

Nach dem Abbinden des Betons wurde die Brücke dem leichten Verkehr übergeben, aber schwere Fuhrwerke verkehrten bis zur Probelastung nicht.

Die Probelastung wurde mit einer 20 t schweren Dampfpfluglokomotive durchgeführt.

Während der Belastung der wiederhergestellten Öffnung entstanden in sämtlichen Öffnungen jene Durchbiegungen, welche sich nach der Theorie der durchlaufenden Träger ergeben.

Während und nach der Probelastung wurden bei dem Anschluß der alten und der neuen Betonflächen keine Risse wahrgenommen und da nach der Probelastung sämtliche Flächen der Brücke einen Zementanstrich erhielten, konnten Nichtfachleute nicht wahrnehmen, bei welchen Teilen die Herstellung erfolgte.

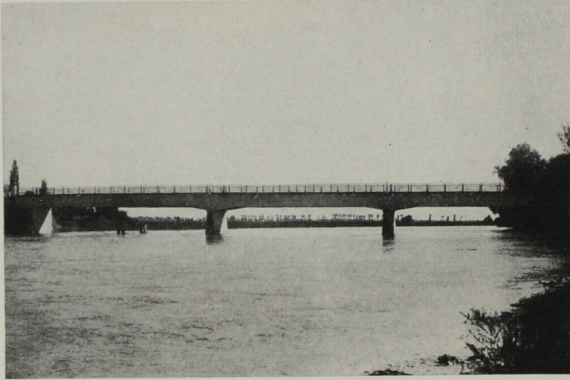


Abb. 5

Die Brücke ist schon seit sieben Jahren im Gebrauch und seit dieser Zeit waren keine gefährlichen Anzeichen zu bemerken.

Die Ergebnisse der Probelastung und der siebenjährige Verkehr auf der Brücke beweisen, daß die Wiederherstellung vollen Erfolg hatte.

Die Wiederherstellungsarbeiten wurden durch das zuständige Staatsbauamt in eigener Verwaltung durchgeführt.

Die Arbeiten leitete nach meinem Entwurf ein tüchtiger Ingenieur des betreffenden Staatsbauamtes mit vielem Eifer und mit vollem Erfolg.

F. CAMPUS, Ingénieur des constructions civiles et électricien, Professeur à l'Université de Liège:

Ponts en béton ou en maçonnerie à anneaux multiples.

M. SÉJOURNÉ, l'éminent constructeur du Pont Adolphe à Luxembourg, a exposé dans le fascicule d'octobre 1904 de la « Revue générale des chemins de fer » les principes des larges ponts en maçonnerie à deux anneaux de voûtes en berceau, dont il fut l'inventeur. Ce dispositif a reçu depuis de multiples applications, non seulement en France, mais ailleurs en Europe et en Amérique. Un pont de ce type est en construction sur la Meuse à Liège. Il comporte six arches à deux anneaux de 4,00 m, de largeur, laissant entre eux un vide de 6,50 m, couvert par un tablier en béton armé. Il a une largeur totale de 18,00 m entre garde-corps; les trottoirs sont partiellement en encorbellement. Les arcs sont à trois articulations, parce que l'on peut craindre des mouvements du sol par suite des exploitations minières. La plus grande ouverture est de 44 m.

Le projet primé au concours pour le pont sur la Moselle à Coblenz comporte trois grandes arches à deux anneaux, d'une ouverture de 114,50 m. (Voir *Beton und Eisen*, nos. 11 et suivants de 1928.) Le vide intermédiaire n'a que 1,66 m de largeur. Les arcs sont triplement articulés et ont reçu une faible armature destinée à augmenter la résistance du béton à la compression. Mais ils sont conçus comme

des voûtes en maçonnerie, c'est à dire que la ligne des pressions reste en toutes circonstances dans l'intérieur de la région centrale.

Il semble que pour les ponts de moyenne portée ou dont le tablier est peu élevé au dessus de la voie à franchir, les arcs en béton non armé ou en maçonnerie peuvent encore donner satisfaction aux points de vue de l'économie⁽¹⁾ et de l'aspect. La triple articulation en rend le calcul très sûr et peut permettre d'assez grandes portées (pont précité de Coblenze). Elle garantit contre les conséquences possibles de certains mouvements du sol. C'est pour cette raison qu'on y a eu recours pour deux ponts en construction sur la Meuse près de Liège; le pont-route précité et un viaduc de chemin de fer à Renory, à 9 arches des 61,40 m d'ouverture maximum, établi au dessus des exploitations houillères souterraines. Des procédés de construction adéquats: articulations provisoires, décintrement par soulèvement au dessus du cintre, selon le système de M. FREYSSINET, avec ou sans articulations de naissances, etc., peuvent également convenir pour réduire les incertitudes du calcul des arcs en maçonnerie par les méthodes de l'élasticité.

La largeur toujours croissante des ponts dans les grandes villes, exigée par les besoins de la circulation et qui dépasse 30 m, dans certains ouvrages (Memorial Bridge à Washington) ne s'accommode pas, d'une manière satisfaisante, de la division de la voûte en deux anneaux. Déjà dans les anciens ouvrages de ce système, les portées des hourdis entre les arcs atteignent:

- 5,92 m au Pont Adolphe à Luxembourg (largeur 16 m);
- 10 m au Pont des Amidonniers à Toulouse (largeur 22 m);
- 10,80 m au Pont Wilson à Lyon (largeur 20 m).

Nous n'exposerons pas les inconvénients de ces grandes ouvertures; ils ressortiront par antithèse de l'énoncé des avantages des ponts à plus de deux anneaux. Remarquons que le principe de la multiplicité des arcs a été appliqué au pont de

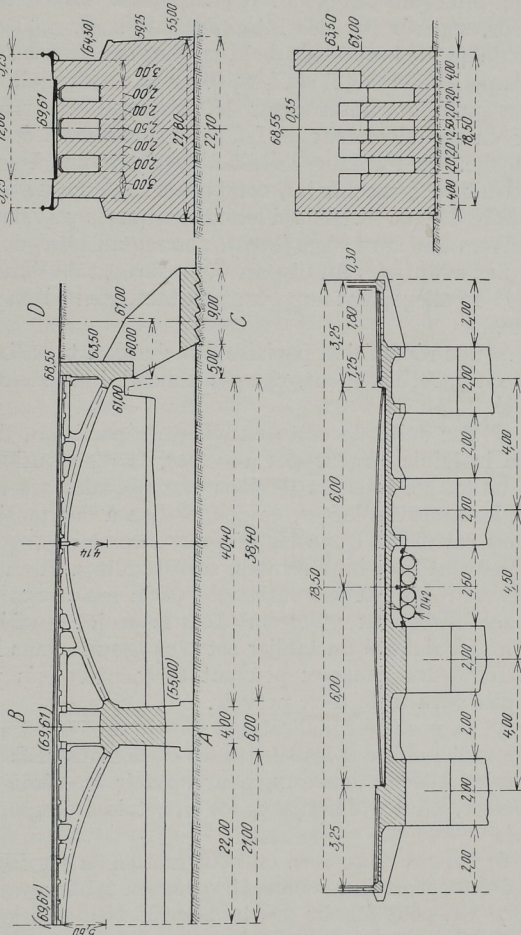


Fig. 1

(1) Telle est notamment la conclusion du rapport de M. H. Lossier.

la Tournelle à Paris, récemment achevé. Il comporte trois anneaux larges, creux et cloisonnés, en béton armé. Le second projet primé pour le pont de Coblenze prévoyait quatre anneaux creux en béton armé. Mais nous n'avons pas connaissance que la disposition ait été employée pour des ponts en béton ou en maçonnerie.

Nous avons eu l'occasion, en 1926, d'étudier un tel dispositif comme variante pour un projet de pont à plusieurs arches à deux anneaux de 4,00 m de largeur, séparés par un intervalle de 6,50 m. Il comportait des arches à quatre anneaux de 2,00 m de largeur, séparés par des intervalles de 2,00, 2,50 et 2,00 m. La portée maximum était de 44 m; le rapport de la largeur des arcs à l'ouverture était donc: $1/22$, alors qu'au pont Adolphe, il est $1/14$ (Voir M. SÉJOURNÉ, op. cité) et $1/32$ au pont de Ville-neuve-sur-Lot (constructeur M. FREYSSINET). Nous avons donc considéré que pour un surbaissement de $1/8^e$, ces dimensions étaient admissibles sans crainte de flambage. Un tel danger était d'autant moins à envisager que le pont devait être construit en deux parties, composées chacune de deux anneaux et du tablier intermédiaire de 2,00 m. Mais si les circonstances y avaient incité, on aurait pu construire les divers anneaux séparément, comme au pont de la Tournelle.

Les avantages du dispositif, ressortant de l'étude, sont:

1^o un allègement important du tablier en béton armé et une économie correspondante,

2^o une répartition parfaite des charges, tant fixes que mobiles. Grâce aux trottoirs en encorbellement, chaque anneau était identiquement chargé dans le projet étudié.

3^o Par suite de cette excellente répartition, de la symétrie, de la disposition et de la faible largeur des anneaux, la distribution interne des tensions doit être très uniforme, sans les flexions transversales secondaires qui peuvent se produire dans les anneaux larges, et donner lieu à des tensions locales supérieures aux moyennes calculées. Donc les fatigues secondaires, que l'on ne peut déterminer mais qui peuvent être importantes, sont réduites. Il en est de même probablement des effets du retrait et des variations de la température. Le taux de travail maximum des arcs atteignait 45 kg/cm² dans le projet étudié.

4^o La rigidité du tablier est plus grande dans le sens vertical. Sous le tablier, aux reins, les anneaux peuvent être entretoisés par quelques traverses, mais il n'a pas paru utile d'en prévoir.

5^o La pose de canalisations sous le tablier est aisée. Grâce à la faible épaisseur du hourdis, on peut les suspendre en dessous sans qu'elles soient apparentes. Dans le projet à deux anneaux, pour obtenir le même résultat, les conduites devaient traverser, en les déforçant, les entretoises de grande hauteur du tablier en béton armé.

6^o En cas d'urgence, on peut mettre en service la première moitié du pont dès son achèvement (2 anneaux, largeur du tablier provisoire 8 m).

7^o On peut établir des tabliers de toutes largeurs et on peut concevoir l'élargissement éventuel par addition d'anneaux, sans arrêt de trafic sur le pont primitif.

8^o Les culées peuvent recevoir des dispositions très favorables. Dans le projet, elles sont formées de massifs établis dans le prolongement des anneaux, de même largeur que ceux-ci et s'épanouissant vers l'assise de fondation. Ces contreforts s'appuient sur une épaisse semelle commune, établie sur le bon terrain ou sur pieux en cas de besoin. Les massifs extrêmes, éventuellement plus épais, forment les murs de tête des culées. Un masque vertical, d'épaisseur convenable pour résister à la poussée des terres et contribuer au redressement des réactions des arcs, réunit les massifs au dessus du niveau du sol et tient lieu de piédroit. Ce dispositif a été reconnu très satisfaisant. La stabilité élastique des culées était excellente sous l'effet des poussées maxima et en supposant les terres enlevées, hypothèse très défavorable

et, en fait, irréalisable. Le poids des terres, dont il n'avait pas été tenu compte, donnait encore un supplément de stabilité, puisque le poids total était presque le même que celui d'une culée massive. La résistance était aussi satisfaisante lorsque, tenant compte des poids et de la poussée des terres, on envisageait les réactions minima des arcs. Dans l'ensemble, l'économie réalisée par ce dispositif en comparaison des culées pleines du projet à deux anneaux, était très considérable et voisine de 30%.

9^o Les piles aussi peuvent recevoir des formes favorables, notamment par piliers séparés. Dans le projet envisagé, la disposition consistait en un soubassement massif jusqu'au niveau des naissances, supportant des piliers correspondant aux anneaux. Les vides étaient recouverts par des éléments de tablier en béton armé. Cette disposition s'accordait avec l'ensemble de l'ouvrage, eu égard à l'aspect recherché, et paraissait suffisamment économique

10^o Les avantages d'exécution sont certains. Les facilités de circulation entre les anneaux favorisent la manutention. Le bétonnage est facilité, notamment par la réduction de largeur des anneaux, qui permet de mouler de plus grands claveaux en un poste. L'emploi de blocs moulés d'avance est possible. Les divers anneaux peuvent être éventuellement construits sur un seul cintre mobile, comme au pont de la Tournelle, ce qui réduit sensiblement les dépenses de cintrage. Le décintrement des anneaux minces par le moyen de vérins est facilité par la division de la poussée.

En résumé, la variante étudiée d'après les dispositions décrites réalisait, outre de nombreux avantages techniques, une diminution du cube de béton voisine de 15%. Son principe améliore donc beaucoup l'économie des ponts en béton ou maçonnerie à large tablier. Il procède directement des nombreux travaux dont M. SÉJOURNÉ fut le précurseur. Il en atténue le caractère mixte et donne aux ponts en béton des structures analogues à celles des ouvrages en béton armé.

La non réalisation du projet étudié en 1926—27 a été due à des circonstances n'ayant aucune signification technique et qui ne peuvent être invoquées contre lui.

Le système peut convenir aux ponts-routes, aux ponts-rails et aux ponts-canaux, mais surtout aux premiers. Pour les ponts de chemin de fer, les tabliers séparés, selon le système employé par M. FREYSSINET à Landelies (Belgique) pour le pont Candelier, paraissent préférables.

* * *

Il y a peut-être quelque intérêt à décrire une disposition spéciale du projet étudié, qui ne se rattache pas nécessairement au principe des anneaux multiples, mais n'est guère possible qu'en association avec celui-ci et a été suggéré par son étude. Les arcs étant triplement articulés, les tabliers devaient avoir au moins trois joints. Au lieu de les établir sur les arcatures habituelles, assez lourdes et coûteuses, le projet prévoyait des tabliers en béton armé recouvrant l'espace entre les piles et les reins des arcs, sans appuis intermédiaires. Chacun comportait huit poutres principales en béton armé, de dimensions appropriées, correspondant aux anneaux par groupes de deux. Elles prenaient appui sur les arcs, près de leurs faces latérales, par des semi-articulations Mesnager et sur les piles ou culées par des balanciers en béton armé du système de M. H. LOSSIER ou par des rouleaux. Entre ces poutres, le hourdis en béton armé était constitué comme entre les anneaux.

La raison d'être du dispositif était un allègement très notable, une bonne jonction du tablier avec la voie sur les appuis et enfin la recherche d'un aspect léger, à grands élègements, ayant quelque analogie avec ceux du pont des Amidonnières à Toulouse ou davantage encore avec ceux de certains ouvrages suisses en béton armé. (Par exemple, l'ancien pont de Tavanasa.)

L'inconvénient de la subdivision supplémentaire du tablier n'est guère à retenir

car, pour un arc triplement articulé, l'appoint de la rigidité des arcatures dans la région des naissances ne peut être qu'insignifiant. Les anneaux restent solidarisés par le tablier entre la clef et les reins, ce qui est l'essentiel. Le système est isostatique, les fatigues secondaires non calculées sont réduites. Les lignes d'influence des fatigues des fibres extrêmes sont modifiées dans l'étendue de ces tabliers de jonction, dans un sens plutôt favorable à la sollicitation des arcs. Seulement, ceux-ci reçoivent aux reins les charges concentrées des appuis des tabliers de jonction, ce qui produit un léger jarret dans la ligne des pressions. Les axes des arcs ont été établis d'après le funiculaire des poids morts et de telle sorte que les effets de flexion des charges mobiles fussent minima. Il a été possible, malgré la discontinuité précitée, de réaliser un axe satisfaisant, formé d'un arc central de courbe du 4^e degré, se raccordant tangentielllement, au droit des appuis des tabliers de jonction, à deux arcs extrêmes de paraboles du second degré. Il y avait donc là une très faible discontinuité de courbure. Mais, grâce à la variation modérée d'épaisseur des anneaux, l'aspect obtenu était très satisfaisant.

M. DE BOULONGNE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef des Constructions métalliques à la Cie P. L. M. :

La Réparation et le Renforcement du Viaduc en Fonte sur le Rhône à La Voulte au moyen d'Éléments Métalliques et de Béton Armé ¹

Le Pont en arcs en fonte sur le Rhône près de La VOULTE, de 5 arches de 55 mètres d'ouverture chacune à une voie, a été renforcé en 1923 par addition de gros ronds en acier placés de part et d'autre de la semelle d'intrados des arcs fortement fixés sur cette semelle et noyés dans une dalle en béton armé réunissant toutes les semelles inférieures des arcs et contribuant elle-même dans une très large mesure au renforcement :

une seconde dalle en béton armé a été établie à l'extrados vers les retombées sur une longueur de 6 m environ ;

une troisième dalle en béton armé renforcée par des nervures transversales a été établie sous le ballast qui porte la voie.

Les calculs du renforcement ont été faits avec beaucoup de soin et le bon résultat du travail a été constaté par des vérifications expérimentales faites avec des appareils Manet-Rabut en 1924 et 1928.

On a obtenu trois résultats très intéressants :

1. Au point de vue technique, l'ouvrage qui ne pouvait supporter que le passage des locomotives les plus légères du Réseau supporte maintenant sans fatigue et sans trépidation les machines les plus lourdes.

2. Le renforcement a coûté moins de 50% de la dépense qu'aurait entraîné le remplacement.

3. L'aspect de l'ouvrage n'a pas été alourdi et reste aussi satisfaisant qu'avant le travail de renforcement.

Sur le même réseau P. L. M. M. de BOULONGNE a fait exécuter plusieurs autres renforcements du même genre de ponts en arcs aussi intéressants :

Pont sur le Rhône à CHASSE 5 arches de 40 m d'ouverture à 2 voies

Pont sur le Rhône à LYON 5 arches de 40 m d'ouverture à 2 voies

Pont biais sur l'ISÈRE à Montmélan

près de CHAMBÉRY 4 arches de 35 m d'ouverture à 2 voies

¹ Une description sommaire de ce renforcement se trouve dans „Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines“, No. 37/38, du 21 septembre 1928 ; la description la plus complète de ce renforcement se trouve dans les annales des ponts et chaussées (1924 — V, septembre-octobre).