sur la Thièle à Yverdon
Autor: Röthlisberger / Simons / Meyer, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-12037>

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: 25.02.2026

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

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT 4 FOIS PAR AN

Sommaire : Comparaison de la gamme et du spectre, par E. Pellis, ing. — Reconstruction du pont sur la Thièle à Yverdon, par J. Meyer, ing. (Avec planches.) — L'industrie des anthracites aux Etats-Unis, par Ch. de Sinner, ing. — Notice sur le chemin de fer funiculaire de Territet à Glion, par A. Vautier, ing. (Avec planche.) — Réunion de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, à Lausanne, en 1885.

COMPARAISON DE LA GAMME ET DU SPECTRE

Nous avons cherché à comparer la série des durées de vibrations qui constitue notre gamme musicale avec la série correspondante pour les couleurs du spectre.

Nous ne savons pas si ce travail a déjà été fait ; nous l'avons entrepris à la suite de considérations sur le rapport qui paraît exister entre la qualité de nos sensations et la notion du temps.

On sait que les notes de la gamme correspondent à des nombres de vibrations proportionnels aux chiffres ci-après :

<i>ut</i>	2
<i>si</i>	1 + $\frac{7}{8}$
<i>la</i>	1 + $\frac{2}{3}$
<i>sol</i>	1 + $\frac{1}{2}$
<i>fa</i>	1 + $\frac{1}{3}$
<i>mi</i>	1 + $\frac{1}{4}$
<i>ré</i>	1 + $\frac{1}{8}$

La durée relative des vibrations est donc inversement proportionnelle à ces chiffres ; elle est donnée par le tableau suivant :

<i>ut</i>	0,500
<i>si</i>	0,533
<i>la</i>	0,600
<i>sol</i>	0,667
<i>fa</i>	0,750
<i>mi</i>	0,800
<i>ré</i>	0,889

Ces chiffres sont purement relatifs, nous ne modifierons en rien leurs rapports et leur signification en les multipliant tous par le coefficient constant 508 qui facilite la comparaison. Plaçons ces chiffres ainsi transformés à côté de ceux qui expriment la longueur moyenne des ondulations lumineuses en millièmes de millimètres, et qui sont proportionnels aux durées de ces ondulations parce que toutes les couleurs marchent avec la même vitesse.

Nous obtiendrons ainsi le tableau comparatif ci-après, dont la dernière colonne consiste en différences. Ces durées sont d'ailleurs exprimées en unités de temps différentes pour chaque colonne, ce qui est admissible parce qu'il s'agit de deux sens absolument distincts, l'ouïe et la vue, qui fonctionnent probablement sous deux unités de temps différentes :

	Gamme.	Spectre.	Différences.
<i>ut</i> et violet	254	423	169
<i>si</i> et indigo	271	449	178
<i>la</i> et bleu	305	475	170
<i>sol</i> et vert	339	512	173
<i>fa</i> et jaune	381	551	170
<i>mi</i> et orangé	406	583	177
<i>ré</i> et rouge	452	620	168

Le parallélisme des deux colonnes devient complet lorsque l'on définit les couleurs du spectre par les longueurs d'ondulation 424, 441, 475, 509, 551, 576 et 622, ce qui n'introduit de modification notable que pour l'indigo et l'orangé, couleurs qui laissent quelque latitude à l'œil, l'indigo surtout.

On ne s'étonnera pas que le passage du sens de l'ouïe à celui de la vue puisse entraîner à la fois une modification d'échelle et une différence constante. La parenté des deux courbes apparaît par leur construction graphique. La note musicale *mi* et la couleur orangée qui lui correspond se trouvent toutes deux dans une dépression sensible et caractéristique.

E. PELLIS.

RECONSTRUCTION DU PONT SUR LA THIELE

A YVERDON

(Avec planches.)

Extrait et traduction d'un mémoire publié dans le *Polytechnico* (journal de la Société des ingénieurs civils de Milan, vol. XXXII), par MM. Röthlisberger et Simons, ingénieurs.

Parmi les divers travaux projetés et exécutés par les ingénieurs soussignés, un des plus intéressants est assurément celui de la reconstruction des culées et des piles du pont sur la Thièle, à Yverdon.

Par suite des travaux de la correction des eaux du Jura, le niveau du lac de Neuchâtel s'abaissa de 2^m40 environ et les pluies qui survinrent à la fin de décembre 1878 provoquèrent de fortes érosions aux abords du pont, qui finirent par compromettre les fondations de l'ouvrage et rendre indispensables les travaux dont nous allons donner un aperçu.

Le niveau des eaux se maintint sans changement en amont du pont, par suite d'engorgements considérables exécutés en cet endroit par la compagnie du chemin de fer afin d'empêcher un trop fort affouillement des fondations de cet ouvrage, avant leur reconstruction ; mais en aval, sur la longueur de 20 à 25 m.

occupée par les enrochements à partir des premières piles rencontrées par le courant, il se produisit des différences de niveau qui suivaient celles du lac et qui atteignirent jusqu'à 1^m80. L'eau prit en conséquence une grande vitesse et il devint nécessaire d'augmenter les travaux de défense pour consolider le nouveau lit creusé dans un terrain de sablon argileux très affouillable. Au bout de quelque temps la reprise des fondations elles-mêmes devint aussi indispensable. Elle fut retardée pendant plusieurs années par suite d'un procès pendant entre la Compagnie et l'Etat de Vaud, puis aussi à cause des grandes difficultés que présentaient les conditions exceptionnelles dans lesquelles devait se faire le travail.

Le tablier du pont (poutre continue à 3 travées) fait un angle de 35° avec l'axe de la rivière. Chaque poutre du pont a des piles tourelles spéciales; l'excessive obliquité de l'ouvrage a nécessité cette disposition; des piles complètes auraient eu une largeur démesurée. Les culées par contre tiennent toute la largeur du pont et forment mur de soutènement pour les berges. Les piles comme les culées avaient été fondées sur pilotis; les pieux, moisés à leur sommet, avaient 8 à 9 m. de long. Il n'était pas possible de réutiliser ces bois, en partie altérés par leur exposition à l'air depuis l'abaissement des eaux.

Les ingénieurs de la Compagnie s'arrêtèrent à l'idée de démolir les piles, d'arracher les pieux et de reconstruire le tout en utilisant les matériaux provenant de la démolition, en conservant toutefois la même forme aux piles, mais en fondant par le procédé pneumatique; on rétablissait ainsi la section d'écoulement primitive de la rivière, chose importante et dont dépendait l'adoption du projet.

Entre divers projets présentés, la Compagnie de la Suisse Occidentale choisit celui de la maison G. Ott & C^e de Berne dont le devis se montait à 157 000 francs; on imposa à l'entrepreneur de maintenir la circulation des trains sur une voie seulement pendant toute la durée de l'exécution.

Voici la répartition de la somme totale du forfait.

Palées provisoires près des piles, battage de pieux et pont de service	Fr. 6 800
Démolition et reconstruction de deux culées à 46 200 fr. l'une	» 92 400
Démolition et reconstruction des 4 piles tourelles à 12 400 fr. chacune	» 49 600
Quatre murs en retour des culées, démolition et reconstruction	» 6 000
Raccordements et divers	» 2 200
Total, Fr. 157 000 ¹	

La disposition des palées provisoires, la construction des piles et des culées ainsi que le mode d'évacuation des déblais faits dans les caissons étaient des travaux intéressants et en partie tout à fait nouveaux. Il n'est pas dans notre intention de faire une description détaillée de tous les travaux de reconstruction, nous désirons seulement dire quelques mots au sujet des nouvelles dispositions employées et donner les motifs qui nous les indiquèrent. Les trois planches ci-jointes faciliteront l'intelligence

¹ La Compagnie avait à sa charge les palées près des culées et le passage des voies sur la fouille de ces culées qui ont exigé des estacades considérables exécutées sous la direction de son ingénieur M. Paul Manuel. La dépense totale a ainsi atteint environ 200 000 francs.

de ce que nous avons à dire. Le ponctué indique les anciennes fondations en plan et en élévation.

Palées provisoires. (Pl. II.)

A gauche et à droite de chaque tourelle à démolir, on établit une palée. (Fig. 1.) Le coefficient de sécurité admis pour les bois était de 30 kg. par centimètre carré, mais le poids du pont chargé n'exerçait sur le massif de béton servant de fondation aux palées qu'une pression de 7 kg. par centimètre carré qui se réduisait à $\frac{3}{4}$ kg. par centimètre carré sur le terrain.

Dans le massif de béton étaient encastrés de 40 à 50 pieux de 15 à 18 cm. de diamètre et de 3 à 3^m50 de longueur, fichés entre les enrochements dont nous avons parlé en commençant. Cette fondation des palées fut encore protégée par des enrochements pris sur place. Pendant toute la durée des travaux, on exerça une surveillance très active sur les érosions que pouvaient produire les eaux, et l'on renouvela les enrochements chaque fois que le besoin parut s'en faire sentir.

Pour les culées, on procéda d'une manière analogue, en élevant aussi des palées provisoires (mais plus larges); ces palées devaient en même temps soutenir un pont provisoire portant une voie pour maintenir la circulation des trains au-dessus des fouilles. Ces palées se sont parfaitement comportées, même par les plus fortes eaux; il ne s'y est produit aucun tassement, ce qui fut très heureux, car tout mouvement aurait pu avoir des conséquences désastreuses pour la superstructure métallique, qui était une poutre continue, comme nous l'avons dit. La crainte des tassements fut aussi la raison pour laquelle on renonça tout de suite aux palées ordinaires, composées de trois ou quatre gros pilotis fichés dans le terrain. Une disposition semblable n'aurait, au reste, pas pu s'employer à cause du faible espace compris entre le niveau des eaux et les semelles inférieures du tablier, espace qui n'aurait pas permis d'installer une sonnette, et aussi parce que les blocs, formant les enrochements, n'auraient pas laissé pénétrer de gros pieux à une profondeur suffisante; ces pieux, retenus uniquement par les enrochements, auraient cédé sous le poids du pont au moindre mouvement de ces derniers.

Les fondations que nous avons proposées, avec leurs nombreux piquets encastrés dans un massif de béton, ont servi, en outre, à protéger cette partie du lit contre les érosions.

Quoique ces dispositions inspirassent une parfaite confiance, on ne procéda aux démolitions qu'avec certaines précautions que nous allons exposer tout à l'heure.

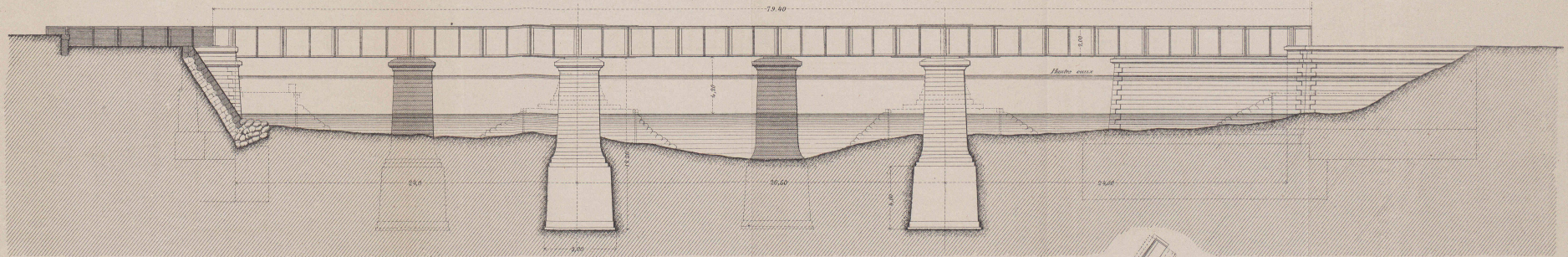
Il résultait des calculs de résistance du pont que la poutre métallique aurait pu supporter son propre poids sans dépasser la limite d'élasticité pour des portées doubles de celles existantes, et que les culées enlevées, elle se serait comportée comme un solide encastré à l'une de ses extrémités et libre à l'autre. On pouvait donc, sans qu'aucun désastre fût à redouter, enlever un point d'appui sur trois. On s'arrangea donc de façon qu'une crue pût enlever sans danger toutes les palées provisoires, comme l'indique la fig. 7 bis, pl. II.

Première période. Après avoir démoli les points d'appui a , a'' et b , le pont restait soutenu, en cas de chute des palées, par les anciens points d'appui en maçonnerie c , d , d'' .

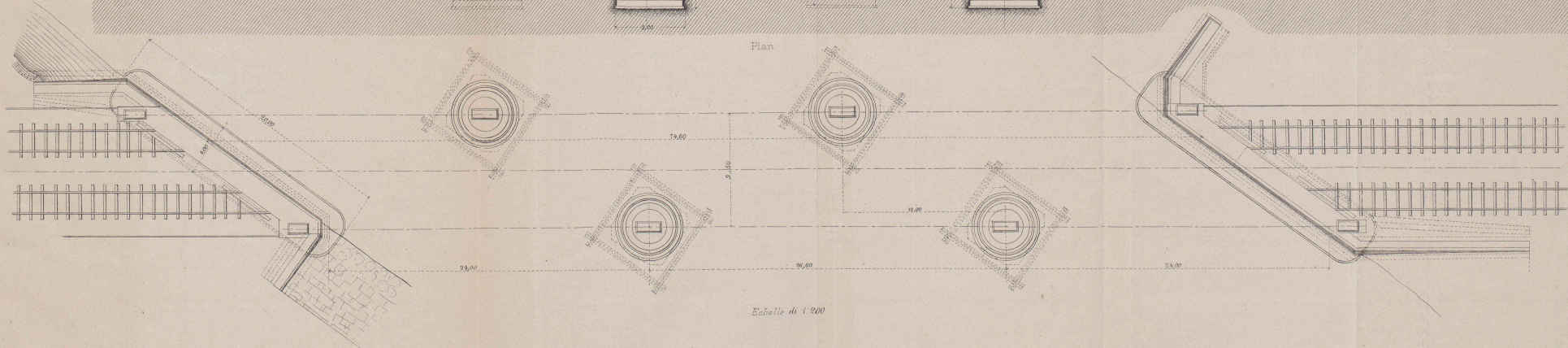
Seconde période. Le pont restait soutenu par d , d'' et par

RECONSTRUCTION DU PONT D'YVERDON

Elevation



Plan



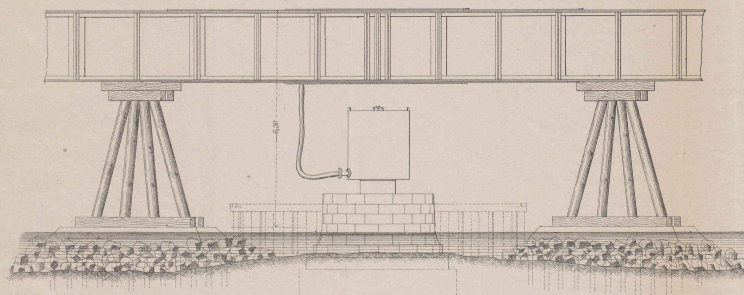
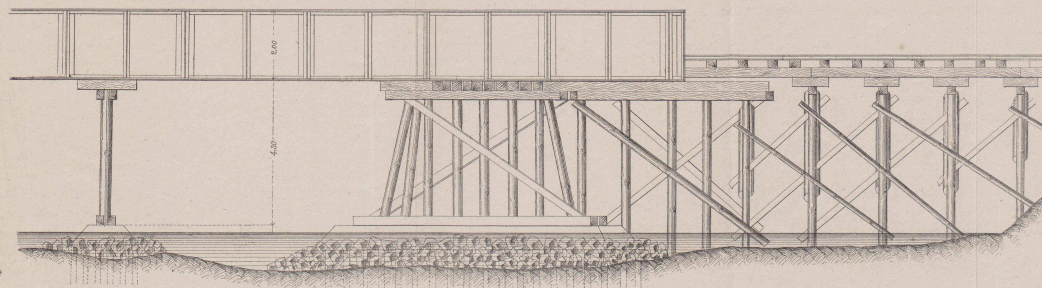
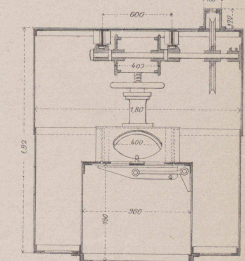
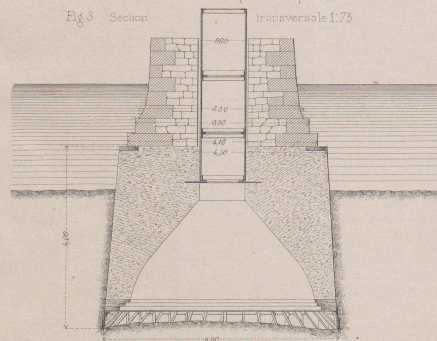
Echelle de 1/200

P. Savonius, Ing.

Seite / page

leer / vide /
blank

RECONSTRUCTION DU PONT D'YVERDON

Fig. 1
Elèvement du pont près d'une pile 1:100.Fig. 2
Elèvement du pont vers la culée 1:100Fig. 6
Section transversale 1:20Fig. 3
Caisson en béton pour la pile
Section transversale 1:75

Modèle en bois pour la construction du caisson

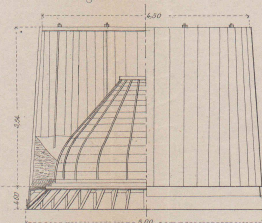
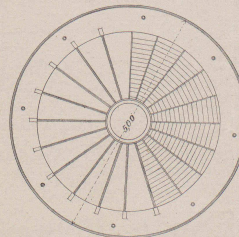
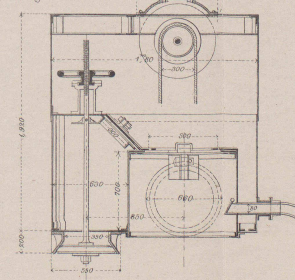
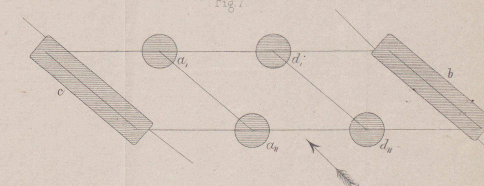
Fig. 4
Elevation 1:75Fig. 5
Plan 1:75Fig. 7
Section transversale 1:20
Sas à air

Fig. 7 bis

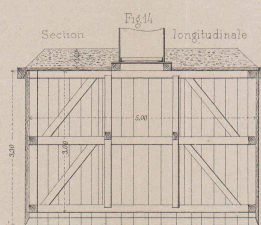
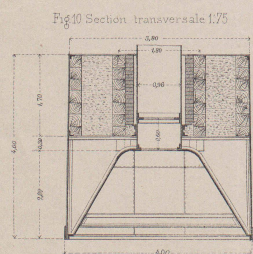
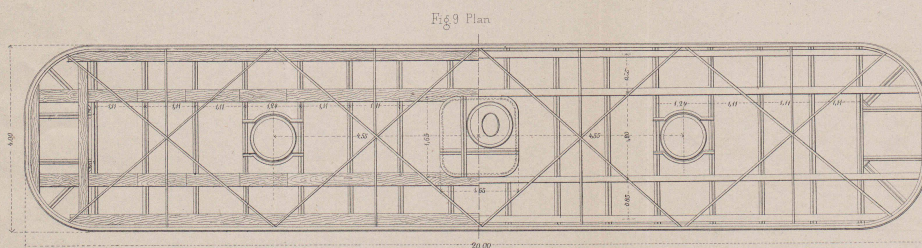
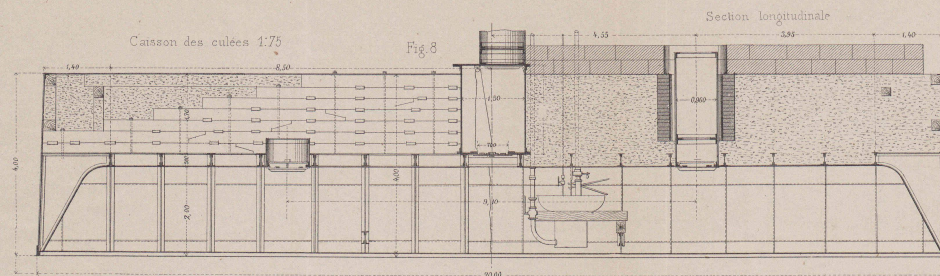


P. Suarons, Ing.

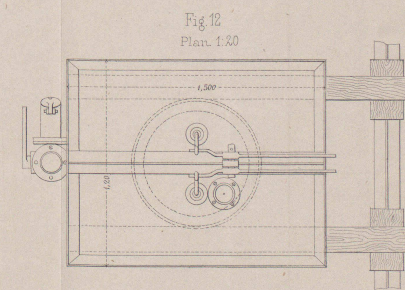
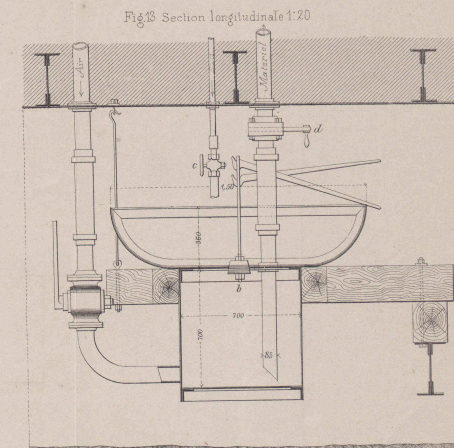
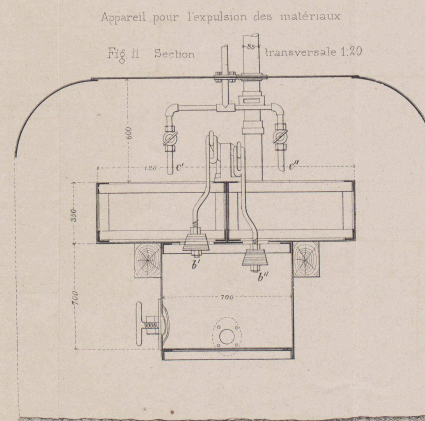
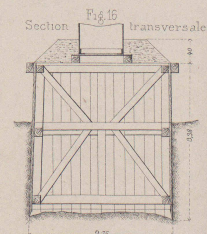
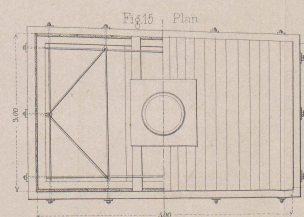
Seite / page

leer / vide /
blank

RECONSTRUCTION DU PONT D'YVERDON



Caisson en bois pour la fondation des murs en aile 1:75



P. Simons, Ing.

Seite / page

leer / vide /
blank

les piles tourelles reconstruites a , a , on pouvait donc démolir et reconstruire la culée c .

Troisième période. Après avoir reconstruit la culée b , on pouvait procéder à la démolition et à la reconstruction des piles d , et d , le pont restant soutenu par a , a et b .

Grâce à cette manière de procéder, l'enlèvement des palées provisoires n'aurait donc eu d'autre conséquence qu'une interruption momentanée de la circulation des trains.

La construction des palées ne présente en elle-même rien de particulièrement intéressant ; il suffit de noter que, vu les circonstances locales, tout autre système serait revenu plus cher.

Piles. (Pl. II.)

Nous avons déjà dit qu'il importait de conserver aux piles leur disposition primitive et de réemployer les matériaux provenant des démolitions. Les nouvelles piles tourelles ne diffèrent des anciennes que par leur fondation qu'on a abaissée de 5^m50. Les quatre premiers mètres sont en béton, sur ce béton on fit plusieurs assises en libages qui relient les fondations aux piles proprement dites, reconstruites sur le modèle des anciennes.

Pour déterminer la cote de leur fondation, il était nécessaire de tenir compte du régime futur des eaux qui devaient perdre de leur vitesse et cesser leurs érosions une fois le niveau du lac définitivement régularisé.

Le sol est formé en cet endroit d'une puissante couche de sablon argileux qui résistera sans aucun doute à l'action des eaux une fois le régime de la rivière établi. Il n'était donc pas nécessaire d'abaisser indéfiniment la cote d'implantation ; la nature du terrain ne changeant pas sur une très grande profondeur, il importait plutôt de donner aux fondations une base large qui répartit la pression sur le terrain ; les fondations furent donc faites de manière à ce qu'à 7 m. au-dessous des basses eaux minima et 5^m50 au-dessous du lit prévu de la rivière, la pression sur le terrain ne dépassât pas 1 $\frac{1}{2}$ kg. par centimètre carré.

Devant tenir compte des difficultés à vaincre pour enlever sous l'eau les restes des anciennes constructions (béton, enrochements, pieux...), de la consistance et de la stratification du terrain, toutes choses qui rendaient très difficiles les épaissements, on ne pouvait choisir d'autre système que celui des fondations à l'air comprimé.

On adopta aussi pour les piles la forme cylindrique, voulant, par économie, utiliser les maçonneries elles-mêmes comme parois de la chambre de travail. Le massif de fondation présente en effet une cavité qui a servi à cet usage. Ce massif, muni à sa base d'un couteau, fut foncé de la même manière que les caissons ordinaires. (Fig. 3.) Le couteau suit en plan le périmètre de la pile ; il est relié par des consoles espacées de 50 cm. à une rondelle en fer sur laquelle fut construit le caisson en béton. Entre cette rondelle et le béton, on intercala trois anneaux en madriers, dont la surface plus considérable et l'élasticité plus grande répartissaient plus régulièrement la pression du béton sur le couteau. Ces anneaux sont solidement reliés au massif par des ancrs noyées dans le béton.

On n'aurait pas pu sans difficulté transporter ce caisson à cause de son poids et de la matière employée, c'est pourquoi on

le construisit sur l'emplacement même où il devait être foncé. Il fut établi dans le caisson de l'ancienne pile, après enlèvement des pieux qui auraient pu empêcher son fonçage, disposition qu'on préféra à des échafaudages ou à des appareils de suspension trop coûteux. Pour cela, on fixa à ces anneaux de fer et de bois, dont nous venons de parler, un moule en bois (fig. 4 et 5) dans lequel fut coulé le béton. Le béton fut fabriqué d'une façon particulière en variant les dosages. Il fut placé à sec, par couches de 20 cm. de hauteur et l'on n'y mit l'eau nécessaire qu'après avoir soigneusement pilonné chaque couche.

Ces couches furent disposées suivant une certaine inclinaison dirigée vers l'intérieur de la chambre, pour ne pas faire un angle trop vif avec les parois de cette dernière, comme l'indiquent les lignes pointillées du dessin ; on n'épaufrait donc pas la couche inférieure en pilonnant les couches supérieures.

Voici quels furent les dosages employés, ils variaient, comme nous l'avons dit, suivant le lieu d'emploi ; les deux premiers furent appliqués pour faire la chambre de travail et le troisième pour la partie supérieure du massif.

1^o 1 partie de ciment, 1 de sable, 2 de gravier.

2^o 1 » » 2 » 3 »

3^o 1 » » 2 » 4 »

L'excellente qualité du ciment Portland de Saint-Sulpice employé aurait comporté une plus grande quantité de gravier et de bon sable, mais il n'a pas été possible d'en trouver dans les environs d'Yverdon. Au bout de quatre jours, le ciment avait fait complètement prise, et l'on put démonter le moule ; le travail n'avait duré que 2 $\frac{1}{2}$ jours. Les parois extérieures et intérieures du caisson furent revêtues d'un enduit de mortier de ciment de 1 cm. d'épaisseur ; l'enduit extérieur avait pour but de rendre plus glissante la paroi, l'enduit intérieur de rendre le caisson plus étanche à l'air comprimé¹.

Les autres détails des caissons, comme la position des ancrs, la jonction des cheminées et des tubes pour la circulation de l'air, les dimensions de la chambre de travail, du couteau, etc., s'expliquent suffisamment par les planches ci-jointes.

Comme la hauteur comprise entre le caisson et la poutre métallique était assez faible, il ne fut pas possible d'ajuster immédiatement le sas à air comprimé ; on dut commencer par foncer ce caisson, en épuisant l'eau au moyen d'un pulsomètre et en enlevant le sablon avec des dragues à main et des écopages hollandaises, jusqu'au moment où il fut suffisamment descendu pour qu'on pût installer le sas de 2 m. de hauteur qu'on avait construit expressément pour ces piles. Nous avons représenté le dessin du sas (fig. 6, 7) non pas pour le donner comme modèle, mais pour montrer comment des circonstances particulières nous ont forcé de le construire. L'enlèvement des déblais de ce sas d'un nouveau modèle se faisait entièrement et sans interruption à la main. On fit divers essais pour appliquer directement la force de l'air comprimé lui-même à l'enlèvement des déblais, comme cela se pratique en Amérique et dernièrement au pont de Lauenbourg sur l'Elbe ; mais ces essais ne réussirent pas, soit que la quantité d'air comprimé fût insuffisante par rapport à la capacité de la chambre d'air, soit que la nature argileuse du

¹ Pour la première pile, le caisson fut exécuté en briques de ciment placées en encorbellement au lieu de béton, ce qui évitait la construction d'un moule ; mais pour les autres piles, le béton fut préféré, comme assurant mieux la solidité et l'étanchéité.

sablon fit obstruer trop facilement les ouvertures destinées à expurger ces déblais.

L'avancement journalier du fonçage atteignit 60 à 70 cm. avec cinq ouvriers en permanence, dont deux se trouvaient dans le sas ; pendant toute la durée du travail à l'air comprimé le caisson se montra complètement imperméable, ce qui prouve que le massif de béton n'a subi aucune déformation. Le fonçage terminé, la chambre de travail fut remplie de béton au moyen d'un tube spécial ajusté au sas.

Culées. (Pl. III.)

Les dimensions de la base des culées (4 m. seulement de largeur sur 20 de longueur) rendirent indispensable l'emploi pour les caissons d'armatures spéciales, disposées de façon à empêcher les flexions dues à leur longueur ; quoique le terrain se montrât tout à fait homogène, on pouvait craindre que quelque reste des anciennes fondations ne vint à entraver le fonçage régulier. On dut aussi prendre une disposition particulière, l'espace compris entre la partie supérieure du caisson et la semelle inférieure des poutres étant encore moindre qu'aux abords des piles. On aurait pu employer un sas ordinaire, en le plaçant à l'extérieur du pont à l'une des extrémités du caisson, mais il aurait fallu allonger celui-ci de 2 m. au minimum. On n'eut pas recours à cette disposition qui non seulement aurait été plus coûteuse en elle-même, mais qui aurait encore retardé le travail et rendu plus dispendieux l'enlèvement des déblais.

On se décida donc ici à n'employer pour l'enlèvement des déblais que l'air comprimé, et cela indépendamment du sas qui servit seulement à maintenir les communications entre la chambre de travail et l'air extérieur.

De cette façon il était indifférent d'avoir le sas hors de l'eau ou immergé ; on aurait même pu, comme cela se pratique en Amérique, le placer dans l'intérieur du caisson si la largeur de ce dernier l'eût permis. Cette disposition aurait cependant eu l'inconvénient de rendre plus difficile le remplissage en béton de la chambre de travail, une fois le fonçage terminé. C'est pour cela que nous préférâmes placer le sas directement sur le ciel du caisson. Sa porte inférieure s'ouvrait dans la chambre de travail, et la porte supérieure dans la cheminée d'accès formée de tubes qu'on ajoutait à mesure que le fonçage s'effectuait.

Le rallongement de la cheminée d'accès se fit de cette façon plus facilement qu'à l'ordinaire, on n'avait pas à y maintenir la pression de l'air comprimé, comme dans le cas où le sas est placé au sommet, et le déblaiement n'en subissait aucun retard. C'est une innovation qui mérite d'attirer l'attention des praticiens, car si les avantages n'en furent pas immenses dans le cas particulier, avec la faible profondeur des fondations du pont d'Yverdon, ils augmenteraient assurément beaucoup pour les cas de fondations plus profondes. Il y a un grave inconvénient à placer le sas dans l'intérieur de la chambre de travail, comme c'est l'usage en Amérique ; les communications entre la chambre et l'air extérieur se font par un puits blindé en bois ou en maçonnerie, ce qui exige des frais spéciaux. Il est aussi arrivé quelquefois que l'eau a réussi à pénétrer dans ce puits par un point faible et mis les ouvriers dans l'impossibilité d'en sortir sans danger de vie. — Avec notre disposition tout danger est écarté, les tubes de fer formant cheminée d'accès ne permettent

en aucune façon à l'eau de pénétrer, et cette installation ne cause pas grands frais à l'entrepreneur car tous ceux qui s'occupent de faire des fondations pneumatiques ont toujours des tubes à leur disposition. En plaçant la cheminée d'accès à la partie supérieure on réduit aussi l'espace occupé par l'air comprimé, partant on fait une économie et l'on a encore l'avantage de supprimer quelques chances de fuites et de permettre de rendre plus régulière la pression de la chambre de travail. Ce dernier avantage est, il est vrai, insignifiant en comparaison des premiers.

En conséquence du système adopté pour l'évacuation des matériaux, système sur lequel nous reviendrons, il était nécessaire de maintenir parfaitement étanche la chambre de travail ; elle fut donc revêtue intérieurement d'une tôle de 4 mm. d'épaisseur fixée aux fermes qui en forment l'ossature transversale.

La chambre de travail avait 2 m. de hauteur sur 2 m. de largeur à sa partie supérieure et 4 m. à sa partie inférieure ; elle était formée par des fermes en fer composées d'une tôle de 7 cm.

et de cornières de $\frac{70 \times 70}{9}$ le tout ayant une section en double

té et recourbé suivant le profil donné par le dessin, fig. 10, pl. III. Aux montants extérieurs était fixée une chemise en tôle de 4 mm. d'épaisseur et de 4 m. de hauteur, qui s'élevait par conséquent de 1^m 70 au-dessus du sommet des arcs susmention-

nés ; ceux-ci étaient reliés par 4 fers plats de $\frac{150}{15}$ sur lesquels

reposaient quatre poutres armées formées chacune de 7 poutres de $\frac{0.30}{0.24}$ solidement reliées par des coins et des boulons. Les

dimensions de ces pièces furent calculées pour les cas les plus défavorables que pouvaient présenter les obstacles au fonçage, c'est-à-dire pour les cas d'obstacles placés au milieu et aux extrémités du caisson. Le mouvement latéral des poutres était empêché par des ancrages et des traverses ; enfin l'espace vide entre les étré sillonnements fut rempli de béton soigneusement pilonné. Le bord supérieur de la chemise de tôle fut renforcé par une cornière à laquelle on fixa un contreventement en fers plats ; le caisson formait ainsi un tout parfaitement rigide. Le sol de la chambre de travail était divisé en trois parties égales par des traverses en fer ayant une section en double té, qui maintenaient l'écartement du couteau entre les deux faces longitudinales du caisson. Les armatures furent toutes calculées pour pouvoir résister à la tension provenant de la pression de l'air comprimé, aussi bien qu'à la pression provenant des terrains traversés.

Le sas de ce caisson se trouvait complètement noyé dans le béton, il fut donc suffisant de le faire avec une tôle de 4 mm. qui servait seulement à le rendre plus complètement étanche. Il n'y avait pas à craindre la pression hydrostatique contre les parois de ce sas, dont la forme était par commodité de construction celle d'un carré aux angles arrondis ; la porosité du béton l'aurait-elle même rendu perméable, que la pression ne pouvait s'exercer intégralement à travers le massif.

Les dimensions du sas lui permettaient de contenir douze personnes. On donna aux portes une forme ovale qui permit de les réemployer pour la seconde culée. Pour les autres détails voy. fig. 8, 9 et 10.

On ne peut placer le sas comme nous venons de l'indiquer que dans le cas où il ne doit pas servir à l'enlèvement des dé-

blais ; cette disposition présente encore un autre inconvénient, c'est celui de forcer à placer des cheminées spéciales pour le remplissage en béton de la chambre de travail. Dans le cas particulier on en avait fait deux, elles furent ajustées au ciel du caisson et prolongées avec l'enfoncement de la même manière que la cheminée d'accès. On pouvait donc procéder à leur allongement sans interrompre le travail. Le fonçage terminé, on adapta au sommet de ces deux cheminées des appareils qui permettaient l'introduction du béton dans l'espace occupé par l'air comprimé, opération qui s'exécuta avec la plus grande facilité.

Enlèvement des déblais. (Pl. III.)

Nous avons déjà dit que l'enlèvement des déblais présentait un intérêt majeur, principalement à cause des installations spéciales exigées par les circonstances locales. La grandeur du caisson rendait trop coûteuse l'application du système américain. Ce système exige en effet une grande consommation d'air comprimé, puisque c'est uniquement par l'effet dynamique de ce dernier que les déblais ammoncelés à l'entrée d'un tube de décharge sont projetés à l'extérieur. Le déblaiement à l'air comprimé dut déjà être commencé lorsqu'il n'y avait que 0.40 d'eau dans le caisson ; alors la pression de l'air n'était assurément pas capable de rien projeter, d'autant plus que les matériaux devaient être enlevés à une hauteur de 4 m. au-dessus du niveau du couteau. De là la nécessité de créer artificiellement une forte pression, chose qu'on obtint par des moyens tout à fait nouveaux, qui justifieront la description détaillée suivante.

Pour pouvoir produire dans le caisson une pression supérieure à celle équilibrant la colonne d'eau extérieure et se servir de l'air comprimé pour l'enlèvement des déblais, il fallait un récipient hermétiquement fermé. Ce récipient fut mis en communication avec l'extérieur et muni d'une porte pour l'introduction des matériaux ; il fut encore nécessaire d'y amener de l'eau pour rendre les déblais plus fluides, par conséquent moins résistants à l'expulsion par cette méthode. La communication entre le récipient et la conduite d'amenée de l'air comprimé se fit sans peine, cette dernière pénétrant directement dans la chambre de travail ; il fallut seulement la prolonger quelque peu.

La construction de cet appareil fut donc basée sur les principes que nous venons d'exposer. Représentons-nous un récipient cylindrique (voy. fig. 11, 12 et 13 de la pl. III) parfaitement clos. La conduite d'air comprimé était munie d'un robinet (*a*) par le moyen duquel l'accès de l'air pouvait être donné soit dans la chambre de travail soit dans la partie inférieure dudit récipient ; près de cette embouchure se trouvait celle d'un tube de décharge s'en allant à l'air libre et muni d'un robinet (*d*). Le fond du récipient était rivé aux parois et le ciel fixé par des boulons présentait deux orifices fermés par des soupapes coniques manœuvrées par des leviers (*b*, *b'*). Chacune de ces soupapes mettait le récipient en communication avec un bassin. Dans ce bassin on pouvait amener de l'eau par le moyen de deux robinets (*c'*, *c''*) ; l'eau emmagasinée dans un réservoir placé à 10 m. de hauteur pouvait sans peine vaincre la pression d'air de la chambre de travail. Le récipient était construit en tôles de 7 mm., il avait 70 cm. de hauteur sur 70 cm. de diamètre. Les bassins de 1^m30 de longueur sur 60 cm. de lar-

geur avaient chacun une capacité égale à celle du récipient. Les soupapes coniques avaient 15 cm. de diamètre et le tube de décharge 85 mm. ; il était taillé en biseau, de façon à présenter directement son embouchure inférieure à celle du tuyau d'arrivée de l'air comprimé. Grâce à cette disposition l'on put chasser à l'extérieur le sablon provenant des déblais en utilisant l'effet de la pression statique de l'air augmenté de son effet dynamique. On remplissait alternativement de déblais les deux bassins en y ajoutant une quantité d'eau suffisante, et l'on brassait le tout jusqu'à obtenir une sorte de bouillie, dont la fluidité devait être suffisante pour qu'introduite dans le récipient cylindrique, en manœuvrant les soupapes *b*, *b'*, elle fût chassée sans peine par l'effet de la pression de l'air comprimé ; cette pression se donnait intégralement par la manœuvre du robinet (*a*). Le robinet (*d*) était fait de manière à ne pas s'altérer par le passage continu de l'eau chargée de sablon qui le traversait ; il était presque toujours ouvert, et ne se fermait que lorsque le travail était momentanément suspendu. On réglait aussi sans peine l'arrivée de l'eau par le moyen des robinets (*c'*, *c''*).

L'appareil entier était suspendu au ciel du caisson et reposait en même temps sur une des consoles inférieures ; son fond se trouvait à 40 cm. de la tranche du couteau.

En outre, sur une longueur de 30 cm., les tubes de décharge et d'arrivée de l'air comprimé étaient munis d'une partie en caoutchouc, de façon à former une sorte d'articulation grâce à laquelle l'appareil était mis à l'abri de tout dérangement en cas d'un mouvement plus brusque dans l'enfoncement du caisson.

On admit ces dimensions comparativement très réduites pour l'appareil, afin de ne pas gêner la circulation des ouvriers dans la chambre de travail, ainsi que pour pouvoir facilement le démonter, le transporter à travers les cheminées d'accès et l'employer à la construction de la seconde culée.

L'effet de l'air comprimé fut parfait ; la pression agissait instantanément sur les matériaux à projeter hors du récipient ; ce dernier était complètement rempli par les sablons en suspension dans l'eau et ne présentait par conséquent aucun espace nuisible. Le récipient vidé, on remettait l'air dans la chambre de travail pendant qu'on achevait de fabriquer la bouillie dans le second bassin, d'où elle passait par une manœuvre semblable dans le récipient pour être chassée à son tour.

L'imperméabilité du caisson fut telle, qu'on ne remarqua jamais une diminution de pression dans la chambre de travail, même au moment où l'air comprimé était lancé dans le récipient. On employa cet appareil pour ainsi dire sans interruption, et l'on n'eut que très rarement des obstructions dans les tubes ; ces obstructions vinrent uniquement du manque de fluidité de la masse à enlever. La pression de l'air augmentait naturellement avec la résistance des matériaux à chasser, elle devint parfois même telle que la marche des appareils compresseurs en fut arrêtée. Dans ce cas on ouvrait dans le récipient un trou d'homme qui permettait à un ouvrier d'aller enlever les obstructions et le travail reprenait sans autre.

L'appareil permettait de déblayer 40 à 50 m³ par 24 heures, ce qui correspond à un enfoncement de 50 cm. du caisson dont le fond avait 80 m² ; ce fonçage de 50 cm. correspondait aussi à la quantité de maçonnerie qu'on faisait au-dessus pendant le même laps de temps.

Murs en retour des culées. (Pl. I et III.)

La fondation des murs en retour présente aussi son intérêt. Le biais du pont leur faisait prendre une grande longueur et l'on aurait dû trop augmenter les dimensions des caissons pour les fonder en même temps.

Espérant pouvoir profiter des basses eaux pour faire les fondations de ces murs, on employa des caissons rectangulaires en bois, dans l'intérieur desquels on déblayait avec la drague à main. Pour fonder ces caissons, quand le poids ne suffisait pas à les faire descendre, on recourait au mouton. Les restes des anciennes maçonneries et les enrochements gênèrent souvent l'exécution de ce travail, très facile dans des circonstances ordinaires, et l'on fut maintes fois obligé d'épuiser pour pouvoir enlever à ciel ouvert les obstacles qui entravaient la marche du caisson. Au lieu de basses eaux, on eut des crues qui rendirent très considérables les difficultés de fondation des murs en retour de la première culée reconstruite (rive droite). A la seconde on procéda de même, en employant les pompes presque sans interruption, à cause du niveau des eaux et des décombres provenant des fondations primitives. L'emploi des machines d'épuisement, qui étaient suffisantes pour maintenir à sec les fouilles, risquait fort de devenir dangereux pour la culée et même pour les palées provisoires, par suite des érosions que provoquaient dans les sables les courants d'eau produits par les pompes d'épuisement.

C'est une circonstance à laquelle on ne fait pas toujours attention, mais qui peut avoir de funestes conséquences; quelque dur et compact que soit le terrain, il peut s'y produire des dépôts et des érosions par suite des courants résultant de l'appel des pompes.

Le caisson, rive gauche aval, était déjà enfoncé de plus de 2^m50, il était donc difficile de songer à un autre système de fondation. On imagina donc de le transformer en un caisson à air comprimé. Les parois furent renforcées par des armatures métalliques pour pouvoir résister à la pression de l'air; on le munit d'un chapeau de bois recouvert d'une tôle à laquelle furent assujettis le sas et les cheminées qui avaient servi aux piles. (Fig. 14, 15 et 16.) Pour augmenter sa résistance le couvercle fut revêtu à l'extérieur d'une couche de béton et le reste du caisson rendu imperméable par un calfeutrage de chanvre et d'argile.

Pour vaincre le frottement du terrain on chargea le caisson de deux couches de rails placés perpendiculairement les uns aux autres. Comme la longueur des rails était plus grande que les dimensions du caisson, ils auraient été retenus par les bords de la fouille s'il était arrivé quelque accident.

Il ne manquait plus que 30 cm. pour atteindre la cote de fondation, quand le caisson creva par suite d'une forte augmentation de la pression de l'air comprimé, motivée par une crue subite de la rivière. Les ouvriers se sauvèrent sans peine, l'eau n'entrant que lentement dans le caisson. Mais il fut nécessaire d'attendre la baisse des eaux pour reprendre le travail. On put alors achever sans difficulté le fonçage du caisson réparé, qui ne coûta en bloc, compris les travaux de transformation qu'on lui fit subir, que 250 fr. On peut donc dire que jamais personne n'en a construit auparavant à meilleur marché.

Les fondations terminées, on procéda à l'exécution des maçonneries, en ayant soin de relier convenablement celles des culées

avec celles des murs en retour¹. La façon dont se comportèrent ces maçonneries prouve d'une manière éclatante la supériorité des fondations à l'air comprimé. Les murs en retour fondés par ce moyen ne montrèrent aucun tassement ni aucune fissure, tandis qu'il n'en fut pas ainsi de ceux qui furent fondés à l'air libre; la raison de ce fait doit se chercher dans l'effet produit sur le terrain par les courants dus à l'appel des pompes.

On peut donc conclure de ces travaux que dans les cas douteux il vaut mieux recourir tout de suite aux fondations pneumatiques; leur prix peut se trouver assez faible si l'on étudie soigneusement la construction des caissons.

Avant de terminer ce travail nous devons dire que les difficultés rencontrées, pendant la durée des travaux de reconstruction du pont d'Yverdon, furent beaucoup plus grandes qu'on ne s'y attendait, et cela à cause des pluies abondantes qui firent de l'année 1882 une des plus défavorables pour un travail de ce genre, qui demandait au contraire des eaux aussi basses que possible. La circulation ne fut cependant jamais interrompue sur le pont, et cette circonstance a bien sa valeur puisque ce pont fait pour ainsi dire partie de la gare d'Yverdon et sert par conséquent à 60 ou 70 passages tant de trains que de locomotives en manœuvre. La seule conséquence des hautes eaux dont nous avons parlé, fut que les travaux durèrent 11 mois au lieu de 8, comme on l'avait prévu. Pendant tout ce temps on n'eut aucun accident à déplorer.

Pour traduction, J. ORPISZEWSKI.

Après avoir reproduit ce travail de MM. Röthlisberger et Simons, nous devons ajouter que M. M. Probst, ingénieur, associé de la maison G. Ott et C^e, a pris une grande part à l'étude et à l'exécution de ces travaux; c'est avec lui que les ingénieurs de la Compagnie ont discuté tous les détails du projet, et avec lui aussi bien qu'avec M. Simons que sur place ont été concertées toutes les mesures de détail. Mentionnons que la Compagnie s'était réservée, pour les exécuter elle-même en régie, tous les travaux de pontonage nécessaires pour passer au-dessus des fouilles des culées et relier les abouts des poutres métalliques avec le terrain voisin. Ces travaux, qui ont présenté de grandes difficultés, ont été exécutés sous la direction de notre collègue M. Paul Manuel, ingénieur, que la Compagnie de la Suisse-Occidentale avait chargé de la surveillance de ce chantier.

J. MEYER, ingénieur.

Lausanne, 26 mai 1885.

L'INDUSTRIE DES ANTHRACITES AUX ÉTATS-UNIS²

par CH. DE SINNER, ingénieur.

Introduction.

Les Etats-Unis sont merveilleusement dotés en combustibles minéraux. La superficie houillère et anthracifère reconnue exploitable mesurait en 1880, d'après M. Levasseur³, plus de

¹ La plus grande difficulté provenait du fait que les extrémités des caissons étaient arrondies.

² D'après les rapports du Second Survey Géologique de Pensylvanie (1880 à 1884), et principalement d'après les travaux de MM. Leslie, Ashburner et Chance.

³ Levasseur, de l'Institut, *Industries minières et métallurgiques des Etats-Unis: Génie civil* du 1^{er} septembre 1883.