

Le viaduc de la Lorraine de la nouvelle ligne Berne-Wilerfeld des Chemins de fer fédéraux

Autor(en): **Bühler, Ad.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **67 (1941)**

Heft 15

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-51336>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 13.50 francs

Etranger : 16 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 11 francs

Etranger : 13.50 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. —

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : M. IMER, à Genève ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYF, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

Publicité :
TARIF DES ANNONCES

Le millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions
de pages.

Remises pour annonces
répétées.



ANNONCES-SUISSES S.A.

5, Rue Centrale,
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER.

SOMMAIRE : *Le viaduc de la Lorraine de la nouvelle ligne Berne-Wilerfeld (suite)*, par M. AD. BÜHLER, Dr h. c., chef de la section des ponts de la Direction générale des Chemins de fer fédéraux. — *Quelques préoccupations de la Direction des Travaux de Lausanne*. — *Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne : Assemblée générale annuelle*. — SERVICE DE PLACEMENT.

Le viaduc de la Lorraine de la nouvelle ligne Berne-Wilerfeld des Chemins de fer fédéraux

par M. AD. BÜHLER, Dr h. c.,
chef de la section des ponts de la Direction générale des
Chemins de fer fédéraux¹.

(Suite.)

11. Echafaudages des cadres des lots 2 et 4.

Deux types d'échafaudage furent employés : le type en éventail pour le lot 2 (fig. 24) et la ferme à contre-fiches pour le lot 4 (fig. 25). Les éventails s'appuyaient sur les redans des fondations des piliers et, au milieu de l'ouverture, sur une semelle ou sur des pieux. Les montants des fermes à contre-fiches ne reposent que sur les fondations des piliers ; c'était la solution la plus simple. Les grosses poutres proviennent de la construction du barrage d'Albruck-Dogern ; la similitude des portées a permis de réutiliser plusieurs fois ces pièces.

Les deux systèmes d'échafaudage ont permis de diminuer notablement les poussées lors du bétonnage de la superstructure. Les sections d'échafaudages avaient été reliées entre elles à travers les têtes des piliers. En outre, le bétonnage symétrique a permis d'équilibrer localement les poussées ; les figures 24 et 25 montrent les joints de bétonnage. Des tirants placés au pied des éventails donnèrent une garantie supplémentaire pour l'équilibrage des poussées.

On a commencé par bétonner les parties médianes des ouvertures, afin de provoquer les tassements qui devaient se produire ; on a construit ensuite les têtes des piliers. Pour

¹ D'après une conférence faite, le 9 mars 1940, à Zurich, au groupe professionnel des ponts et charpentes de la S.I.A. complétée par une communication à la section zurichoise de la S.I.A., le 23 février 1940. Cette étude a été publiée en langue allemande aux numéros d'août et d'octobre 1940 de la *Schweizerische Bauzeitung* qui a mis à notre disposition les clichés des figures illustrant ce texte (Réd.).

des cadres de telles dimensions il est indispensable d'établir les échafaudages de telle sorte qu'aucune poussée ne s'exerce sur les piliers lors du bétonnage ; cas échéant on devrait en tenir compte dans le projet déjà, mais ce n'est que très rare-

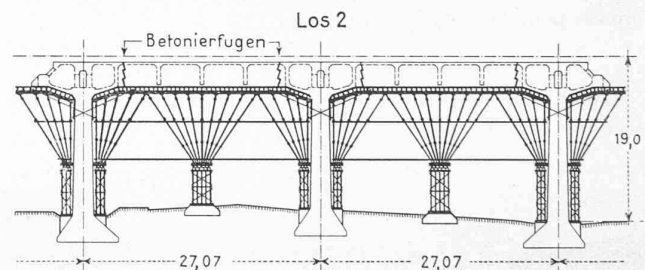


Fig. 24. — Type d'échafaudage du lot 2. Echelle 1 : 800.
Betonierfugen = joints de reprise du bétonnage.

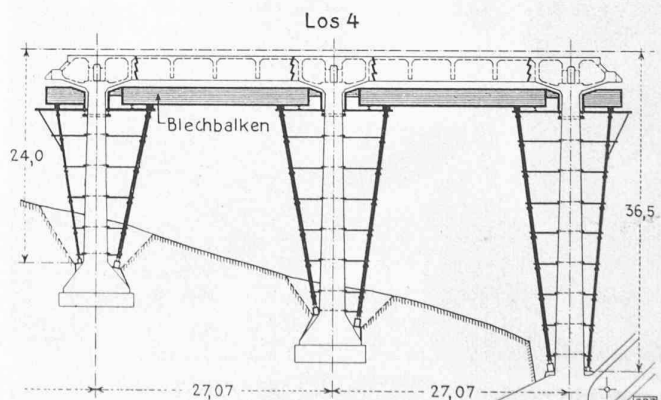


Fig. 25. — Type d'échafaudage du lot 4, avec utilisation de poutres métalliques assemblées par soudure.
Blechbalken = poutre en tôle.

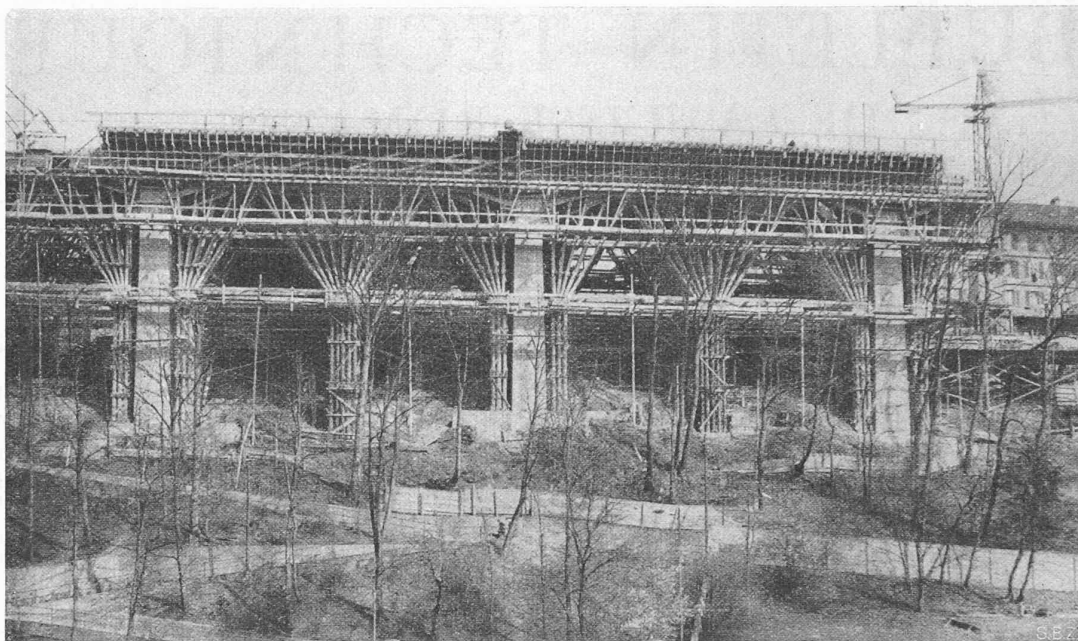


Fig. 26. — Echauffage en bois, en éventail, des cadres du lot 2. (Etat le 20 avril 1939.)

ment possible ; en général cette détermination théorique est très difficile ou même impossible. C'est cette considération qui a prévalu dans le choix des échafaudages des cadres des lots 2 et 4.

L'importance des échafaudages ressort des figures 26 à 28. On n'a constaté, lors du décintrage, que de faibles fléchissements. Un cadre double a nécessité 550 m³ de bois pour le type à éventail et 150 m³ seulement (plus les poutres métalliques) pour le type à contrefiches.

12. Lot 3.

Le système longitudinal est une dalle ; on distingue trois sections (fig. 30 et 4) :



Fig. 28. — Echauffage à contre-fiches en bois et acier, lot 4 (7 juin 1938).

« a » quatre ouvertures de 11,06 m et consoles de 3,02 m ; une pile liée rigidement à la dalle ; deux piles articulées en haut et encastées en bas et deux piles articulées haut et bas ;

« b » neuf ouvertures de 7,50 m et une ouverture (cadre) de 10,70 m, consoles de 2,02 m ; neuf piles articulées haut et bas et deux piles fixes ;

« c » cinq ouvertures de 11,06 m, consoles de 3,02 m, avec deux piles fixes médianes et quatre piles articulées haut et bas.

L'intérieur de l'ouvrage servira de dépôt. Le sol y est arasé et soutenu par un mur frontal.

Le système transversal est constitué par les dalles elles-mêmes. L'armature transversale est telle que les charges isolées sur une voie ou sur un groupe de voies soient convenablement réparties sans causer de fissures longitudinales. Cette disposition, très simple en apparence, est très difficile à traduire par le calcul. Le moment d'inertie de la dalle est variable dans les deux sens ; comme surcroît de difficulté des passages, larges de 3,0 m, sont pratiqués dans les piliers (fig. 31 et 32).

Il est possible de résoudre approximativement le pro-

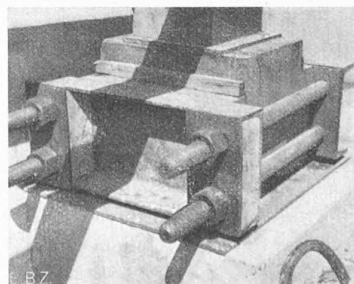


Fig. 27. — Dispositif d'abaissement de l'échafaudage en éventail du lot 2 (fig. 26). Coins verticaux serrés entre boulons.

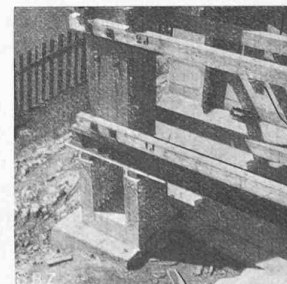


Fig. 29. — Dispositif d'abaissement de l'échafaudage à contrefiches du lot 4 (fig. 28) : Assises en béton armé pour recevoir les vérins hydrauliques destinés à dégager les plaques en acier sous les pieds des échafaudages.

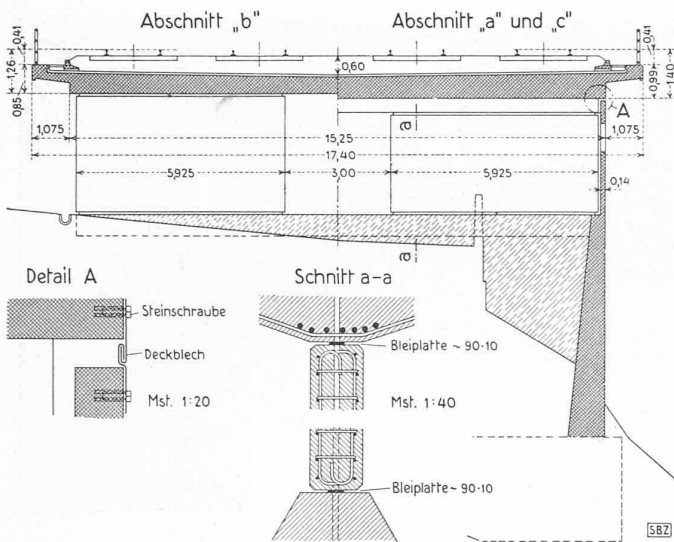


Fig. 30. — Dalles, piles articulées, mur de face et tympan.

Abschnitt = tronçon — Schnitt a-a = coupe a-a — Steinschraube = boulon de scellement — Deckblech = couvre-joint en tôle — Bleiplatte = plaque en plomb — Mst. 1:40 = échelle 1:40.

blème des dalles par la méthode des bandes superposées¹. Bien que les résultats théoriques parussent satisfaisants, nous avons chargé M. le Prof. Ritter d'élucider le problème par des essais sur modèle à l'Institut de statique de l'E. P. F. Il effectua de nombreuses mesures sur une maquette au 1:20 en celluloïde. Nous fîmes pour notre part un essai concernant la répartition des charges dans les piles articulées avec passage. Ces essais nous ont conduits à utiliser des plaques de plomb pour les articulations. Une petite déformation fournit les allègements désirés ; il s'ensuivra naturellement un surcroît de sollicitations dans la dalle.

13. Lot 4. Grande voûte.

(Voir fig. 5, p. 159.)

Le système des cadres d'accès à la grande voûte est, ainsi que nous l'avons dit, le même que pour le lot 2. Les dissymétries sont ici, il est vrai, beaucoup plus prononcées ; mais les calculs ont montré que les moments de flexion et les efforts tranchants dans les travées ne différaient pas beaucoup de ceux des cadres symétriques. Il n'en est pas de même des moments dans les piles qui changent, eux, de manière appréciable. Dans le dernier double cadre 12-13-14, on a prévu une articulation de pied à la pile extrême afin d'éviter un trop grand encastrement. Les passages de la superstructure de la voûte aux cadres de rive ont été réalisés par des travées indépendantes.

L'élément principal du lot 4 est la grande voûte sur l'Aar. Par sa portée théorique de 150 m elle dépasse toutes les autres voûtes existant en Suisse et peut être comparée aux grandes voûtes de l'étranger². Sa surcharge de $\approx 3 \text{ t/m}^2$ (sans effets dynamiques), sa largeur de 13,35 m en font un des ponts les plus chargés. Ce fut la raison primordiale qui nous conduisit à évider cette large voûte qui ne travaille qu'en compression. Ce choix fut aussi dicté par la nécessité d'obtenir une rigidité suffisante.

La configuration de la voûte rappelle celle de la prèle : les trois évidements longitudinaux sont fragmentés au droit

¹ L'auteur a eu connaissance entre temps du mémoire : « Iowa Engineering Experiment Station 1936 », Bulletin 199, « Analysis of thin rectangular plates, supported on opposite edges. »

² Voir le tableau de la *Schweiz. Bauzeitung*, fasc. 103, p. 272*-278* (1934), qui serait à compléter aujourd'hui par deux ouvrages construits ultérieurement.

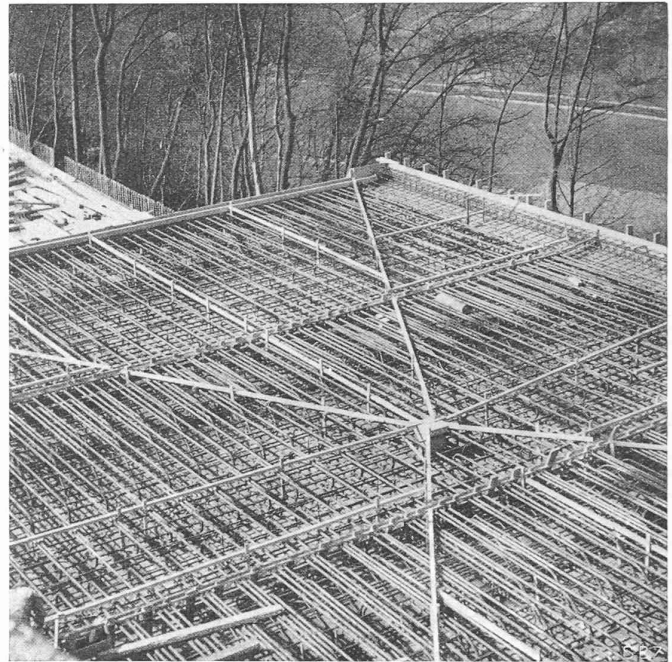


Fig. 31. — Armature des dalles continues du lot 3 avec gabarit pour l'aménagement de la surface en entonnoir en vue de l'écoulement des eaux.

des points d'application des charges concentrées par de fortes cloisons qui augmentent la résistance à la flexion et à la torsion. Quatre escaliers d'inspection courent le long de la voûte, trois à l'intérieur et un à l'extérieur. La clef a 3,20 m, les naissances 5 m d'épaisseur ; l'intrados et l'extrados ont une épaisseur de 55 cm de la clef jusqu'au quart de la voûte ; du quart à la naissance cette épaisseur croît de 55 à 90 cm. Ces dimensions sont les plus économiques.

La superstructure est semblable à celle des cadres d'accès.

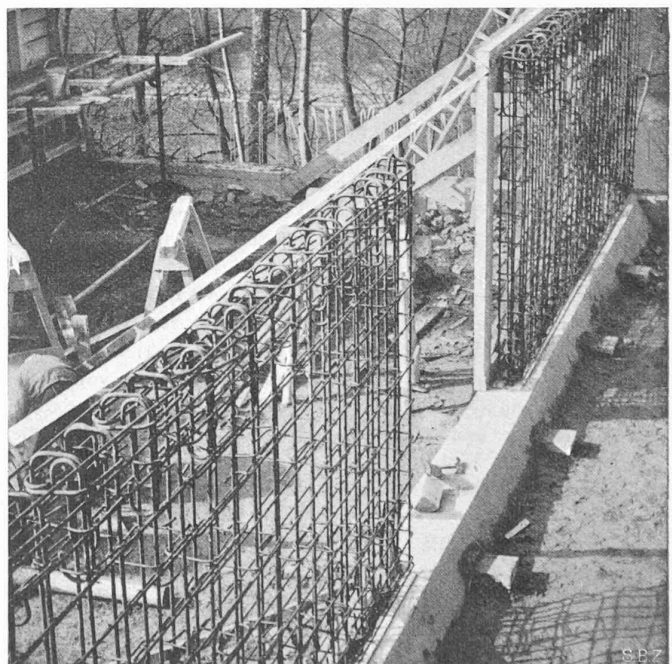


Fig. 32. — Armature des parois articulées du lot 3 avec passage de 3 m de largeur libre dans l'axe du pont.

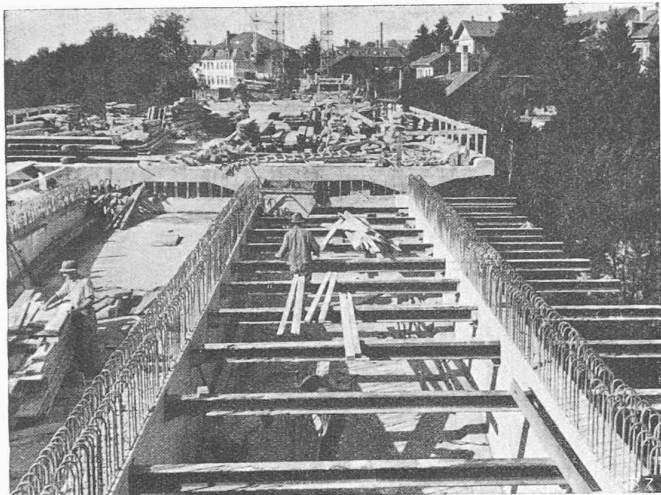


Fig. 33. — Exécution des parois longitudinales sur la partie centrale de la grande voûte.

Pour des raisons d'esthétique on a dimensionné les poutres et leur portée d'après la hauteur libre au-dessus de la voûte. La construction à quadruple paroi correspond à celle des cadres ; il en est de même des détails de construction. Les piles voisines de la clef sont pourvues haut et bas d'articulations en plomb. Les piles suivantes, plus hautes, sont encastées élastiquement dans la voûte ; leur extrémité supérieure est munie d'une articulation en plomb. Ces piles sont surmontées de poutres continues à deux ouvertures dont les appuis fixes sont du côté de la clef. Dans la région de la clef, la dalle du tablier s'appuie sur la voûte par l'intermédiaire de nervures longitudinales continues ; celles-ci constituent avec la dalle un cadre à trois travées d'environ 50 m de largeur (fig. 33 et 34). Nous partageons l'opinion de Séjourné, d'après lequel une voûte importante ne doit pas recevoir directement le ballast, afin que, en cas d'avarie, l'appareil porteur principal ne subisse pas de dommage. Les calculs de ces cadres ont été établis pour trois hauteurs des nervures longitudinales. Ces nervures reposent dans des caniveaux adéquats aménagés sur la voûte et qui forment une sorte d'articulation. Les arêtes sont protégées contre les épaufrures par des garnitures en plomb. Le problème de la forme de la grande voûte était primordial. Nous l'avons, croyons-nous, assez bien résolu au point de vue tant esthétique que constructif. L'axe de la voûte suit bien la ligne des pressions pour le poids propre ; nous avons dû adopter une parabole du douzième ordre pour obtenir une concordance satisfaisante.

Le projet de la grande voûte a soulevé un nombre inattendu de problèmes. Le calcul dit définitif s'appuie sur trois calculs préliminaires, déjà très détaillés. Une tâche particulièrement ardue fut de déterminer la forme d'une aussi grande voûte, en fonction du poids des constructions supérieures. Il s'agissait de déterminer exactement la répartition d'une masse de 20 000 t, et de n'obtenir, compte tenu de tous les efforts, aucune sollicitation appréciable de traction en aucun point de la voûte.

La forme évidée de la voûte conduit à des compressions élevées sous l'effet du poids propre et à de petits effets de flexion sous la surcharge ; elle donne lieu en outre à des flexions transversales importantes qui nécessitent une armature transversale. On constate ainsi que cette voûte en compression exige de bonnes armatures transversales, mais pas d'armatures longitudinales. On a cependant prévu une armature

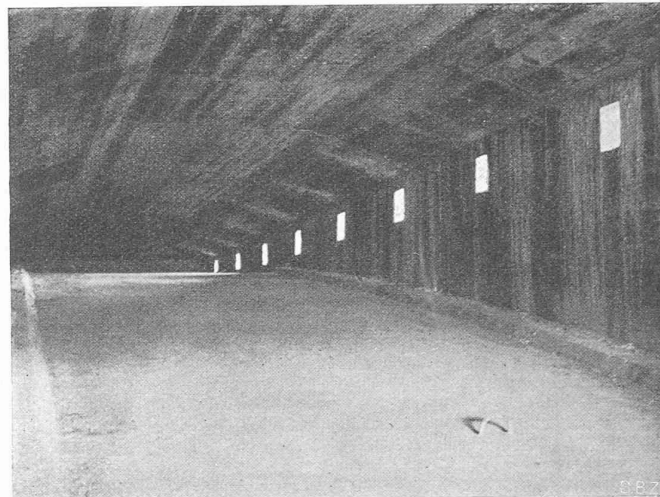


Fig. 34. — Cloison extérieure du compartiment latéral dans la partie centrale de la voûte.

longitudinale pour parer aux tensions de retrait, aux incertitudes du calcul et pour des raisons de sécurité générale. Elle a été calculée pour une excentricité de la ligne de pression de 1,5 à 1,7 fois l'excentricité réelle. Nous avons alors sollicité l'acier 37 jusqu'à sa limite d'élasticité. Cette armature représente environ 108 kg d'acier 37 par m³ de béton.

Nous ne voudrions pas entrer ici dans de plus amples détails. Disons seulement qu'en étudiant les voûtes évidées on se rend compte qu'il reste encore de nombreux points à élucider avant que l'on puisse réaliser en toute sécurité des voûtes de très grandes dimensions, 300 m et plus par exemple. Le calcul des arcs évidés nécessiterait une théorie vérifiée par des essais tant au point de vue de la flexion que de la torsion. Un ingénieur habitué à la statique classique des constructions aura de la peine à comprendre que notre théorie de la flexion ne s'applique, à proprement parler, qu'aux barres rectangulaires. L'apparition des poutrelles à larges ailes aurait déjà dû nous inciter à examiner la situation de plus près. Cependant qui donc oserait de nos jours s'attaquer à un état de choses consacré par l'habitude ? Peut-être que le prochain grand pont voûté fournira l'occasion de reprendre les problèmes posés.

Le processus du calcul d'une grande voûte à plusieurs voies devrait consister à peu près en ceci : Il faut en premier lieu déterminer la répartition du poids propre. On calculera ensuite les surfaces d'influence des surcharges en tenant compte de la collaboration de l'arc et de la superstructure. On aura donc affaire dès le début à des problèmes de l'espace, et non plus à des problèmes du plan. Il faut en outre déterminer les effets du retrait et des variations de température tant uniformes que locales, puis examiner les déformations plastiques et les tassements du sol. Il y a lieu de considérer enfin l'influence du vent qui se traduit surtout par des effets de torsion. Ceux-ci, par ailleurs, sont aussi très importants sous l'action des charges disposées en damier.

La succession des étapes de construction de la superstructure n'est pas indifférente lorsque ces ouvrages sont hyperstatiques ; les calculs s'en trouvent compliqués. Ce fut le cas pour le pont de l'Aar, où, nous l'avons fait remarquer, des poutres continues courent sur deux ouvertures. Par suite de la construction successive de ces deux groupes de poutres, le premier s'est trouvé fléchi par l'action du poids du second, la voûte étant déformable. Les calculs ont révélé

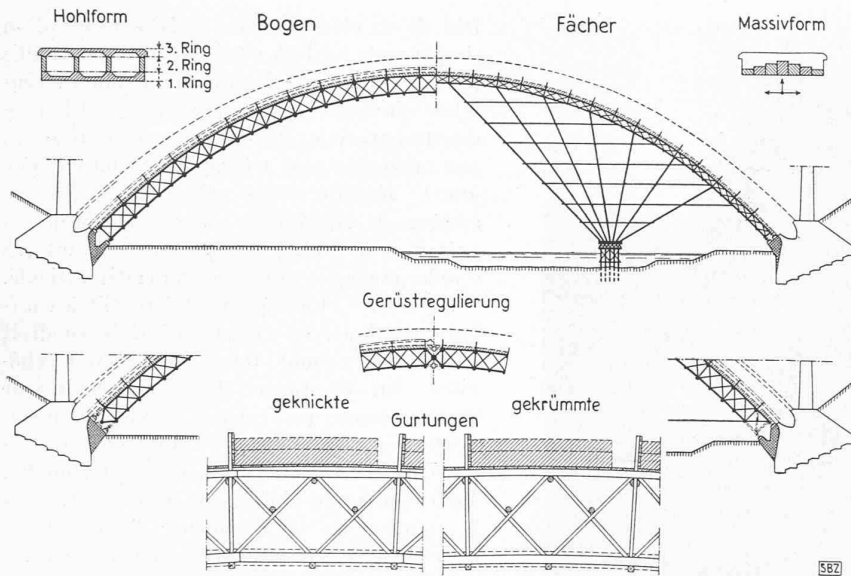


Fig. 35. — Types de cintre.

Hohlform = forme évidée — Massivform = forme à section pleine — Ring = anneau — Bogen = arc — Fächer = éventail — Gerüstregulierung = réglage du cintre — Gurtungen = membrures — geknickte = à brisures — gekrümmte = en courbe.

des modifications de moments allant jusqu'à 20 % environ.

D'aucuns s'effraieront de la complexité de ces problèmes. Ce que nous voulions, c'était attirer l'attention sur les difficultés que présente le calcul des grands ponts voûtés, difficultés trop facilement sous-estimées. La construction en béton armé pose, à l'étude et à l'exécution, des problèmes tout aussi compliqués, si ce n'est plus, que la construction métallique, laquelle peut actuellement être corrigée et modifiée à coup sûr, soit au moyen de vérins, soit par transformation du système porteur.

Mais les difficultés ne finissent pas là. Pour construire la voûte qui nous intéresse il faut commencer par monter un cintre ou un échafaudage qui puisse servir pour le bétonnage. Il n'est pas exclu à notre avis que l'on construise plus tard des voûtes en porte à faux comme cela se fait pour les arcs métalliques. Nous laissons toutefois de côté pour le moment cette méthode ou toute autre méthode combinée.

La figure 35 montre les types de cintres dont l'usage est le plus fréquent, soit le cintre en arc et le cintre en éventail. Ils sont tous deux clairs, simples et logiques ; tous deux¹ ont leurs avantages. Si la grande voûte doit être construite par anneaux, il n'y a alors, à mon avis, que le cintre en arc qui puisse entrer en considération. Des affaissements inégaux d'un cintre en éventail provoqueraient des fissures dans les anneaux. En outre, un cintre en éventail ne permet pas d'apprécier la collaboration logique et simple du cintre avec les différents anneaux de la voûte. Si les calculs sont exacts et le montage irréprochable, point n'est besoin de charger préalablement les cintres en arc².

Il y a lieu d'ajouter en ce qui concerne le montage des cintres que le type en éventail ne peut pas être bien réglé ; ses éléments travaillent d'une manière plus ou moins indépendante les uns des autres. Le chargement préalable de ces cintres peut être recommandable, mais il n'est pas absolument nécessaire si l'on travaille avec des joints ouverts ou libres dans la voûte. Le cintre en arc, en général statiquement indé-

terminé, doit être réglé après montage, afin que la ligne de pression prenne la forme voulue, c'est-à-dire la forme calculée. A cette fin on peut intercaler des articulations provisoires ou engendrer des pressions, calculées d'avance, au moyen de vérins hydrauliques placés à des endroits appropriés. Le montage des cintres en arc peut aussi se faire à l'aide de câbles. Des câbles de suspension permettent de réaliser la forme voulue ; on ferme après coup les joints des membrures en coulant du ciment. Par contre on ne peut pas corriger une déficuosité existant dans la forme d'un cintre en arc par mise en pression ; on ne peut y remédier que par des fourres superposées. Si l'on transporte des cintres en arc par flottage, il est nécessaire de fixer des tendeurs à leurs naissances.

Par souci d'économie l'ingénieur imagine de construire les voûtes en anneaux, afin de réduire l'importance des échafaudages et par conséquent leur coût. On considère aujourd'hui cette méthode comme la plus économique pour la construc-

tion des grandes voûtes. La charge du cintre diminuera avec le nombre des anneaux. On peut créer des soulègements artificiels déterminés ou introduire des dispositifs élastiques réciproques lors de l'exécution du deuxième anneau et des anneaux suivants. Il y aurait enfin possibilité de construire des anneaux indépendants les uns des autres et que l'on relie après coup. Le poids du premier anneau du pont sur l'Aar à Berne était d'environ 3800 t, c'est-à-dire à peu près les 34 % du poids total de la voûte. Après l'exécution des deuxième et troisième anneaux, la charge sur le cintre correspondait environ aux 50 % du poids de la voûte. La position de la ligne des pressions dans le cintre pourra être améliorée en multipliant le nombre des subdivisions le long de l'arc¹.

¹ Le pont de l'Elorn a été exécuté en 3 anneaux (Schweiz. Bauzeitung, fasc. 83, p. 272* et fasc. 93, p. 252*); le premier anneau comportait 7 groupes de bétonnage à 6 éléments, soit 42 sections. Le pont de l'Esla en Espagne devait être fait en 4 anneaux (fasc. 115, p. 29*). Le premier anneau comportait 7 groupes de bétonnage à 7 éléments, soit 49 sections. Le premier anneau du pont de l'Aar à Berne comporte 36 sections de bétonnage.

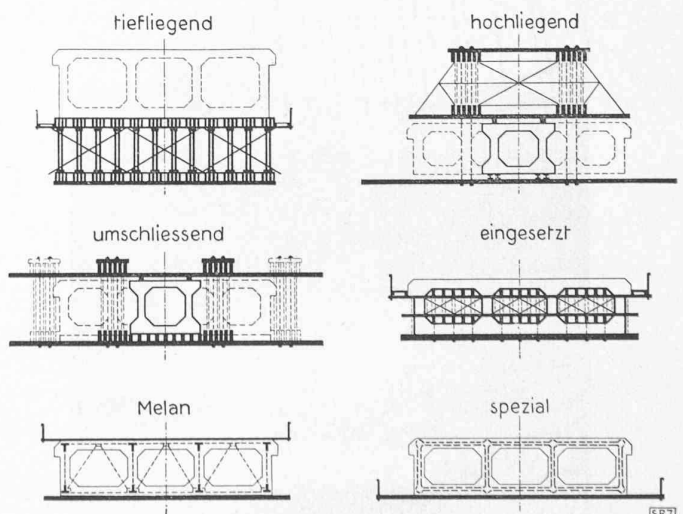


Fig. 36. — Systèmes de cintres pour l'exécution des grandes voûtes. Tieflegend = inférieur — hochlegend = supérieur — umschliessend = enveloppant — eingesetzt = intercalé — Melan = système Melan. — spezial = système spécial.

¹ Le cintre du pont sur l'Aar a comporté environ 1400 m³ de bois et 30 t d'acier (boulons, anneaux et clous).

² De telles mises en charge préalables n'ont pas été exécutées aux 4 grands ponts en arc construits jusqu'à ce jour (Elorn/Brest, Traneberg/Stockholm, Esla/Espagne, La Caille/Savoie).

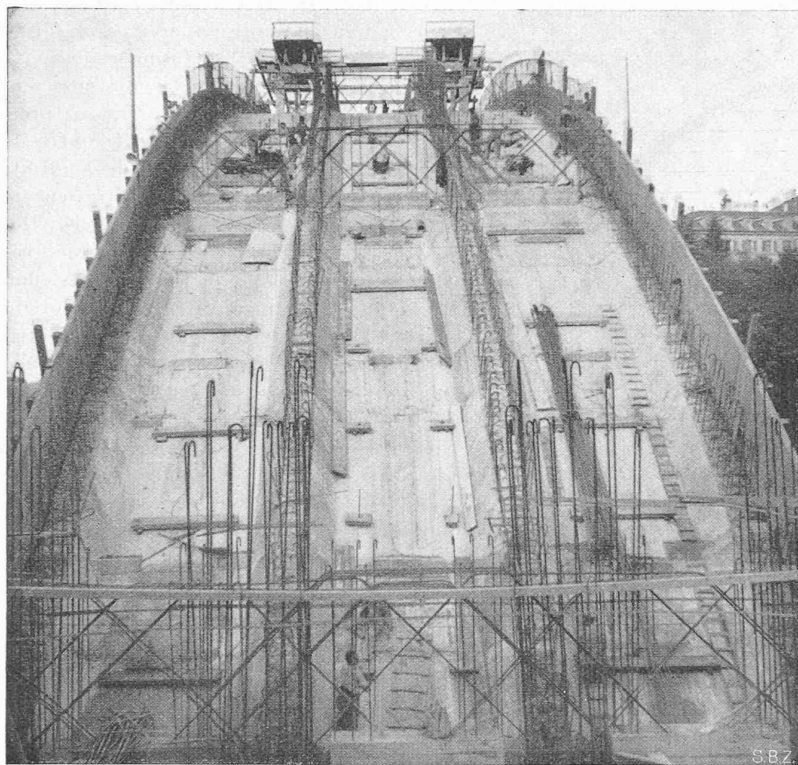


Fig. 37. — Bétonnage du premier anneau et armature des nervures.

Au pont d'Elorn, Freyssinet descendit, pour le premier anneau, à 15 % du poids de la voûte ; au pont d'Esla, en Espagne, la subdivision des éléments a été poussée très

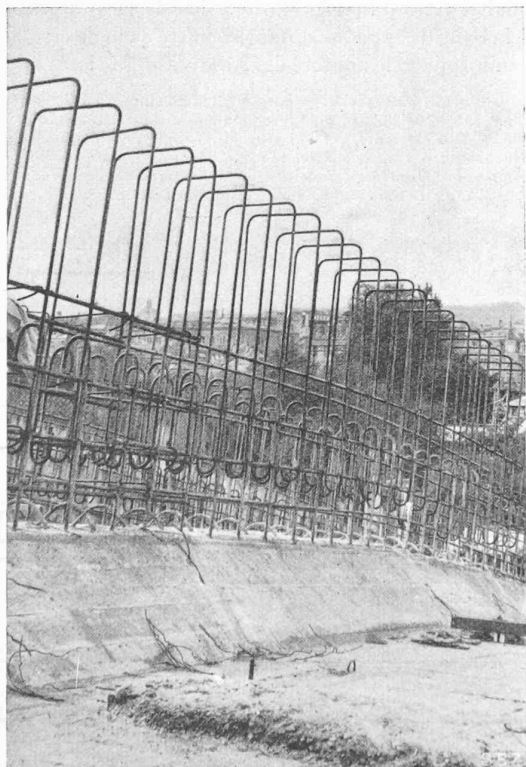


Fig. 38. — Armature longitudinale et fers de répartition des nervures de la voûte.

loin. Il est alors possible de faire usage d'un simple voile en bois raidi par un léger treillis formant membrure inférieure ; il faudra toutefois vérifier la sécurité au flambage et la rigidité transversale. Les cintres en arc encastrés aux naissances sont très rigides et offrent une grande sécurité. Nous avons déjà prévu ce système de cintre dans notre avant-projet ; il présente en outre d'importants avantages d'ordre pratique par rapport au cintre articulé.

Les cintres en arc peuvent être soit à courbure continue, soit en ligne brisée au droit des nœuds comme toute construction chevillée (fig. 35). Les résultats des calculs pour les membrures polygonales et pour les membrures courbes continues diffèrent sensiblement. C'est surtout vrai pour les diagonales. Un calcul approximatif est insuffisant, dans le premier cas spécialement ; l'étude devra au contraire être faite très soigneusement.

Un cintre ne doit jamais être projeté seulement pour lui-même ; il faudra aussi tenir compte, en l'établissant, des sections de bétonnage et des joints, sans quoi on devrait recourir à des étais compliqués. Etais, échafaudages auxiliaires et cintre doivent former un tout. Les coffrages disposés sur les fermes suivant deux nappes à 45° pourront alors former contreventement. Un cintre ne peut être considéré comme parfait que si l'on a tenu compte de tous les points énoncés

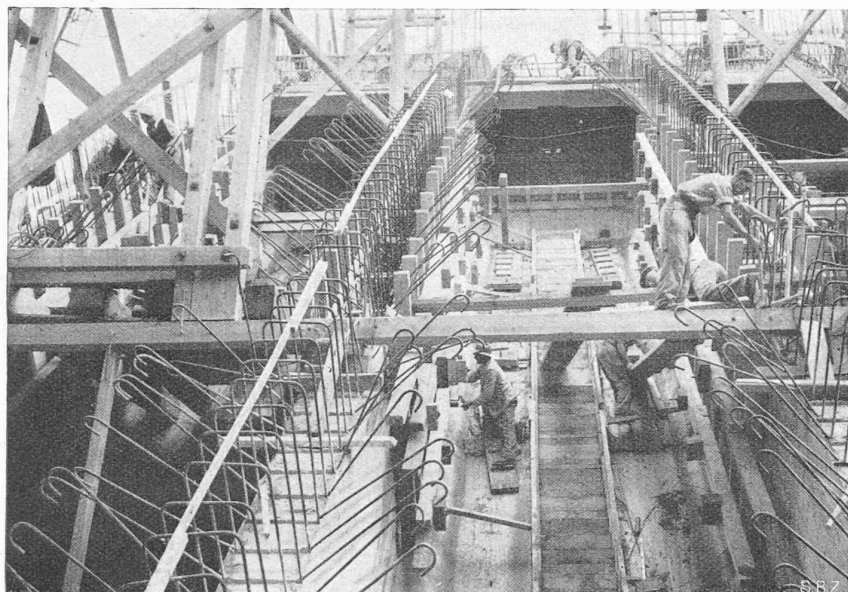
plus haut. On voit par ce qui précède la relation extrêmement importante qui existe entre la voûte et le cintre².

14. Les différents modes de construction des grandes voûtes sont représentés à la figure 36 ; nous y avons indiqué, au complet croyons-nous, les diverses solutions possibles. Il n'y a pas de règle générale pour l'adoption de l'un ou l'autre de ces procédés ; le meilleur dépend dans chaque cas particu-

² *Schweiz. Bauzeitung*, fasc. 112, p. 203* (22 oct. 1938) : « Das Leegerüst für die neue Aarebrücke in Bern », par H. K&C, Zurich. Les relations mentionnées ci-dessus entre le cintre et la voûte ainsi que les modalités d'exécution n'y sont pas complètement mises en valeur.



Fig. 46. — Commencement des travaux de démontage du cintre de la grande voûte (27 février 1939).



lier de la portée de la voûte, de sa largeur et de sa hauteur. Seule la voûte à nervure entre ici en ligne de compte. On distingue parmi les cintres en arc le cintre inférieur, le cintre supérieur, l'enveloppant et l'intercalé. A ces types viennent encore s'ajouter : le système Melan et une solution spéciale avec ossature tubulaire en béton armé¹. Dans ces deux derniers cas, le cintre fait corps avec la voûte, ce qui est une solution idéale. On peut recourir ici au montage en porte à faux et à un enrobage de béton ou de gunite opéré suivant un ordre déterminé.

Une voûte évidée est très difficile à construire en raison du grand nombre des sections de bétonnage. Nous attirons l'attention sur le cintre intercalé où les éléments transversaux peuvent être construits après coup. Les entretoisements d'un cintre, ainsi que ses étais doivent être capables de

¹ Voir un projet de Lossier pour un pont sur la Rance, de 460 m de portée.

Fig. 39. — Deuixième anneau (nervures de la voûte) bétonné: étriers et armature biaise pour le troisième anneau (19 octobre 1938).

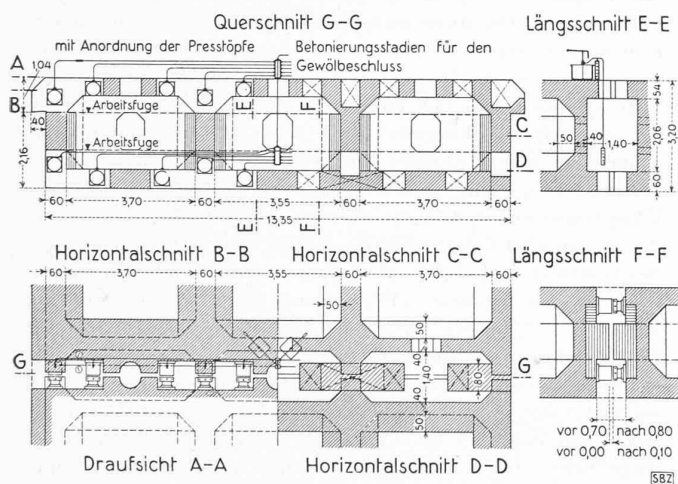


Fig. 41. — Dispositif au sommet de la grande voûte pour la mise en tension et le réglage (à la clé). 20 vérins de 330 t de capacité.
 Querschnitt = coupe en travers — Längsschnitt = coupe en long — Anordnung der Pressstöpfe = disposition des vérins — Betonierungsstadien für den Gewölbeschluss = avancement du bétonnage pour le clavage de la voûte — Horizontalschnitt = coupe horizontale — Draufsicht = vue en plan.

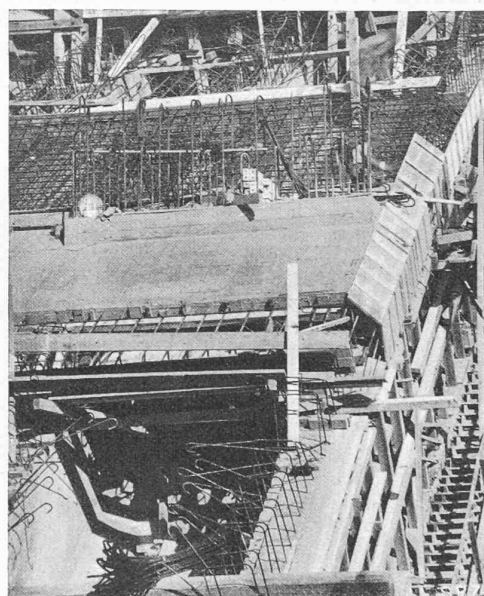


Fig. 40. — Coffrage et armature du troisième anneau.

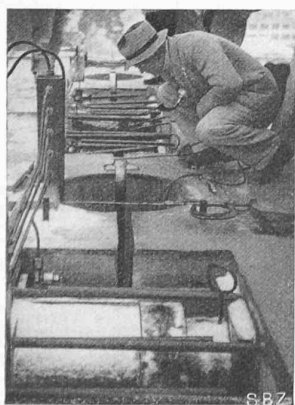


Fig. 42. — Mise en tension de la grande voûte à l'aide de vérins placés dans le joint à la clé.

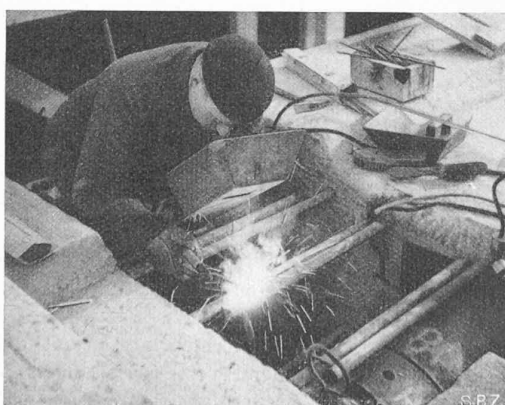


Fig. 43. — Soudure des fers d'armature juxtaposés dans les espaces libres du joint à la clé.

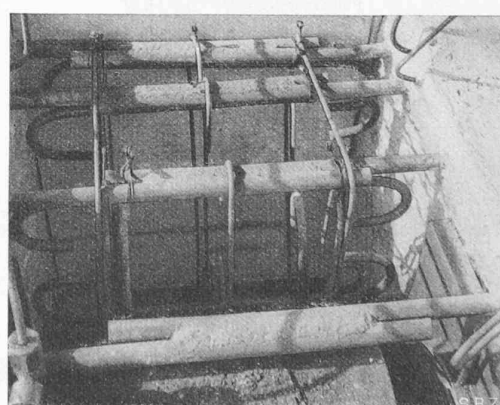


Fig. 44. — Armature soudée et complétée dans le joint à la clé, après enlèvement des vérins.

recevoir et de répartir les charges locales ou inégales lors du bétonnage. Les figures 37 à 40 donnent une idée de l'exécution par anneaux de l'arc sur l'Aar et de ses complications.

15. Le réglage d'une voûte construite par anneaux.

Cette opération comprend le décintrage et le réglage des poussées. Le but de ce réglage est d'imposer à la voûte une ligne de pression ou une distribution des tensions déterminée, calculée d'avance, compte tenu du poids de la superstructure, des effets du retrait et de la température, ainsi que de la surcharge.

Disons tout d'abord quelques mots de la mise en pression que l'on réalise le mieux à la clef de la voûte (fig. 41). Dans la construction par anneaux la section transversale à la clef n'est fermée que dans la mesure nécessaire à la transmission de la poussée due au poids propre. Des feuilles de plomb sont placées aux joints pour empêcher la liaison des demi-voûtes. Sur le reste de la section et entre les armatures longitudinales qui seront reliées par la suite, on dispose des vérins hydrauliques. C'est probablement au pont de Berne qu'a été appliqué pour la première fois ce système de liaison de l'armature à la clef (fig. 42 à 44). Les vérins sont mis en action au moment propice, jusqu'à ce que les moitiés de voûte se rejoignent. Lorsque les pressions voulues sont atteintes et que la voûte s'est suffisamment décollée du cintre, les vérins sont bloqués; l'armature longitudinale est alors soudée. Les vérins peuvent être enlevés isolément; on peut s'il le faut faire fondre les feuilles de plomb, procédé qui s'est révélé

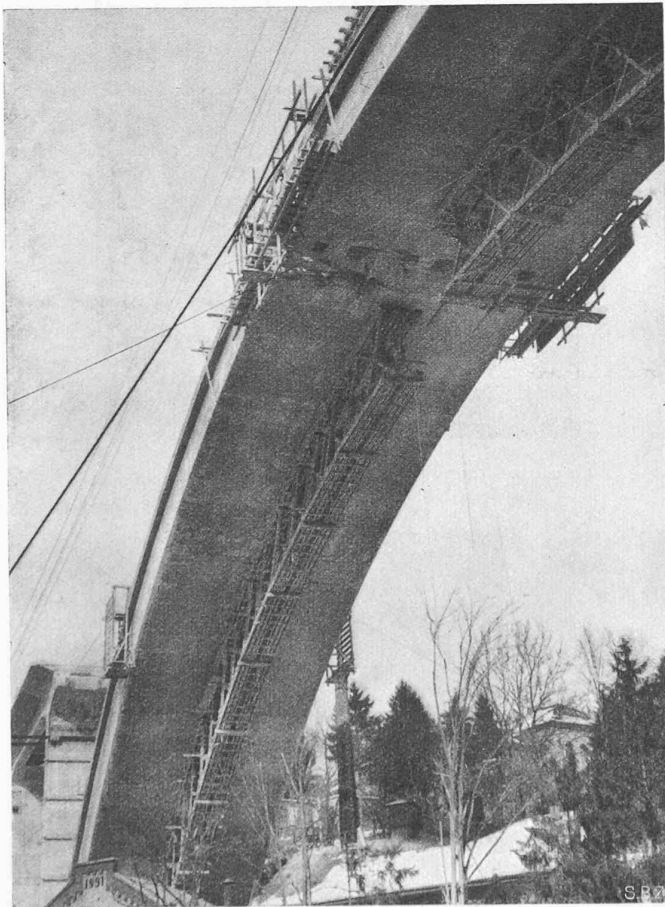


Fig. 47. — Dernière phase de la démolition du cintre, qui était lié par des boulons de scellement à la voûte, ce qui assurait l'action combinée du bois et du béton.

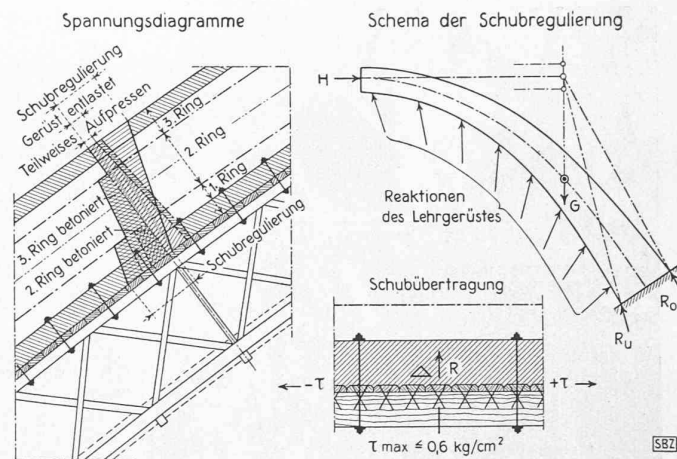


Fig. 45. — Présentation des effets fondamentaux produits par la mise en tension de la voûte. Collaboration du cintre et de la voûte.

Spannungsdiagramme = diagrammes des efforts — Schema der Schubregulierung = schéma du réglage de la poussée — Gerüst entlastet = cintre déchargé — Teilweises Aufpressen = mise en tension partielle — Ringbetonniert = anneau bétonné — Ring = anneau — Reaktionen des Lehrgerüsts = réactions du cintre — Schubübertragung = transmission des efforts de glissement.

très commode. Le joint est ensuite fermé à l'emplacement de chaque vérin. On utilise un béton dont la plasticité varie inversement à la largeur du joint afin d'obtenir un retrait uniforme en tous les points du joint. La solution idéale consisterait à faire agir les vérins non pas sur les dalles de la voûte, mais sur les deux diaphragmes situés à la clef, afin d'obtenir une répartition aussi régulière que possible de la poussée.

Les données concernant la mise en pression de l'arc sur l'Aar ressortent de la figure 45. La construction des anneaux 2 et 3 a engendré des contraintes dans une section quelconque des rouleaux 1 et 2. Les poids des anneaux sont approximativement les suivants: 1^{er} anneau, 27,5 t/m; 2^e anneau, 12,4 t/m; 3^e anneau, 29,5 t/m. Les observations faites sur l'échafaudage ont montré que la collaboration entre les anneaux de bétonnage et le cintre était très bonne ($n = 2$ à 4 suivant l'âge du béton et la sollicitation). L'adhérence du béton aux coffrages est d'après les essais de 0,6 kg/cm² (coffrage brut). On n'a toutefois compté qu'avec 0,2 kg/cm². L'adhérence pourrait encore être augmentée par des moyens très simples, tels que clouages, chanfreinages du bois, etc. Au pont de l'Aar, on fit aussi usage d'ancrages traversant l'intrados. Ces ancrages, au nombre de 300 environ, ont ensuite servi à suspendre à la voûte le cintre décollé; ils furent utilisés pour la démolition du cintre (fig. 46 et 47).

La mise en pression a pour but de décoller le plus possible la voûte du cintre, donc de soulager celui-ci. Ce n'est qu'après cette opération que le cintre est abaissé aux naissances, et ainsi complètement déchargé. Lorsqu'il s'agit d'une construction de grandes dimensions, les effets de ces opérations ne peuvent pas être suivis exactement, si ce n'est par une installation de mesurage très complexe. Mais cela ne joue pas de rôle. Ce qui importe c'est de calculer, même approximativement, les efforts engendrés par le décintrage, abstraction faite de la mise en pression de la voûte, et qui ont pour effet d'augmenter les contraintes. Pour contrôler la poussée artificielle on pourrait, le cintre enlevé, relâcher les vérins jusqu'à fermeture du joint de clef, puis régler à nouveau. Au pont sur l'Aar le contrôle théorique a été fait après coup. Pour finir on égalise aussi bien que possible les contraintes dans les diverses sections de la voûte, au moyen des vérins, conformément au petit diagramme correctif esquissé à la fig. 45.

Il est difficile de contrôler les effets des variations hygrométriques, de la température et du retrait sur les anneaux et sur le cintre. Ce problème est encore à résoudre ; il faudrait posséder des données expérimentales. Dans ce domaine, c'est l'influence de la température qui est prépondérante si les cintres sont en fer et celle de l'humidité s'ils sont en bois non protégé ou non imprégné (par exemple sans peinture).

Il est recommandable d'introduire dans les voûtes une poussée supérieure à la poussée théoriquement nécessaire ; la poussée garantit en quelque sorte la vie même de l'arc ; elle ne fait que diminuer avec le temps. Au pont sur l'Aar ce supplément de poussée s'est trouvé réalisé par le fait que, par suite de frictions à l'intérieur des vérins, la poussée réelle était de 1 à 2 % supérieure à la poussée lue aux manomètres¹.

Il n'est plus douteux que les choses soient compliquées même dans les cas qui paraissent les plus simples, comme par exemple celui du pont de Traneberg à Stockholm. La voûte de ce pont a été construite en un anneau. Les sections de voûte ont malgré cela travaillé en collaboration avec le cintre. Des étais et des liaisons réciproques, nécessaires pour des raisons de sécurité, ainsi que les influences de la température et du retrait (béton, bois, acier) augmentent la collaboration des éléments, de sorte que, même dans les cas aussi simple, le décintrage engendre des tensions intérieures additionnelles. Celles du pont sur l'Aar, à Berne, atteignent à peine 5 à 10 kg/cm², ce qui est minime vis-à-vis des contraintes totales (100 kg/cm²).

On peut donc dire qu'une voûte ne se trouve dans un état de contraintes suffisamment clair que lorsqu'on a réglé la poussée *après le décintrage*. Les incertitudes qui subsistent doivent être attribuées au fait que, avant le décintrage, voûte et échafaudage ont travaillé solidement dans une mesure difficile à évaluer et qu'il s'est produit de petits écarts par rapport à la forme théorique de l'arc.

A en croire les quelques rares indications que nous possédons, la construction des grandes voûtes par anneaux n'inspirait pas confiance. A tort, pensons-nous (avec Freyssinet) ; quand on construit des voûtes, il faut toujours compter avec quelques incertitudes. (A suivre.)

Quelques préoccupations de la Direction des travaux de Lausanne.

En guise d'avertissement.

Nous vivons, décidément, des temps bien singuliers, puisque la prudence imposée par l'autorité supérieure est telle que les techniciens les plus sûrs ont de la peine à se procurer la moindre des cartes nécessaires à leurs travaux, que les poteaux indicateurs n'indiquent plus rien, et que les édiles n'osent presque plus parler de leurs projets parmi les plus importants.

Mais, dans ce pays, nous avons moins que quiconque le droit de nous plaindre, puisque notre sort, lorsque nous comparons, est encore infiniment enviable. On va donc se plier une fois de plus avec bonne grâce à des consignes dont on n'est pas forcé pourtant d'apprécier toutes les raisons. On ne nous en voudra pas, par conséquent, si, dans le résumé qui va suivre, on se borne à esquisser souvent plus qu'à décrire, à renseigner, certes mais dans les grandes lignes davantage que dans les détails.

Caractéristiques lausannoises.

Dans notre Pays de Vaud, l'autonomie communale est

¹ Voir *Schweiz. Bauzeitung*, fasc. 113, p. 93* (25 févr. 1939) : « Scheitelhebung der Aarebrücke » par A. STAUB, Zurich.

restée, fort heureusement, considérable. La capitale s'est développée sur un rythme que bien peu de villes suisses ont connu. Petite ville encore, il y a un demi-siècle, Lausanne est aujourd'hui, à l'échelle modeste de nos patries cantonales, une sorte de grande ville de 100 000 habitants bientôt.

L'administration communale est, à certains points de vue, presque plus indépendante que l'administration cantonale. Un seul exemple : Pour tout crédit supérieur à 500 000 fr., que vote le Grand Conseil, le peuple entier doit se prononcer ; tandis que le Conseil communal (législatif de la Ville) peut fort bien voter en un soir deux ou trois millions sans que le referendum soit le moins du monde obligatoire.

Le budget de Lausanne, si l'on compte en même temps celui des Services industriels, lesquels sont d'ailleurs un simple dicastère communal, est les deux tiers du budget du canton.

Avec ses cinq services occupant quelque soixante-dix ingénieurs, techniciens et fonctionnaires, et quelque trois cents ouvriers, de même qu'un matériel considérable, la Direction des travaux de Lausanne est une affaire fort importante. (Service administratif jouant le rôle de secrétariat général et assurant une bonne liaison entre tous les services ; service technique ou des travaux neufs, comprenant le bureau des géomètres ; service du plan d'extension ; service des bâtiments de la Ville ; enfin service de la voirie, avec les serres, jardins et promenades, les magasins de la Ville, l'entretien des chaussées et des égouts, l'enlèvement des ordures ménagères ; à côté de cela l'aviation, et quelques services nouveaux nés de la guerre, par exemple la récupération et la partie technique de la D. A. P.)

Chacun ressent pour son compte les fâcheuses conséquences de la situation générale, qui oblige souvent à un travail fragmentaire et heurté dans les réalisations, tandis que le labeur de prévision doit se poursuivre comme si, demain, la vie normale allait reprendre son cours. Les grandes administrations publiques, dont il ne faut pas médire à la légère, car Courteline y trouverait bien rarement son compte aujourd'hui, se débrouillent du mieux qu'elles peuvent. Les mobilisations causent sans cesse des vides dans un personnel qui a plus de peine que n'importe lequel à obtenir des congés ! Les matières premières, qui manquent de plus en plus, obligent à de curieuses gymnastiques, soit au point de vue des transports, soit au point de vue des chantiers, dont le lancement et la conduite dépendent souvent davantage du marché changeant du travail que des impératifs de la technique et des saisons.

La topographie de Lausanne, si capricieuse, pose à chaque instant, en ce qui concerne notamment le plan d'extension, des cas particuliers épineux que le bon sens et le bon goût ne peuvent pas toujours résoudre harmonieusement. N'est-ce pas une des seules villes, par exemple, où les problèmes de l'étagement, de la vue, des discordances de niveaux entre artères très voisines, s'enchevêtrent sans cesse avec les problèmes généraux auxquels se heurtent toujours les urbanistes?!...

Ajoutez à cela que Lausanne était en pleine réorganisation de ses services des travaux — et des dispositifs légaux sur lesquels se fonde toute la besogne — lorsque l'économie de guerre est venue bouleverser les choses. Il a fallu suspendre, sans la perdre de vue, la réorganisation du service de la voirie et de ses annexes, puisque la disette des carburants a rendu nécessaire le maintien des chevaux. Des travaux importants sont prêts et votés, dont la réalisation dut et doit être suspendue, à cause des mobilisations et du plan Wahlen. Grâce au ciel, la transformation de la plupart des lignes de trams en trolleybus a pu être menée à chef avant le déclenchement de la grande tourmente de l'an dernier, mais il reste cependant du