Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 1 (1932)

Artikel: Ponts à poutres en béton armé de grandes dimensions: rapport général

Autor: Lossier, Henry

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-457

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: 08.07.2025

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

IV 1

PONTS A POUTRES EN BÉTON ARMÉ DE GRANDES DIMENSIONS

GRÖSSERE BALKENBRÜCKEN IN EISENBETON

LARGE GIRDER BRIDGES IN REINFORCED CONCRETE

RAPPORT GÉNÉRAL

ALLGEMEINES REFERAT

GENERAL REPORT

Henry LOSSIER,
Ingénieur Conseil, Argenteuil.

Les plus grandes portées actuellement réalisées dans les ouvrages en béton armé atteignent sensiblement 135 mètres pour les ponts en poutres, c'est-à-dire n'exerçant que des réactions verticales sur leurs appuis, et 200 mètres pour les ponts en arc.

Pour les ouvrages métalliques, les portées-limites ont dépassé 500 mètres pour les ponts en poutres et en arc, et 1.000 mètres pour les ponts suspendus.

Bien que la course aux portées-limites paraisse devoir se poursuivre surtout entre les arcs en béton armé et les fermes suspendues métalliques, les poutres en béton armé semblent pouvoir s'attribuer, dans l'avenir, une place nettement plus importante qu'il n'était apparu aux premiers constructeurs.

Sans méconnaître l'importance des progrès que ne manquera pas de réaliser encore la construction métallique, notamment par l'emploi d'aciers spéciaux et de la soudure, il semble donc que l'on doive s'attendre à voir diminuer de plus en plus le rapport, actuellement voisin de 4 à 5, des portées franchies par les ouvrages comparables en métal et en béton armé.

La question est, avant tout, d'ordre économique, puisqu'il est possible, dans les conditions actuelles et au point de vue technique d'envisager, avec le béton armé, des portées bien supérieures à celles déjà réalisées.

En effet, avec un béton présentant, à 90 jours, une résistance à la rupture de 600 kgs par cm^2, que nos moyens modernes d'exécution permettent d'obtenir, on peut envisager la construction de ponts en arcs, surbaissés au 1/5, de plus de 600 mètres et de ponts en poutres de plus de 400 mètres de portée, avec un faible pourcentage d'acier dans les éléments comprimés.

L'emploi d'armatures de compression en acier ou en fonte permettrait, en outre, de dépasser très nettement ces chiffres.

Au point de vue de son fonctionnement, et par suite de son étude, un ouvrage en béton armé ne se présente pas dans les mêmes conditions qu'un ouvrage métallique.

Pour ce dernier, en effet, on utilise un matériau, l'acier, dont les caractéristiques sont constantes ou, plus exactement, ne varient que dans des proportions relativement restreintes avec le temps.

Le béton, par contre, constitue un véritable « matériau vivant », dont les propriétés de résistance, d'élasticité et de volume se modifient très notablement avec le temps, surtout au début, sans jamais paraître se stabiliser complètement.

Les principales modifications ou progrès réalisés au cours de ces dernières années dans la construction des ponts en béton armé sont importants :

Béton.

La qualité des *ciments* s'est très notablement améliorée. Alors qu'il y a vingt ans à peine, on se contentait de résistances à la traction sur mortier normal de 8 et 15 kgs par cm² à 7 et 28 jours, on réalise, actuellement, des résistances supérieures à 20 et 25 kgs à 3 et 7 jours.

Des recherches sont actuellement en cours, dont on peut espérer d'importants progrès, se traduisant notamment par une combinaison plus complète du ciment avec l'eau de cristallisation.

Il y aura lieu, toutefois, de tenir compte du fait que sa fragilité tend à augmenter en même temps que sa résistance.

Le choix et le dosage de *l'agrégat*, trop négligés pendant longtemps, ont été l'objet de nombreuses améliorations.

Quant à la *mise en œuvre* du béton, elle a fait d'incontestables progrès, notamment par l'emploi de méthodes de vibration et de pervibration.

La diminution de la porosité qui en résulte a pour effet d'augmenter la résistance, tout en paraissant devoir réduire l'intensité des phénomènes de vitalité du béton, c'est-à-dire du retrait de durcissement et des variations du coefficient d'élasticité.

Armatures.

Les expériences de Considere sur des prismes sollicités à la compression ont mis en lumière le rôle des armatures transversales auxquelles on n'attribuait, auparavant, qu'un rôle secondaire et mal défini. Aussi, dans la plupart des ouvrages modernes, s'applique-t-on à réaliser une coopération aussi rationnelle que possible entre les armatures longitudinales et les armatures transversales, le pourcentage des premières ayant nettement diminué à l'avantage des secondes.

Par ailleurs, les raisons de mise en œuvre et de fonctionnement qui ont imposé l'emploi de l'acier doux ou très ductile dans les constructions métalliques n'existent pas au même degré, à beaucoup près, dans les ouvrages en béton armé.

Aussi, l'usage d'acier de nuance mi-dure ou même dure tend-il à se généraliser de plus en plus, des précautions spéciales étant alors prises contre la formation de fissures lorsqu'on fait travailler les armatures tendues à des taux élevés.

La *fonte* elle-même s'est révélée comme une armature de compression remarquable et même ductile, au cours des expériences de M. Von Emperger.

Phénomènes d'adaptation.

C'est un principe d'ordre philosophique que toute construction, comme tout organisme vivant, tend à s'adapter progressivement, avec le temps, aux conditions de longue durée qui lui sont imposées.

Dans les ouvrages métalliques, des glissements relatifs de la matière se produisent notamment au droit des trous de rivets et des assemblages, qui tendent à réduire l'action des contraintes locales et des efforts secondaires permanents dus à la rigidité et à l'excentricité des attaches.

Dans les éléments en béton armé soumis à la traction, des phénomènes de ce genre se produisent au fur et à mesure que l'action du retrait tend à mettre les armatures en compression relative.

Dans les éléments soumis à un effort de compression continu, le coefficient d'élasticité du béton paraîtrait diminuer avec le temps, réduisant ainsi les efforts parasites du retrait ou du tassement des appuis dans les arcs hyperstatiques.

Ces phénomènes sont lents et n'intéressent, en conséquence, que les charges d'action continue comme la charge permanente, à l'exclusion des charges dites instantanées.

Il semble donc, à priori, que certaines sollicitations parasites ont, en réalité, une intensité inférieure à celle qu'accusent les calculs basés sur les valeurs initiales des coefficients d'élasticité du béton à la traction et à la compression.

Si intéressantes que puissent paraître ces constatations, il importe toutefois de n'escompter qu'avec une extrême prudence le bénéfice des phénomènes d'adaptation.

Des dispositifs réticulés sans souplesse, des arcs à section trop rigide, etc. peuvent provoquer, dès la mise en service d'une construction, des efforts initiaux excessifs se traduisant par de larges fissures ou d'autres avaries susceptibles de nuire à la conservation des armatures.

Cette forme brutale d'adaptation initiale ne rentre évidemment pas dans le cadre des phénomènes favorables que nous avons envisagés.

La vie du béton armé et les variations du fonctionnement des grands ouvrages avec le temps.

Le calcul des efforts dans les ouvrages hyperstatiques en béton armé s'effectue, en général, par une application simpliste de la théorie de l'élasticité, et en ne considérant que la phase *initiale* de leur fonctionnement.

Cet usage, qui consiste à considérer le béton comme un matériau *inerte*, diffère nettement de la réalité, comme nous l'avons exposé dans le chapitre précédent.

En fait, les caractéristiques des éléments tendus ou comprimés d'un ouvrage en béton armé varient constamment avec le temps, aussi bien en ce qui concerne leur résistance proprement dite que leur élasticité.

La répartition des efforts dans un ouvrage hyperstatique, qui dépend des

déformations respectives de ses divers éléments, varie donc également en fonction du temps.

Or, cette question ne présente pas seulement un intérêt au point de vue scientifique, mais encore à celui de la sécurité.

On peut se demander, en effet, si, dans un ouvrage normalement calculé dans l'hypothèse de son fonctionnement initial, il ne peut pas se produire, avec le temps, certaines majorations locales de contraintes qui ne seraient pas suffisamment compensées par une augmentation de la résistance de la matière aux mêmes points et qui réduiraient ainsi sa marge de sécurité du début.

Bien que les faits actuellement connus semblent de nature à écarter cette crainte, il paraît prudent de ne pas se borner aux calculs des efforts dans la phase initiale du fonctionnement d'un ouvrage, mais d'envisager également la phase qui correspond à sa stabilisation pratique.

Modes d'exécution.

Si les quantités de métal et de béton à mettre en œuvre sont enserrées dans des limites relativement étroites par la résistance même des matériaux dont

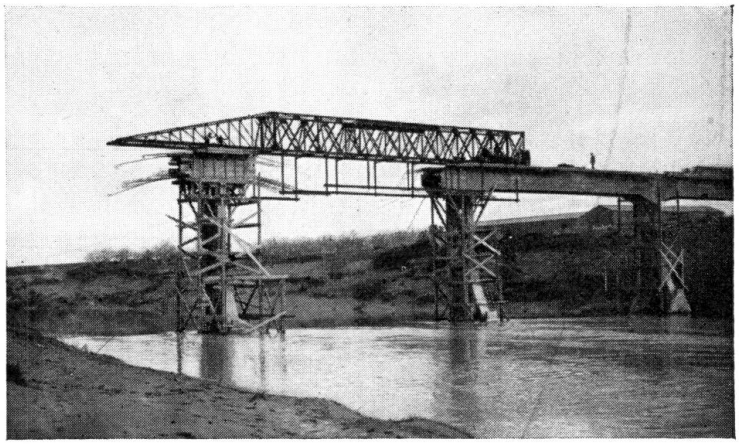

Fig. 1.
Pont sur le Sebou (Maroc). — Brücke über den Sebou (Marokko). — Bridge over the Sebou (Marocco).

on dispose, le choix du mode d'exécution peut influer par contre dans une mesure très importante sur le coût d'un ouvrage en béton armé. Aussi est-ce surtout de ce côté que s'est orientée logiquement l'initiative des constructeurs.

L'exécution sur cintres complets prenant appui dans le lit de la rivière ou le fond de la vallée a fréquemment cédé le pas, au cours de ces dernières années, à des dispositifs mieux appropriés à certains cas.

C'est ainsi, notamment, que sur le torrent des Usses, en Haute-Savoie, M. Caquot a conçu un cintre voûté en bois, à joints de béton, franchissant sans appui intermédiaire le ravin de 160 mètres de largeur.

Au pont de Plougastel, M. Freyssinet a exécuté les 3 voûtes de près de 200 mètres de portée à l'aide d'un cintre unique construit à terre et transporté par chalands.

Pour les ponts en poutres sur les fleuves Sebou et Ouergha, au Maroc, le

soussigné a fait exécuter les 6 et 7 travées de chaque ouvrage au moyen d'un cintre supérieur mobile unique, ne prenant appui que sur les palées et se déplaçant par lançage en porte à faux.

La travée centrale de 68 mètres du pont de Herval, au Brésil, a été exécutée sans cintre, par la méthode Cantilever.

Réduction de certains efforts parasites.

Dans les ponts comportant des éléments hyperstatiques, on s'est efforcé de réduire, par des dispositifs d'exécution appropriés, l'intensité des efforts parasites qu'engendrent notamment les tassements des fondations, les raccourcissements élastiques ou permanents et le retrait de durcissement du béton.

Certains constructeurs disposent à cet effet des articulations provisoires qui rendent l'ouvrage momentanément isostatique, et dont le calage n'est réalisé qu'après le décintrage.

D'autres constructeurs mettent certains éléments en traction ou en compression initiale en exerçant un effort déterminé dans des joints provisoires qui sont alors coulés sous cette sollicitation.

Pour les poutres en bow-string, l'allongement des tendeurs constitue un élément de fatigue pour les membrures supérieures, qui ajoute son action à celle du raccourcissement élastique et du retrait du béton.

On peut en atténuer l'effet par la mise en traction préalable des armatures des tendeurs, ce qui permet, en outre, de réduire le danger de fissuration de leur enrobage que l'on réalise après coup.

Ce procédé a été appliqué en particulier au pont d'Alsleben, construit par la maison Dyckerhoff et Widmann.

Pour les poutres continues, on peut disposer, sur les piles intermédiaires, des éléments élastiques dans le but de réduire les moments fléchissants sur appuis.

Dans les ouvrages réticulés, on peut parer à la fissuration des barres tendues en les exécutant à l'avance, les armatures étant soumises à la traction pendant la mise en œuvre et le durcissement du béton.

Ces divers procédés, cités parmi beaucoup d'autres, sont particulièrement intéressants pour des ouvrages de grande portée ou de types spéciaux. Pour les ouvrages courants, le coût des renforcements que nécessitent les efforts parasites est, en général, assez faible pour justifier l'abandon de modes d'exécution d'une réalisation parfois délicate.

Principales applications.

Les premières poutres en béton armé étaient à section té, double té ou rectangulaire pleine, à hauteur constante ou variable.

Plus tard, à mesure qu'augmentèrent les portées, les constructeurs cherchèrent à élégir les ouvrages, en adoptant des poutres évidées, réticulées ou à échelle, et des poutres en bow-string [1].

---

1. Bien que ces dernières constituent en fait des arcs sous-tendus, elles sont classées comme poutres, puisqu'elles n'exercent que des réactions verticales sur leurs appuis.

C'est à ces derniers types qu'appartiennent la plupart des ponts à poutres de grandes dimensions actuels.

Poutres réticulées.

a) Type et forme :

La plupart des ouvrages de moyenne importance comportent soit des poutres droites, soit des poutres à membrure supérieure parabolique ou semi-parabolique.

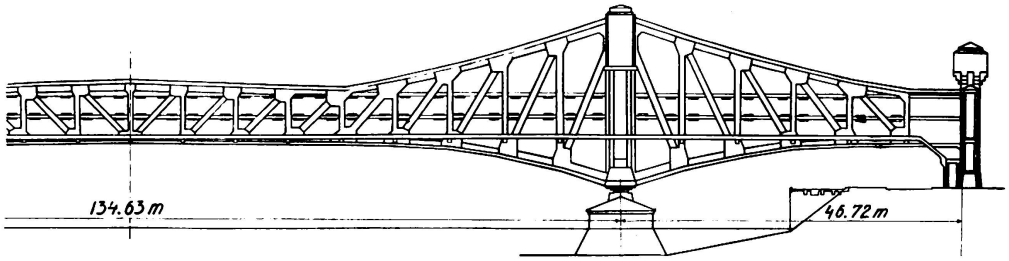

Fig. 2.
Passerelle sur la Seine à Ivry. — Fussgängersteg über die Seine in Ivry.
Bridge over the Seine in Ivry.

On rencontre quelques poutres du type Schwedler, dont le tracé des membrures est effectué de telle sorte que les diagonales ne subissent jamais d'efforts alternés.

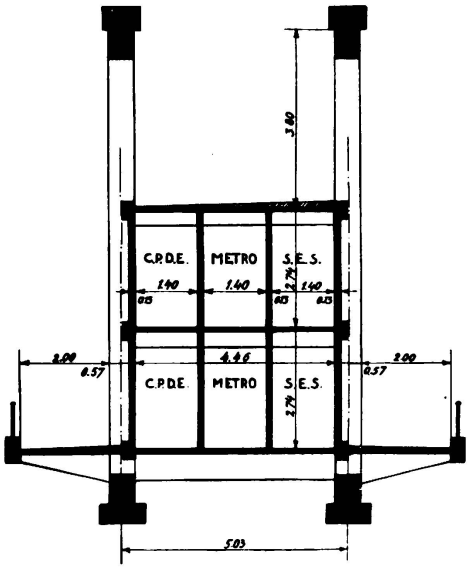

Fig. 3.
Coupe transversale. — Querschnitt.
Cross Section.

La passerelle pour câbles électriques et piétons qui franchit la Seine à Ivry et qui comporte une travée centrale de 134 m. 63 et deux travées de rive en encorbellement de 33 m. 93 et 48 m. 74 de portée, possède des membrures inférieures et supérieures incurvées.

La hauteur utile des poutres est, en principe, sensiblement proportionnelle aux moments fléchissants relatifs à la charge permanente de l'ouvrage.

Le pont qui sert au passage de la rue Lafayette, au-dessus des voies des Chemins de fer de l'Est, à Paris, et qui comporte deux travées solidaires d'environ 70 mètres de portée chacune, est supporté par deux poutres droites de 10 m. 40 de hauteur totale constante, espacées de 20 m. 40 d'axe en axe.

La forme arquée ne pouvait être adoptée dans ce cas particulier, pour des raisons d'aspect, le pont affectant en plan la forme d'un trapèze irrégulier.

Ces deux ouvrages constituent actuellement les records mondiaux de portée de leur catégorie respective.

b) Type de treillis :

La plupart des ouvrages comportent des treillis simples en N ou en V.

Le pont Lafayette, par contre, possède un treillis triple en V, dont le choix a été partiellement dicté par diverses sujétions d'exécution.

D'une manière générale, et lorsque les conditions particulières le permettent, l'adoption d'un treillis simple en V ou en N, sans barres surabondantes, cons-

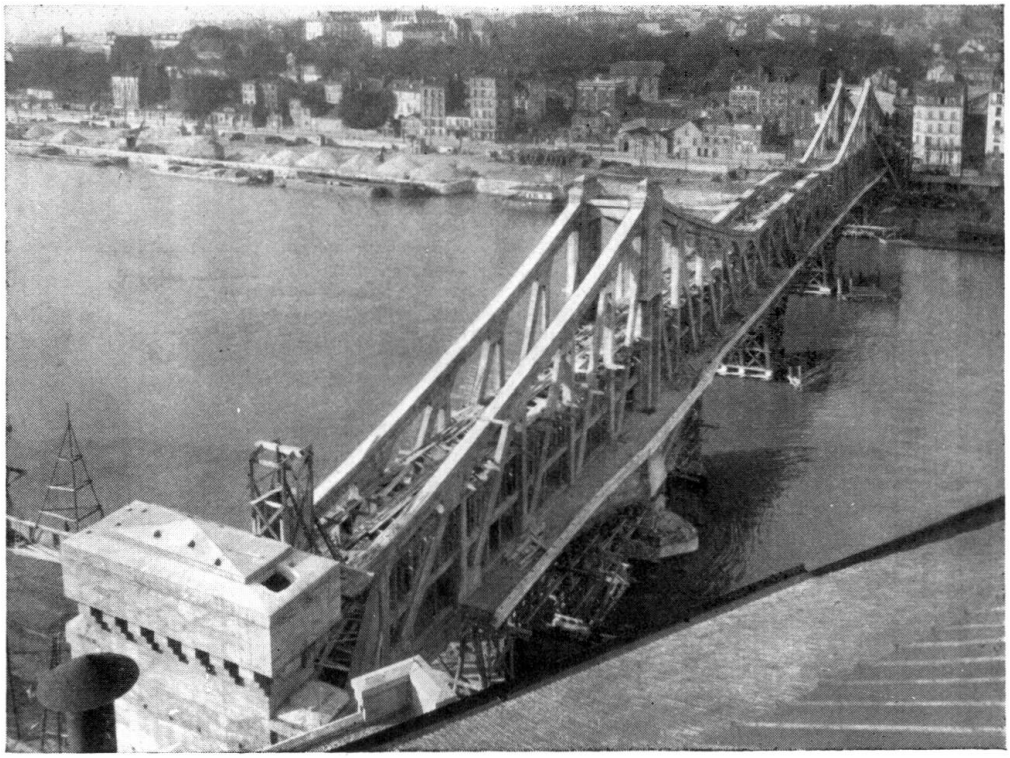

Fig. 4.

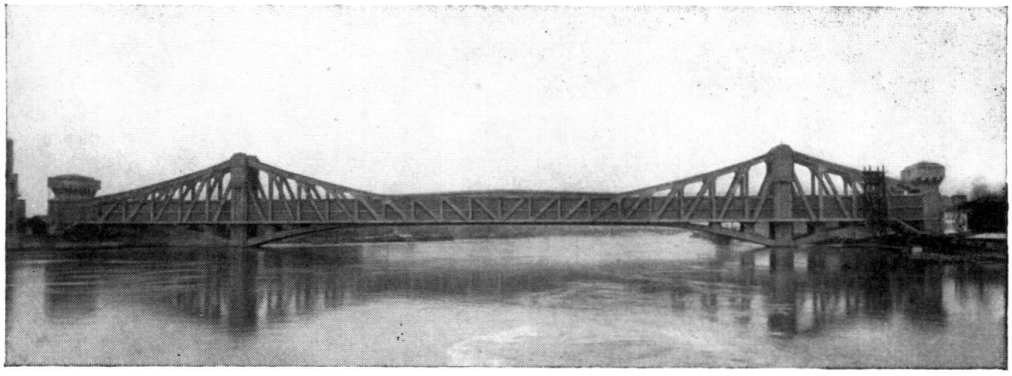

Fig. 5.
Passerelle sur la Seine à Ivry. — Fussgängersteg über die Seine in Ivry.
Bridge over the Seine in Ivry.

titue la solution la plus rationnelle au point de vue de la réduction des efforts parasites engendrés par la rigidité des attaches.

Le treillis en K, qui semble particulièrement intéressant à ce point de vue, n'a guère été adopté jusqu'ici que pour des dispositifs de contreventement, certains constructeurs redoutant vraisemblablement son aspect inaccoutumé.

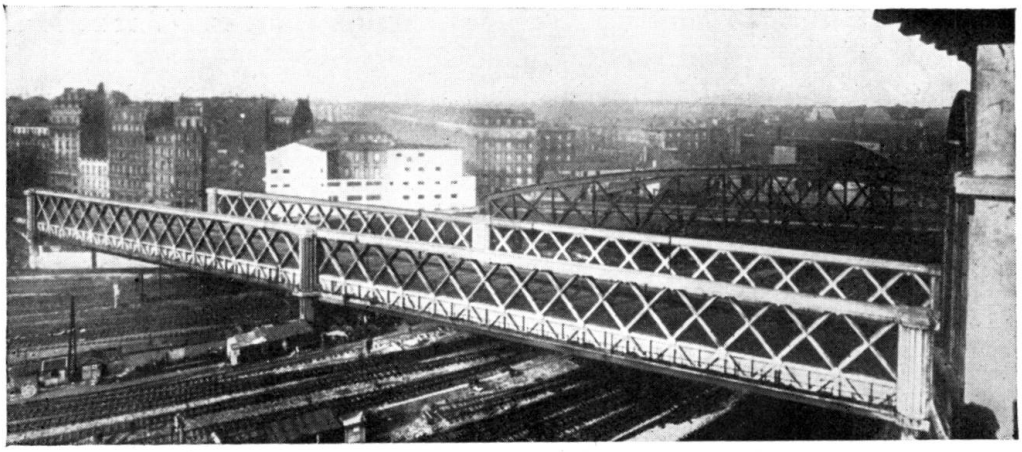

Fig. 6.
Pont Lafayette à Paris. — Lafayettebrücke in Paris. — Bridge « Lafayette » in Paris.

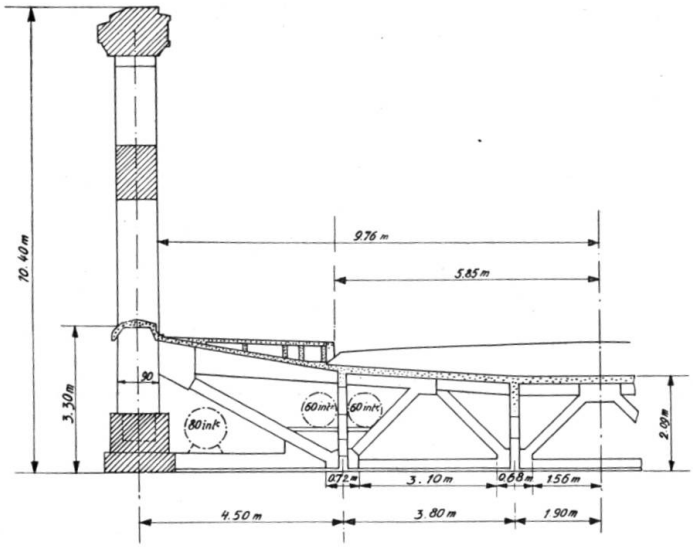

Fig. 7.

Coupe transversale.
Querschnitt.
Cross Section.

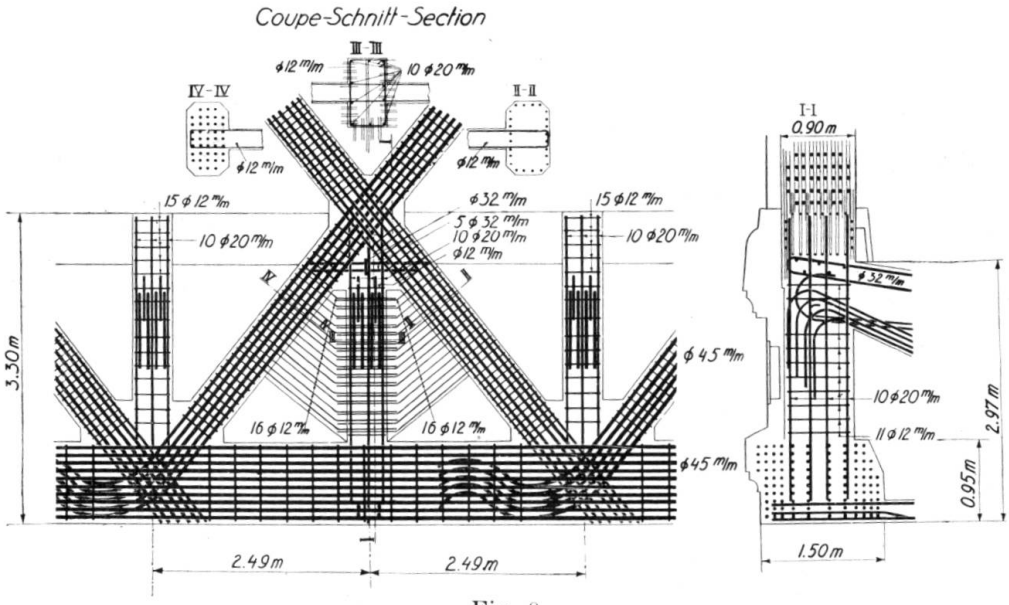

Fig. 8.
Armature des poutres principales. — Bewehrung der Hauptträger.
Reinforcement of the Main Girders.

L'adoption d'éléments d'épaisseur aussi réduite que possible est, par ailleurs, à préconiser pour assurer la souplesse qu'exige un ouvrage réticulé.

c) Assemblage des barres :

L'assemblage des barres de treillis comprimées avec les membrures ne présente pas, en général, de difficulté particulière.

Pour les barres de treillis tendues on se contente, dans les cas courants, d'encastrer profondément leurs barres d'armatures dans l'épaisseur des membrures, en les recourbant au besoin et en les terminant par un crochet en forme de crosse.

Au pont Lafayette, où l'épaisseur des membrures est relativement très faible, M. Caquot a donné aux armatures des barres de treillis tendues une forme à double courbure sinusoïdale, passant au-dessus et au-dessous des barres d'armatures des membrures, de manière à laisser entre les deux groupes de fers une masse de béton suffisante pour assurer un encastrement efficace.

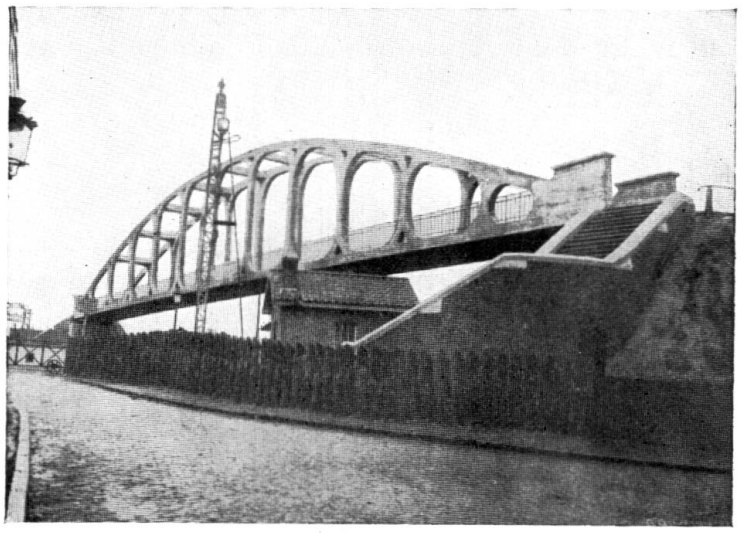

Fig. 9. — Passerelle de la Louvière (Belgique).
Fussgängerbrücke « de la Louvière » (Belgien). — Foot Bridge « de la Louvière » (Belgium).

Ce type d'assemblage peut être adopté sous une forme simplifiée pour des ouvrages courants.

Citons encore le type d'assemblage à semi-articulations à barres croisées de M. Mesnager.

Poutres à échelle.

Le Professeur Vierendeel a réalisé des ouvrages en poutre droite ou en bow-string dans lesquels les membrures ne sont réunies que par des montants verticaux à attaches rigides, sans diagonales.

Les divers éléments sont alors soumis non plus seulement à la traction ou à la compression simple mais, de plus, à des efforts de flexion.

Ces efforts, qui constituent des sollicitations primaires, peuvent être calculés avec une exactitude pratiquement suffisante, comme l'ont démontré les mesures effectuées sur des modèles et des ouvrages normaux.

Parmi les ouvrages exécutés d'après le système Virendeel, citons la Passerelle de la Louvière, qui comporte des poutres en bow-string de 60 mètres de portée mesurée d'axe en axe des appareils d'appui.

Poutres en bow-string.

Le type de pont en bow-string, qui comporte en principe un arc supérieur auquel est suspendu le tablier, et dont la poussée horizontale est équilibrée par un tendeur, compte de nombreuses applications sous des formes diverses.

Dans certains cas, l'arc est étudié en vue de supporter la totalité des moments fléchissants engendrés par les surcharges partielles de l'ouvrage, le tendeur étant considéré comme un élément sans raideur.

Dans d'autres cas, l'arc n'est considéré que comme une membrure de compression, la résistance à la flexion étant entièrement attribuée aux tendeurs solidaires du tablier.

En réalité, l'arc et le tendeur résistent toujours solidairement aux efforts de flexion, le partage de ces efforts entre eux étant fonction non des hypothèses faites, mais des caractéristiques de leurs déformations.

Pour supprimer les efforts parasites engendrés par l'allongement des tendeurs certains arcs sont munis d'une triple articulation, rendant l'ouvrage isostatique

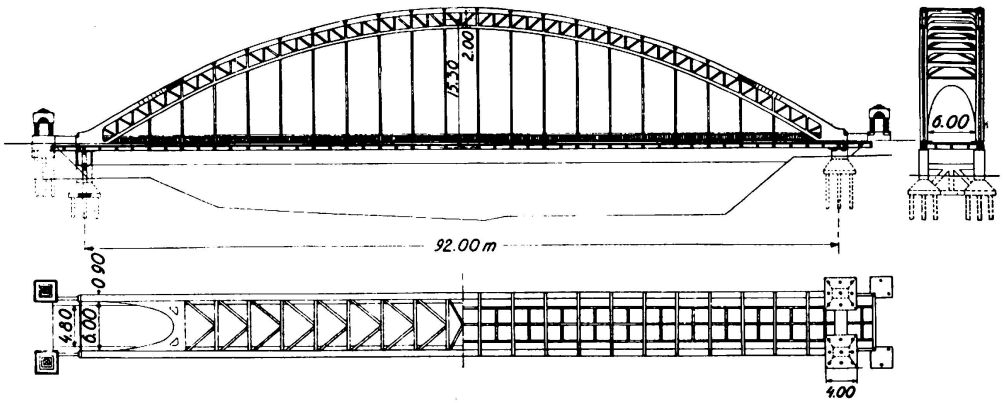

Fig. 10.
Pont Lucien-Saint. — « Lucien-Saint » Brücke. — Bridge « Lucien-Saint ».

D'autres sont munis seulement d'articulations de naissances. Ces articulations sont définitives ou calées après le décintrage.

L'*arc* est en général à section pleine, rectangulaire, té ou double té.

Le pont Lucien-Saint, en Tunisie, qui détient actuellement le record du monde de sa catégorie avec une portée libre de 90 mètres, comporte un arc réticulé à membrures parallèles. Ce dispositif a été choisi dans le double but d'élégir l'aspect de l'ouvrage et d'éviter des sections massives, l'arc étant constitué par du béton au ciment alumineux dont l'élévation de température au moment de la prise peut provoquer les efforts parasites internes élevés dans des éléments de forte épaisseur. Les efforts secondaires dus à la raideur des assemblages ont fait l'objet d'une étude théorique et expérimentale approfondie.

La section creuse ou tubulaire fait actuellement l'objet de diverses études, en vue notamment de déterminer l'importance des fatigues parasites que provoquent les différences de température et d'humidité dans l'épaisseur des parois dont les faces extérieures seules sont exposées à l'action directe du soleil et des intempéries.

Le type à échelle, avantagé par l'intensité relativement faible des efforts

Fig. 11.

Fig. 12.
Pont Lucien-Saint (Tunisie). — Lucien-Saint Brücke (Tunis). — Bridge « Lucien-Saint » (Tunis).

tranchants qui sollicitent les arcs, peut conduire également à des solutions intéressantes.

Les *tendeurs* sont en général constitués par des barres rondes noyées dans les longerons de rive du tablier et largement recourbées dans l'arc à leurs extrémités.

Ces barres sont tantôt d'une seule longueur (aciers en couronne de faible diamètre redressés sur place), tantôt formées de plusieurs tronçons.

Dans ce dernier cas les joints, qui sont toujours alternés, sont réalisés suivant divers procédés :

par croisement des abouts des barres, munies ou non de crochets ou de crosses,

par simple mise bout à bout des extrémités des barres, dont le nombre théoriquement nécessaire est augmenté de n unités, le nombre n étant celui maximum des joints qui peuvent coïncider dans une même section,

par manchons filetés, lanternes ou dispositifs similaires,

par soudure.

La plupart des grands ponts français sont exécutés d'après l'un ou l'autre des deux premiers procédés, qui font appel au béton lui-même pour assurer la continuité de la résistance des tendeurs.

Dans certains cas, les tendeurs ont été réalisés par des fers profilés assemblés par boulons ou rivets, noyés dans le tablier ou indépendants de celui-ci.

Le rapport du volume des armatures des tendeurs à celui du béton d'enrobage est variable. Voisin de 10 °/₀ au pont Lucien-Saint, il atteint et dépasse même légèrement 20 °/₀ dans certains cas, limite que l'on retrouve également dans les barres tendues des grands ponts réticulés.

Poutres à âme pleine.

L'adoption de poutre à âme pleine pour les grandes portées se justifie lorsque la hauteur disponible est réduite ou la main-d'œuvre peu spécialisée.

Citons à ce sujet le remarquable projet du Professeur Mörsch présenté pour la construction du « Dreirosenbrücke » à Bâle.

Ce projet comporte des poutres continues inférieures très surbaissées dont les trois travées mesurent respectivement 56 — 106 et 56 mètres d'axe en axe des appuis.

Le tablier mesure 18 m. 40 de largeur. Les 5 poutres principales, à hauteur et épaisseur variables, sont munies d'une semelle inférieure de compression dans la région des moments fléchissants négatifs.

Le pont à 3 travées de Herval, au Brésil, comporte une travée centrale de 68 mètres dont les poutres mesurent 1 m. 70 de hauteur au milieu de la portée.

Types divers.

En plus des types de poutres énumérés ci-dessus et auxquels appartiennent les records actuels de portée, il existe divers ponts de types spéciaux parmi lesquels on peut citer :

le pont suspendu en béton armé de Laon, qui comporte 2 travées principales de 35 mètres de portée et un viaduc d'accès en courbe de 120 mètres de longueur totale,

le pont Cantilever de Montrose sur le South-Esk en Écosse, qui comporte 3 travées mesurant respectivement 32 m. 90, 65 m. 80 et 32 m. 90. La travée

centrale est sectionnée par un élément indépendant de 13 m. 16 de longueur, reposant librement à ses extrémités, etc.

Contreventements.

Les contreventements sont, en général, basés sur le même principe que ceux des poutres métalliques. Toutefois, la nécessité de simplifier l'exécution conduit fréquemment à remplacer les poutres de contreventement réticulées par de robustes entretoises qui constituent, avec les membrures supérieures, des poutres à échelle dans le plan de celles-ci.

Appareils d'appui.

Les premiers ouvrages construits possédaient des appareils d'appui analogues à ceux des ponts métalliques. Ces appareils avaient l'inconvénient de constituer des organes nécessitant un entretien périodique dont le béton armé doit être normalement affranchi.

La plupart des ponts modernes ne comportent que des dispositifs entièrement en béton armé.

Les appareils de dilatation à galets en acier moulé et forgé sont remplacés, pour chaque appui, par un pendule unique en béton armé affectant la forme d'un grand rouleau segmenté.

Les articulations sont également entièrement réalisées en béton armé, soit par des plaquettes de faible longueur disposées entre les poutres et les appuis, soit par des surfaces cylindriques avec interposition éventuelle de feuilles isolantes destinées à réduire l'adhérence entre les surfaces en contact.

Dans les ponts cantilever, les appareils de dilatation de la travée indépendante sont parfois réalisés par des barres de suspension, enrobées ou non.

Culées.

Dans de nombreux ouvrages, et lorsque les conditions locales le permettent, on renonce à la construction de culées indépendantes du tablier, en prolongeant ce dernier au delà des appuis de rive jusqu'à la rencontre du remblai.

Architecture.

Après avoir subi, au début, l'influence des ponts en pierre, les constructeurs de béton armé se sont efforcés, par la suite, de créer une architecture propre au nouveau matériau, en s'attachant bien plus à la recherche de l'élégance des grandes lignes qu'à celle de motifs décoratifs, et en accusant franchement les dispositifs constructifs, tels que les articulations et les joints de dilatation.

Avenir des grands ponts en béton armé.

Les progrès considérables réalisés dans la construction des grands ponts en béton armé depuis une trentaine d'années semblent devoir encore accentuer leur essor dans l'avenir.

Le poids propre encore trop élevé des ouvrages diminuera à mesure que s'améliorera la qualité du béton. Aux progrès déjà réalisés dans la constitution de l'agrégat et dans la mise en œuvre par les procédés vibratoires viendront notam-

ment s'ajouter les améliorations de fabrication du ciment en vue d'une prise plus complète.

L'emploi de nuances mi-dures et dures pour les armatures concourra au même résultat.

Toutefois, l'un des principaux facteurs du progrès nous paraît devoir résider dans le mode d'exécution proprement dit.

Les ciments à durcissement rapide permettent, en effet, de réaliser de véritables soudures d'éléments moulés à l'avance et autorisent de ce fait tous les procédés de mise en œuvre en porte à faux et autres, utilisés pour le montage des constructions métalliques.

L'adoption de cintres légers ne supportant qu'une partie du poids d'un arc, ou d'un cintre mobile unique exécuté à terre et déplacé par flottaison ou lançage pour l'exécution consécutive des diverses travées, la construction de ces travées elles-mêmes à terre avant leur transport à pied d'œuvre, la mise en traction ou compression préalable de divers éléments, en vue de réduire les fatigues parasites ou d'éviter des fissures, etc., constituent notamment des procédés qui sont encore susceptibles de nombreux perfectionnements.

Compte tenu des sujétions d'entretien et de durée des ponts métalliques, c'est surtout sur le terrain du prix de revient que se déroulera la lutte entre le métal et le béton armé, et ce n'est que par des avantages économiques que ce dernier pourra conquérir sa place dans les très grands ouvrages.

Ceux-ci sont actuellement en trop petit nombre pour qu'il soit possible d'établir une comparaison indiscutable entre les deux matériaux. De plus, on ne pourrait le faire qu'en connaissant les prix de revient exacts de ces grands ouvrages, les prix d'adjudication ou de concours étant parfois entachés d'erreurs d'appréciation faciles à commettre dans des cas qui ne comportent pas de précédents suffisants.

Quoi qu'il en soit, les portées limites d'environ 135 mètres pour les poutres et 200 mètres pour les arcs, nous semblent susceptibles d'être déjà nettement dépassées actuellement, tant au point de vue économique qu'au point de vue technique.

Résumé.

Les plus grandes portées réalisées actuellement pour des ponts en poutres, c'est-à-dire n'exerçant que des réactions verticales sur leurs appuis, sont voisines de 135 mètres, alors que pour les ponts métalliques, on a dépassé 500 m. pour les poutres proprement dites et 1.000 m. pour les ponts suspendus.

Des progrès considérables ont été réalisés au cours de ces dernières années.

En ce qui concerne le béton, il faut citer l'amélioration du choix de l'agrégat, de la qualité du ciment et de la mise en place par les méthodes de vibration et de pervibration. On obtient, de la sorte, des bétons de moins en moins poreux, ce qui est un avantage tant pour leur résistance que pour la réduction des phénomènes de retrait.

En ce qui concerne les armatures, on utilise de plus en plus les nuances d'aciers mi-dures et même dures, et même des armatures de compression en fonte.

De même que le métal, le béton armé se prête à certains phénomènes d'adaptation sous des sollicitations de longue durée, phénomènes qui réduisent notamment l'action du retrait et des efforts parasites ou secondaires.

Il convient toutefois de faire une distinction nette entre ces phénomènes de longue durée et ceux qui se produisent sous forme d'avaries dès la mise en service d'une construction insuffisamment souple.

Le béton armé n'est pas une matière inerte, mais un matériau vivant. Il subit avec le temps des variations dans sa résistance, son élasticité, son volume, etc.

Ces phénomènes s'atténuent avec le temps, sans paraître toutefois disparaître d'une manière absolue.

Des efforts ont été accomplis pour réduire au minimum les efforts parasites. On peut citer notamment les articulations provisoires, la mise en compression ou en traction préalable, l'adoption d'appareils d'appui élastiques, etc.

La plupart des grandes poutres qui ont été exécutées sont à système réticulé, notamment la passerelle d'Ivry, le pont Lafayette à Paris et le pont Lucien-Saint en Tunisie, qui constituent des records mondiaux actuels.

Les assemblages ou nœuds des poutres à treillis ont été, en général, réalisés soit par de simples encastrements avec crochets, soit par des ancrages à forme sinusoïdale.

La continuité des barres est réalisée en France en utilisant la résistance du béton tandis que, dans d'autres pays, on adopte de préférence des manchons filetés, soudures, etc., assurant la continuité par le seul métal.

Des ponts importants ont été édifiés d'après le système à échelle type Vierendeel.

Pour les poutres à âme pleine, il convient de citer le remarquable projet du Professeur Mörsch, comportant une travée centrale de 106 m. à poutres inférieures, pour le pont de Dreirosenbrücke à Bâle.

Les contreventements sont conformes à ceux des ponts métalliques ou composés de grosses entretoises constituant, avec les membrures, une poutre à échelle dans le plan de ces dernières.

Dans la plupart des ponts modernes, on a renoncé aux appareils d'appui en acier moulé ou forgé que l'on remplace par des appareils entièrement en béton armé. On adopte de préférence des pendules ou rouleaux segmentés pour les appareils de dilatation, et des articulations à surfaces cylindriques pour les rotules.

Au point de vue de l'architecture, on renonce de plus en plus à copier les ponts métalliques ou en pierre, en donnant aux ouvrages un aspect simple, en accusant nettement les dispositifs constructifs.

Le calcul des grands ponts en poutres semble devoir tenir compte des modifications volumétriques et élastiques que subit le béton en fonction du temps et qui modifient son mode de fonctionnement dans les ouvrages hyperstatiques.

L'amélioration de la qualité des matériaux, de la main-d'œuvre et surtout du mode d'exécution des ouvrages pour lesquels les ciments à durcissement

rapide autorisent dès maintenant tous les modes de mise en œuvre par lançage en porte à faux, cintre mobile, etc., utilisés par les constructeurs métalliques, permettent de prévoir un bel avenir pour les ponts en poutres proprement dits.

Zusammenfassung.

Die grössten bisher für Eisenbeton-Balkenbrücken erzielten Spannweiten betragen 135 m, während man für stählerne Balkenbrücken bereits die 500 m Grenze überschritten hat.

Im Laufe der letzten Jahre wurden wesentliche Fortschritte erzielt hinsichtlich der Kornzusammensetzung des Betons, der Zementgüte und durch die Einführung des Rüttelverfahrens beim Betonieren. Man ist nunmehr imstande, dichten Beton von hoher Festigkeit und geringem Schwindmass zu erzeugen. Für die Bewehrung verwendet man in erhöhtem Masse hochwertige Stähle und gusseiserne Druckglieder.

Der armierte Beton ist keine tote, sich stets gleich bleibende Materie; seine Festigkeit, Elastizität und Volumen ändern sich im Laufe der Zeit. Unter dem Einfluss lang andauernder Beanspruchung zeigt der Beton eine dem Eisen ähnliche Anpassungsfähigkeit, unter deren Einfluss sich die Schwind- und Nebenspannungen vermindern. Es ist jedoch scharf zu unterscheiden zwischen dieser allmählich sich auswirkenden Anpassungsfähigkeit und den sofort bei Inbetriebnahme zu deutlichen Schäden führenden Ueberbeanspruchungen in zu steif ausgebildeten Bauwerken.

Zur Verminderung der Nebenspannungen wurden provisorische Gelenke, elastische Auflagerkonstruktionen und die künstliche Erzeugung von zusätzlichen Zug- und Druckspannungen eingeführt.

Die grössten Eisenbetonbalkenbrücken, z. B. der Flussübergang bei Ivry, die Brücken Lafayette in Paris und Lucien-Saint in Tunis sind als Fachwerkbrücken ausgebildet. Die Armierung der Füllstäbe endet in den Knotenpunkten mit einfachen Hacken oder mit einer sinusförmigen Wellenlinie. Die Kontinuität der Rundeisen wird in Frankreich durch die Ausnützung der Betonfestigkeit erreicht, während in anderen Ländern Spannschlösser und Verschweissung der Stabenden bevorzugt werden.

Sowohl den Rahmenträgern System Vierendeel als auch den vollwandigen Balken ist Beachtung zu schenken. Zu den letzteren gehört das hervorragende Projekt von Prof. Mörsch für die Dreirosenbrücke in Basel, mit einer 106 m weit gespannten Mittelöffnung.

Die Windverbände werden entweder wie bei den eisernen Brücken als Fachwerke, oder dann unter Ausnützung schwerer Querträger als Rahmenträger ausgebildet. Die bisher üblichen stählernen Lager werden häufig durch Eisenbeton-Linienkipplager oder Pendelstützen ersetzt.

In architektonischer Hinsicht verzichtet man mehr und mehr auf die Nachahmung der eisernen oder steinernen Brücken zugunsten der Betonung der Zweckform.

Bei der Berechnung der weitgespannten Eisenbetonbalkenbrücken muss man den Volumen- und Elastizitätsänderungen, die der Beton im Laufe der

Zeit erfährt, und die in den statisch unbestimmten Bauwerken eine Verschiebung des Kräftespiels zur Folge haben, Rechnung tragen.

Die Steigerung der Materialqualität, der Zuverlässigkeit der Arbeitskräfte und vor allem die Einführung neuer Bauvorgänge, wie sie durch die Zemente mit rascher Anfangserhärtung ermöglicht werden (z. B. Freivorbau, Ersparnis an Gerüstkosten durch mehrfache Verwendung ein und desselben Lehrgerüstes), scheinen den weit gespannten Eisenbetonbalkenbrücken grosse neue Anwendungsgebiete zu erschliessen.

Summary.

The largest spans executed up to the present for reinforced concrete girder bridges are 135 m, whilst for steel girder bridges the 500 m limit has already been passed.

During the last few years, considerable progress has been made with regard to the grain composition of the concrete, the quality of cement, and through the introduction of the shaking process when laying the concrete. It is now possible to produce compact concrete of high strength and with very slight skrinkage. For the reinforcement, high-grade steel and cast-iron compression members are being more used.

Reinforced concrete is not « dead » matter and does not always remain the same ; its strength, elasticity and volume change in the course of time. Under the influence of long continued stressing, concrete shows just like iron a certain facility of adapting itself, so that the shrinkage and subsidiary stresses are diminished. A sharp distinction must however be made between this possibility of gradually adapting itself and the excessive stressing which may lead at once to considerable damage when put into service, if the structure is too rigid.

In order to prevent subsidiary stresses, temporary joints, elastic bearing constructions and the artificial causing of tensile and compression stresses have been introduced.

The largest reinforced concrete girder bridges, for example the bridge over the river at Ivry, the Lafayette bridge in Paris and the Lucien-Saint bridge in Tunis, are constructed as truss bridges. The reinforcement of the bracing members ends at the joint in simple hooks or with a sinuous wave line. Continuity of the reinforcement is obtained in France by making use of the strength of the concrete, whilst in other countries turnbuckles and welding the ends of the rods is prefered.

Both the frame-girder system Vierendeel and plate girders are worthy of notice. Of the latter type is the prominent design by Prof. Mörsch for the Dreirosen bridge in Basle, with a central opening of 106 m span.

The wind bracing is designed either as trusses as in steel bridges, or as frame work, using heavy cross girders. The steel bearers hitherto usual are often replaced by reinforced concrete bascule or pendulum bearings.

As regards architectural appearance, the attempt to imitate steel or stone

bridges is being more and more abandoned in favour of the form most suitable for concrete.

In calculating reinforced concrete girder bridges of large span, account must be taken of the changes in volume and elasticity which occur in the course of time, causing an alteration in the play of forces in the statically indeterminate structures.

The improvement in the quality of material and in the reliability which may be placed in the working forces, above all the introduction of new methods of building made possible by quick-setting cements (for example, building out without support, saving in the cost of scaffolding by using one and the same centering several times), appear to open up new fields of application for reinforced concrete bridges of large spans.