Ponts en béton précontraint

Autor(en): **Freyssinet, E.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **3 (1948)**

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-4102

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

IId1

Ponts en béton précontraint

Brücken aus vorgespanntem Beton

Prestressed concrete bridges

E. FREYSSINET
Paris

Le sujet est si vaste que je ne pourrai évidemment que l'effleurer.

Les supériorités du béton précontraint sur le béton armé, en matière de ponts, résultent de multiples facteurs, qui, eux-mêmes, dépendent du mode d'exécution envisagé.

1° Les ponts en béton précontraint peuvent être coulés en place sur des charpentes provisoires, dans des coffrages, comme des ponts en béton armé ordinaire;

2° Ils peuvent être constitués par des poutres ou fermes associées après coup, grâce à des précontraintes transversales aux ouvrages, ces poutres pouvant elles-mêmes être précontraintes par des armatures tendues sur moule avant coulage, ou tendues sur le béton après son durcissement;

3° Les poutres elles-mêmes peuvent être constituées par des éléments préfabriqués assemblés par précontrainte.

Ces divers systèmes sont tous employés; chacun comportant des avantages particuliers. Tous sans exception bénéficient de ces deux faits :

1° La limite de résistance d'une dalle précontrainte est théoriquement égale au produit de la section de la dalle par la résistance de son béton, et par la distance de l'armature de précontrainte à son centre de gravité, soit $\frac{R\,b\,a^2}{2}$. La résistance théorique d'une dalle en matière homogène $\frac{R\,b\,a^2}{6}$ est trois fois plus faible, quoique déjà bien supérieure à celle d'une dalle armée. Si, au lieu de dalles pleines, il s'agit de sections évidées, ces avantages diminuent mais demeurent importants.

2° Le second avantage théorique du béton précontraint est que vis-à-vis des poids propres permanents, les sections tendues des poutres peuvent être limitées à leurs armatures, dont le poids est très faible. D'où des possibilités d'allégement considérables par rapport à tous les autres systèmes de construction, métal ou béton, notamment pour les poutres de grande portée.

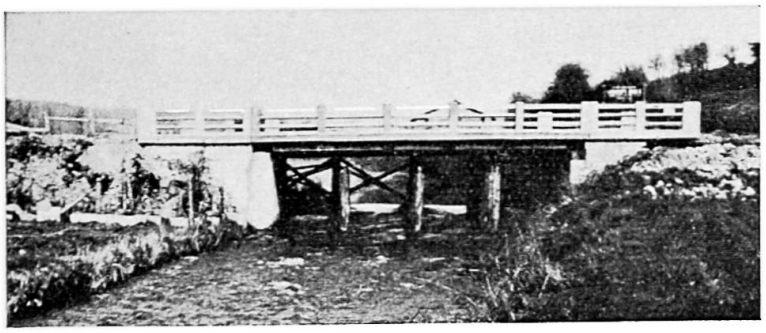


Fig. 1. Pont d'Elbeuf-sur-Andelle.

Ces avantages, dont l'origine est purement théorique, peuvent être augmentés par d'autres avantages résultant des conditions pratiques d'exécution du béton.

Le fait que les résistances d'un ouvrage précontraint sont exactement proportionnelles aux résistances unitaires du béton qui le constitue (ce qui n'est pas vrai pour le béton armé, dans lequel l'augmentation de module élastique du béton détermine une aggravation des contraintes) incite les techniciens à faire appel à des bétons de haute qualité, et la simplicité de formes et d'armatures des ouvrages en béton précontraint en facilite l'obtention.

En fait, des résistances de 500-550 kg à moins de 90 jours sont couramment obtenues sur les chantiers de ponts en précontraint coulés en place, ce qui autorise l'utilisation de contraintes de l'ordre de 140-160 kg/cm².

Mais dans le cas où l'on emploie des éléments préfabriqués en usine, en béton soumis dans l'ensemble de sa masse à des vibrations et compressions intenses, ces avantages deviennent beaucoup plus nets : la résistance du béton pouvant être relevée considérablement, jusqu'au voisinage de celle des bons agrégats.

En sorte que le moment maximum que puisse supporter une dalle précontrainte peut théoriquement atteindre quelque 20 fois le maximum de celui qui peut être supporté par une dalle armée de *même poids*.

Ceci ne veut pas dire qu'on a intérêt à utiliser ces possibilités extrêmes, ce qui impliquerait une exagération de la dépense de métal, pas toujours justifiée. Mais ces indications suffisent à faire pressentir les caractères spéciaux des ponts précontraints; les épaisseurs y sont moindres, les silhouettes plus plates, les formes plus simples que dans les ouvrages établis selon d'autres techniques.

Un exposé quelque peu détaillé des techniques actuelles et des possibilités envisagées pour les ponts en béton précontraint exigerait un gros volume et sortirait complètement des limites de la présente note; je me bornerai donc à des indications sommaires dont le but essentiel est de faire connaître l'existence et les possibilités principales des techniques qui se développent sur la base de l'idée de précontrainte.

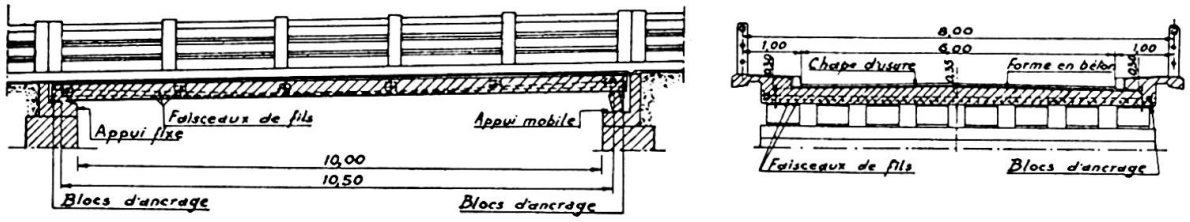


Fig. 2. Plan et coupe du pont d'Elbeuf-sur-Andelle.

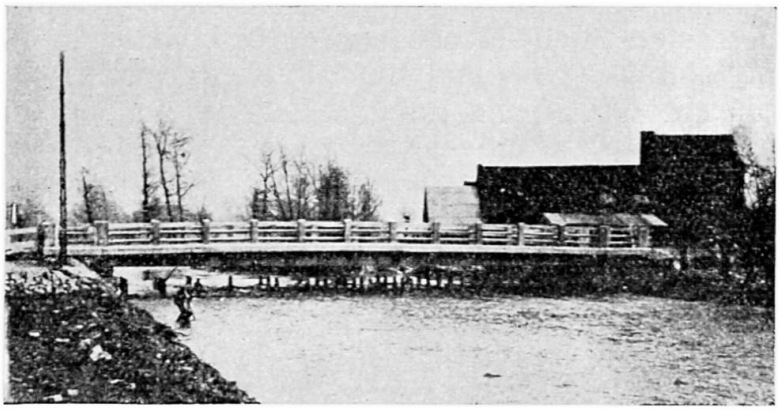


Fig. 3. Pont de Longroy.

Ponts coulés sur place

A. Ponts - Dalles

L'exécution de ces ouvrages est d'une très grande simplicité. Plusieurs sont déjà en service; d'autres sont en cours d'exécution; beaucoup sont en étude et près d'être réalisés.

Les deux premiers ponts-dalles ont été exécutés, l'un sur l'Andelle à Elbeuf-sur-Andelle, l'autre sur la Bresle à Longroy en 1942-1943.

Le pont d'Elbeuf-sur-Andelle, d'une portée de $10^{m}50$ entre appuis, donne passage à une chaussée de 6 mètres de largeur et deux trottoirs de 1 mètre; celui de Longroy, d'une portée de 20 mètres entre appuis, donne passage à une chaussée de 3 mètres et à deux trottoirs de $1^{m}25$ de largeur (photos 1 à 4).

La dalle de Longroy soulevée par l'explosion d'une culée minée est retombée sur ses appuis sans dommage et a aussitôt livré passage à des tanks du modèle le plus lourd, pour lesquels elle n'avait certainement pas été prévue.

Quand il n'existe pas de difficultés d'établissement des coffrages, ce type d'ouvrages permet de réaliser facilement avec des épaisseurs de l'ordre du 1/30^{e} des portées (en dalle sur appuis simples), des travées de l'ordre de 20 à 25 mètres, et même 30 mètres en travées encastrées.

L'exécution en est très facile. Sur le coffrage, on dispose les armatures qui reçoivent la forme de câbles à profil droit ou parabolique, formés de fils d'acier dur, parallèles.

Dans une des techniques que nous avons développées, ces câbles sont isolés du béton, pour éviter l'adhérence, soit par des tubes en acier mince, soit par un simple bitumage complété par un guipage en papier lui-même enduit de bitume.

Les fils de chaque câble sont groupés autour d'un ressort hélicoïdal à grand pas en fil d'acier dur, qui réserve un vide central destiné à être

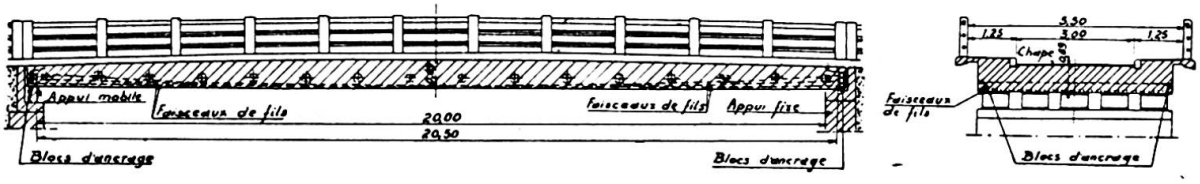


Fig. 4. Plan et coupe du pont de Longroy.

rempli par une injection de ciment sous pression, après la mise en tension des aciers. Celle-ci est faite après coulage et durcissement du béton, en prenant appui sur le béton à l'aide de vérins spéciaux et d'ancrages à cône maintes fois décrits.

Ces dispositions des câbles et ancrages simples et économiques assurent une excellente protection des aciers. On peut naturellement en employer d'autres. Dans certains cas, les fils ont été disposés dans des alvéoles rectangulaires par nappes parallèles dans lesquels les fils sont séparés les uns des autres par des intervalles ultérieurement remplis de mortier.

Le mode de mise en tension est également susceptible de variantes. En général, en plus des câbles longitudinaux pour assurer la répartition transversale des efforts, on doit prévoir dans les dalles quelques câbles de précontrainte transversaux.

Ce type de pont, extrêmement robuste, convient particulièrement bien pour des ouvrages sous voie ferrée; il demeure en ce cas économique pour des portées qui peuvent dépasser 30 mètres; en raison des épaisseurs plus grandes qui sont alors justifiées.

En Belgique, M. le Professeur Magnel a exécuté, sous licence de mes brevets, deux tabliers sous voie normale de portée 20 mètres qu'il a décrits dans diverses publications.

B. Ponts à poutres coulées en place

Il est évident qu'un système analogue à celui qui vient d'être décrit peut être appliqué pour l'exécution d'ensembles de poutres de formes diverses. La seule différence est que les câbles plus nombreux devront en général être groupés dans la partie centrale des semelles basses. D'autre part, au lieu de les conduire tous de bout en bout de l'ouvrage, on peut les relever comme des armatures de béton armé et les ancrer en divers points de la semelle supérieure. Du même coup, on réalise des armatures de poids minima, et on crée des compressions à composantes verticales antagonistes des efforts tranchants. Il faut seulement prendre garde de ne pas plier les câbles selon des angles trop petits et des courbes de trop faible rayon. On ne peut donner à ce sujet de règles absolues; rayons et angles dépendent des précautions prises pour assurer le glissement facile des câbles dans les courbes.

Ponts à poutres préfabriquées assemblées après coup

A. Poutres dont les armatures ont été tendues sur un moule résistant avant coulage du béton

La première poutre ainsi exécutée a été décrite bien des fois et notamment dans mon ouvrage *Une Révolution dans les Techniques du Béton.*

C'était une maquette au 1/3 d'une poutre de 60 mètres, destinée à l'exécution d'une grande halle à Francfort. Elle a été réalisée une première fois à Francfort, une seconde fois à Stuttgart, d'après des dessins établis par moi-même, par l'entreprise Wayss & Freitag, et ces deux réalisations ont été soumises par les ingénieurs allemands à une foule d'essais et de contrôles expérimentaux qui ont donné lieu à plusieurs publications en langue allemande.

Le premier moule réel a été construit en France; il a servi à exécuter les éléments des vannes de 19 mètres de portée du barrage de prise d'eau

des conduites forcées de l'Oued Fodda, et un tablier de pont appuyé sur les piles de ce même ouvrage. Après tension des aciers sur sa base, ce moule permettait de réaliser la vibration et la compression du béton de la semelle inférieure dans laquelle on scellait des armatures secondaires verticales; on tendait celles-ci avant le coulage du reste du béton; lui-même était vibré, comprimé et chauffé pour hâter son durcissement.

Ces moules reproduits en Allemagne avant 1939 y ont reçu de nombreuses applications, jusqu'à des portées de l'ordre de 50 mètres.

Ce système a un défaut : l'importance des moules, qui devient prohibitive pour les grandes poutres très fortement chargées. Il a perdu beaucoup de son intérêt du fait de la mise au point des ancrages par cône survenue en 1939.

Mes concessionnaires, auxquels sont venus s'ajouter pendant la guerre des contrefacteurs aux ordres de la Wehrmacht, ont exécuté de divers côtés des poutres à armatures parallèles tendues avant coulage sur toute leur longueur, souvent même sur la longueur de plusieurs poutres bout à bout, sans armatures secondaires ou avec armatures secondaires non tendues. Ce système, qui serait peu économique pour de grandes poutres, a été largement utilisé pour de petits ouvrages et des ponts provisoires.

L'utilité théorique de la tension des armatures secondaires est plus grande encore que celle des armatures principales; mais dans les petites poutres, elle est fort difficile à réaliser. On obtient des constructions donnant une sécurité suffisante en utilisant pour armatures transversales des aciers doux travaillant avec de faibles taux de contraintes; mais cela conduit à des poids d'acier importants. La suppression des armatures secondaires est évidemment peu recommandable dès que les portées et les efforts sont assez grands pour que le béton travaille notablement en traction; il est à remarquer toutefois que la compression longitudinale réduit beaucoup les composantes de traction.

Les poutres précontraintes préfabriquées peuvent être associées de beaucoup de manières :

1° En les accolant avec interposition de béton ou mortier entre leurs parties saillantes, leur réunion étant assurée par une précontrainte transversale à l'aide de câbles traversant ou les membrures ou des organes spéciaux. C'est la solution la plus rationnelle que je conseille toujours;

2° En les surmontant d'un tablier qui doit être bien relié aux semelles supérieures. C'est une solution médiocre; et je n'en parle que parce que mes concessionnaires allemands en ont fait un grand emploi;

3° En les enrobant dans des masses de béton, dont elles constituent pour ainsi dire l'armature. Cette solution peut être satisfaisante, si on prend les précautions nécessaires pour assurer une bonne liaison des éléments ainsi associés.

Ces divers principes d'exécution peuvent donner lieu à des modalités en nombre infini; et telle, qui ne vaut rien dans beaucoup de cas, peut se trouver parfaitement adaptée à certains problèmes particuliers. Il ne faut jamais perdre de vue qu'en construction, les principes ne valent qu'en fonction du soin apporté aux réalisations.

B. Ponts à poutres coulées sur berge ou sur passerelle de service avant tension des armatures et mises en place par un transporteur

Les conditions d'exécution des poutres de ces ponts ne diffèrent pratiquement pas de celles des ouvrages coulés sur place. Ce procédé n'a d'autre

intérêt que de faire réaliser des économies de cintre, de sujétions et de risques.

Pratiquement, on a atteint par ce procédé des portées assez importantes (54 mètres) et qui sont loin de constituer un maximum. Des circonstances favorables se présentant, des portées de 80 mètres et même plus pourraient être réalisées. Ce procédé permet naturellement les mêmes modalités d'association des poutres entre elles, que les précédents.

Ponts formés de poutres constituées par des éléments préfabriqués

Dans la plupart des ouvrages dont j'ai parlé jusqu'ici, les conditions d'exécution du béton rappellent d'assez près celles du ciment armé. Sans doute on y utilise des qualités de béton nettement supérieures aux bétons moyens du béton armé, mais l'amélioration obtenue à cet égard est limitée.

La division des poutres en éléments préfabriqués relève beaucoup cette limite : pour du béton fabriqué en usine les moyens modernes de serrage permettent d'obtenir des résistances que le perfectionnement des techniques rapproche de plus en plus de la résistance propre des agrégats en masse. En outre, le contrôle de la qualité des pièces peut toujours précéder leur utilisation, comme pour le métal d'une charpente.

Au pont de Luzancy, nos résistances dépassaient déjà 600 kg/cm²; ce chiffre est bien loin d'être une limite. Nous avons, dans des fabrications de tuyaux, atteint régulièrement 1 200 kg/cm²; il n'y a pas de raison que ce chiffre ne puisse être atteint et même dépassé, pour des éléments de ponts.

Or un béton à 1 250 kg/cm² de densité 2 500 remplace à poids égal un acier de résistance $\frac{1\,250 \times 7\,800}{2\,500} = 3\,900$ kg/cm². Encore faudrait-il qu'il s'agisse d'un acier soudé et à formes particulièrement simples. La charpente ordinaire implique rivets, trous de rivets, couvre-joints et une masse de goussets et autres organes inutiles à la résistance; alourdissements que le béton précontraint ignore. En sorte que, le poids d'acier correspondant à un mètre cube de métal réellement utile dépasse souvent 11 000 kg. De plus, j'ai déjà indiqué que, dans les organes tendus des ponts précontraints, les sections relatives aux efforts permanents se réduisent à leurs armatures; enfin, dans la plupart des cas, il est possible de considérer les bétons des hourdis sous chaussées comme un élément essentiel des sections travaillantes.

On peut admettre le même coefficient de sécurité par rapport à la rupture, pour l'acier ou le béton exécuté en usine. Il en résulte que, si l'on compare les poids d'un ouvrage en acier à ceux d'un ouvrage en béton préfabriqué, celui-ci aura presque toujours l'avantage, dès que les résistances du béton sont de l'ordre de 800 kg/cm²; chiffre qui, dans l'avenir, sera très souvent et très largement dépassé.

On doit donc s'attendre à voir des ouvrages construits avec des éléments de béton préfabriqués et précontraints, se substituer de plus en plus aux ouvrages en charpente métallique, même pour des portées supérieures aux plus grandes que l'on ait atteintes jusqu'ici; les difficultés de montage paraissent devoir être plutôt moindres pour le béton précontraint que pour l'acier, elles se réduisent à l'exécution de joints en mortier et à la mise en tension de certains câbles.

L'outil essentiel des poutres par éléments préfabriqués c'est le câble

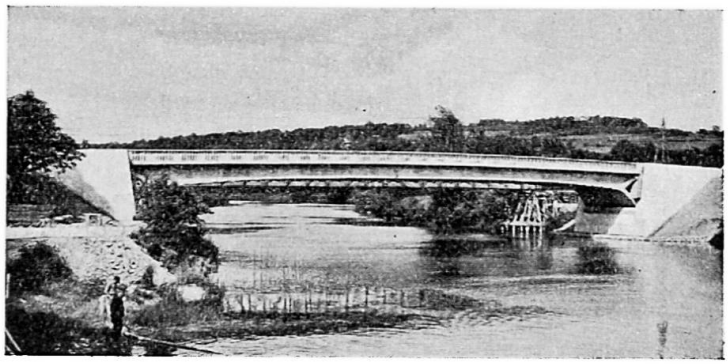


Fig. 5. Pont de Luzancy.

traversant les éléments successifs de béton moulé, en empruntant des évidements de formes et dispositions infiniment variables : câbles ancrés aux deux extrémités grâce à des ancrages à cônes ou équivalents noyés dans le béton dans la première et la dernière des pièces qu'ils relient. Ce type de poutres a donc pris naissance avec les ancrages à cônes eux-mêmes.

Le premier brevet relatif à ces ancrages date de 1939; leurs premières réalisations pratiques de 1940; mes premières propositions pour des ouvrages construits par blocs préfabriqués sont de la même année.

Les Services français des Ponts et Chaussées comprirent immédiatement l'intérêt de cette technique, et décidèrent l'exécution du pont de Luzancy qui, commencée sous l'occupation en 1941, gênée par des difficultés multiples dues aux circonstances, puis arrêtée par les autorités allemandes, ne fut reprise qu'après la libération; ce qui lui a permis de bénéficier d'importantes améliorations de technique surtout dans le domaine de la mise en place des poutres.

Il a fait l'objet d'un très bel article de M. Lalande, responsable de son exécution pour le compte des Entreprises Campenon Bernard; je ne saurais rien y ajouter d'utile.

Ce pont de 55 mètres de portée détient actuellement, mais vraisemblablement pour très peu de temps, le record de portée des ponts en béton précontraint (photo 5).

Il n'est pas le premier en date des ponts à éléments préfabriqués en usine. Les Entreprises Campenon Bernard possèdent en Afrique du Nord une puissante organisation dirigée avec beaucoup d'allant et d'intelligence par M. Safont, qui, à l'aide des renseignements que j'ai pu lui faire parvenir, a créé à l'usine de Oued Fodda une fabrication de cônes, vérins de tensions et blocs de très haute qualité.

Ces moyens ont permis à l'Administration des Ponts et Chaussées locale de projeter et de réaliser, dès la libération de l'Afrique du Nord, un grand pont par éléments préfabriqués (travée de 50 m, formée d'une poutre de 35 m sur consoles de 7^m50 et travées d'équilibre de 16^m50, à Djedeida, Tunisie) (photos 7 et 8)

Ce pont a été décrit dans *La Reconstruction des Ouvrages d'Art en Tunisie* par M. Mallet, Ingénieur en chef du Service des études et travaux en Tunisie, et dans le *Bulletin technique de la Suisse romande* du 15 mars 1947.

Un deuxième ouvrage à peu près identique, réalisé à Oued Saad, est cité dans le même ouvrage.

Ces ponts de l'Afrique du Nord ont été mis en place poutre par poutre, sans aucun échafaudage en rivière, à l'aide d'une passerelle de lancement supportant l'about des poutres.

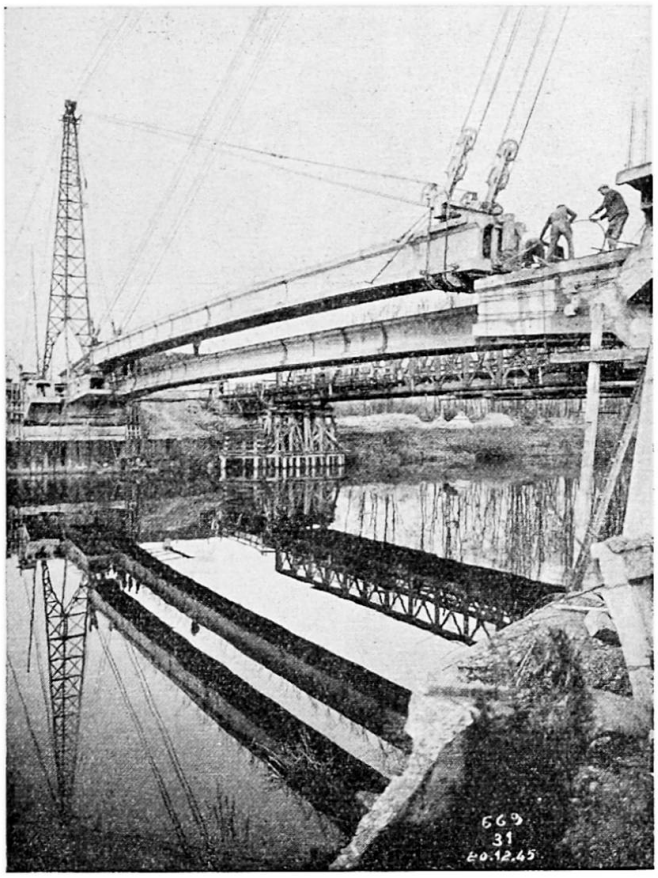


Fig. 6. Mise en place d'une poutre du pont de Luzancy.

Le pont de Luzancy est un pont à béquille qui a été mis en place poutre par poutre, à l'aide d'un transporteur à câbles que j'ai créé pour cet usage (photo 6). Ce même transporteur à peine modifié va être utilisé pour mettre en place sur la Marne cinq autres ponts de 75 à 78 mètres de portée entre nus des culées, dont les éléments seront fabriqués dans une usine créée à Esbly (Seine-et-Marne) sur le bord du canal, et, nous l'espérons, beaucoup d'autres ponts.

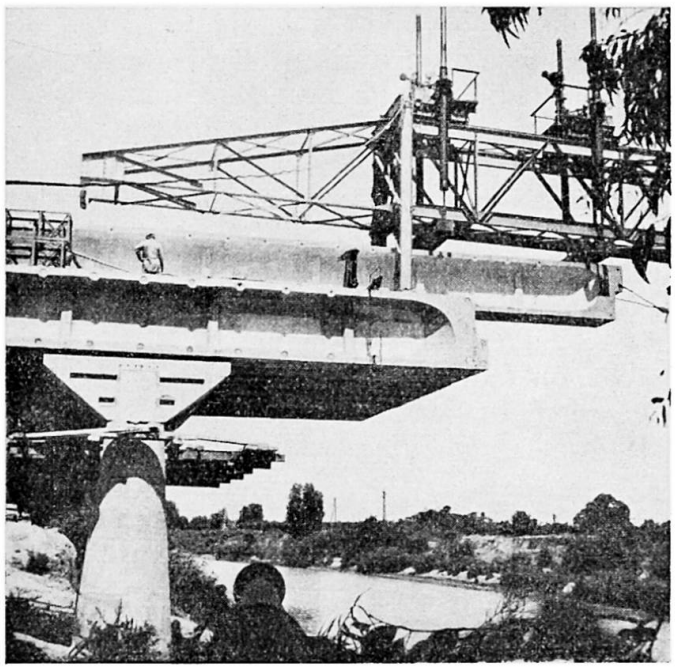


Fig. 7. Pont de Djedeida (Tunisie).

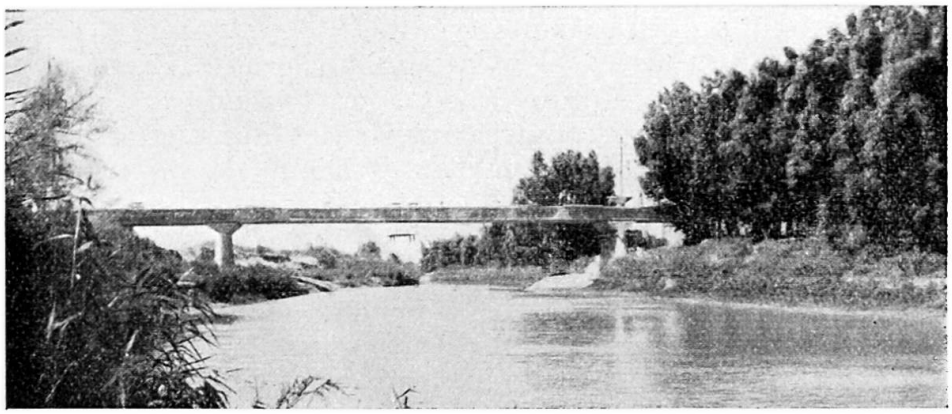


Fig. 8. Pont de Djedeida (Tunisie).

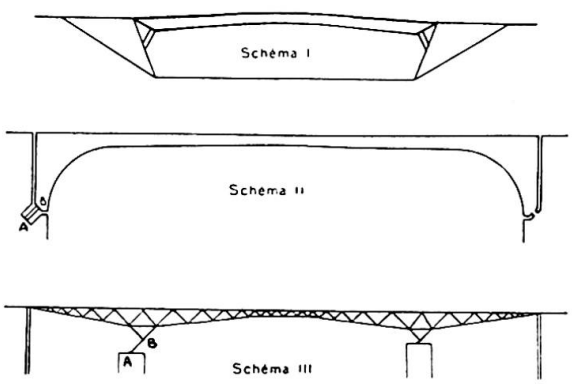
L'usine d'Esbly fabrique des éléments de 2 mètres de hauteur, de section variable, en béton soumis à une vibration qui réalise des accélérations de l'ordre de ± 5 à 6 g combinées avec des modes de pression faisant alterner celle-ci 3 000 fois par minute de 0 à 10 kg.

Ces éléments sont formés de deux tronçons de semelles, reliés par le tronçon d'âme correspondant. On coule d'abord les semelles munies de l'armature secondaire de l'âme; on les chauffe avec de la vapeur à 100°; environ une heure après le moulage leur durcissement est suffisant pour qu'on puisse, en augmentant leur distance par l'action de vérins, tendre ces armatures à 120 kg/mm². On coule alors le béton de l'âme, qui, après retrait et relaxation se trouve soumis à l'action d'armatures normales à la poutre tendues aux environs de 100 kg/mm² et peut ainsi être précontraint transversalement à 40 kg/cm², voire beaucoup plus si nécessaire. Un même moule peut faire plusieurs pièces dans une même journée. Il peut, grâce à des modifications instantanées, être utilisé pour des pièces de formes différentes.

Un type particulièrement satisfaisant est constitué par des arcs très fortement cambrés formés par l'association du hourdis supportant la chaussée avec un élément inférieur, grâce à des tympans pleins ou à des triangulations. Ce pont dans sa forme la plus simple est établi selon le schéma I qui est celui du pont de Luzancy et des cinq ponts en arc construits dans l'usine d'Esbly.

En munissant ce pont d'une bielle AB, on définit comme on le souhaite les rapports entre les moments positifs au milieu et négatifs aux appuis, non seulement pour les charges permanentes mais aussi pour les surcharges, et on le rend isostatique (schéma II).

Beaucoup d'autres combinaisons sont possibles; on peut notamment prévoir des travées d'équilibre dont l'importance peut être fixée à volonté (schéma III). Ces systèmes permettent d'insérer des poutres inférieures entre des gabarits de voie inférieurs et des profils de chaussée extraordinairement rapprochés



Cette usine vient seulement d'être mise en route; elle semble devoir fabriquer des produits de très haute qualité.

Les ponts précontraints en éléments préfabriqués peuvent recevoir les formes et les dimensions les plus variées, et toute forme d'ouvrage — ponts suspendus, cantilevers, poutres inférieures ou supérieures, arcs de toutes formes — peut être réalisée. Tout système de montage utilisable pour un pont en charpente peut être adapté au montage d'un pont en béton précontraint.

Au moment où j'écris, nous étudions un pont suspendu, de portée modeste à la vérité, mais qui peut être considéré, étant donné la nature des moyens employés, comme la maquette d'un pont de 1 000 mètres de portée. Dès 1940, j'avais étudié un pont à double cantilever de 700 mètres de portée.

Cependant, la très grande légèreté et la très grande rigidité spécifiques du béton précontraint en éléments préfabriqués, le prix relativement bas des résistances obtenues; la possibilité de noyer sans la moindre appréhension des articulations ou bielles articulées en béton fretté (photo 9) construites selon les moyens que j'ai décrits à propos du pont Candelier sur la Sambre (*Annales des Ponts et Chaussées*, mars-avril 1923) confèrent au béton précontraint une aptitude extraordinaire à la réalisation d'ouvrages à poutres inférieures, laissant les accès et les vues de tabliers complètement dégagés.

Nous avons établi plusieurs projets de ponts sur grands fleuves à navigation intense et très exigeante, comportant des travées qui peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres, avec des hauteurs de chaussées, au-dessus du niveau moyen des eaux, souvent inférieures au dixième de la portée (au milieu de l'ouvrage, moins encore aux extrémités).

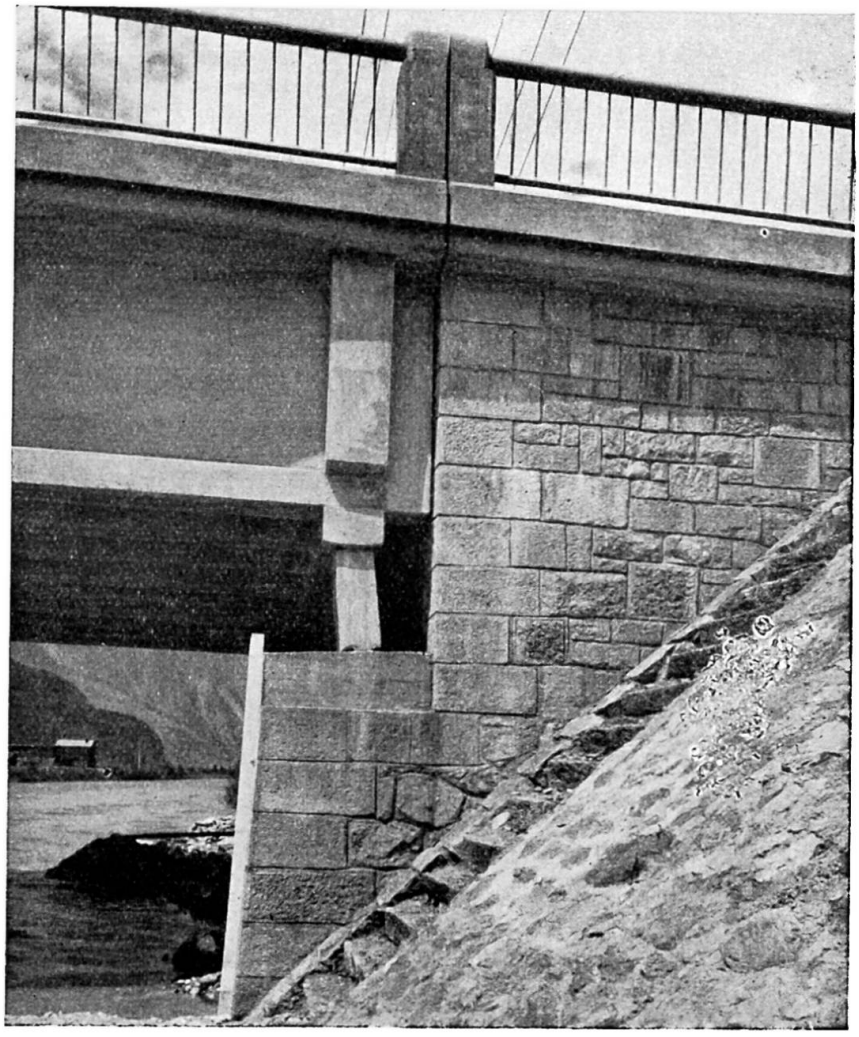


Fig. 9. Bielles d'articulation du pont de Bourg - d'Oisans sur la Romanche.

En général, ces tabliers peuvent être mis en place sans échafaudages, sans gêne pour la navigation et sans risques.

Commencé en

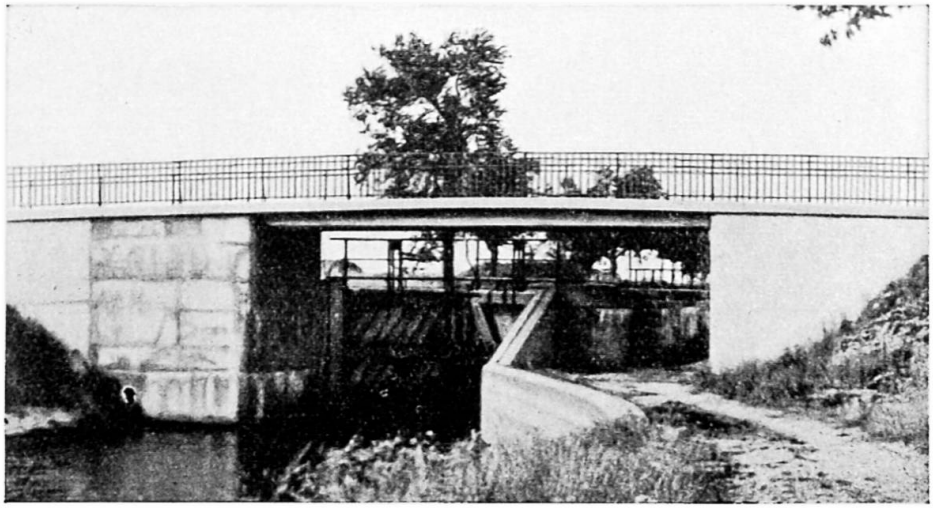


Fig. 10. Pont sur l'écluse n° 4 (Territoire de Belfort).

fait en 1945, à la Libération, le mouvement d'utilisation du béton précontraint pour les ponts s'étend très rapidement. Pour la France seule, dix-neuf ponts sont actuellement construits et en service :

Les ponts d'Elbeuf-sur-Andelle, de Longroy, de Luzancy, déjà mentionnés;

Cinq ponts-dalles dans le Territoire de Belfort, dont les portées s'échelonnent de 9^m20 à 14^m75 (photos 10 et 11);

Quatre ponts-dalles, portées 10^m60, 11 m, 13 m et 20 m; pont de Flaugeac, portée 11 m (photo 12);

Cinq ponts à poutres droites de portées allant de 24 à 51 m; pont de La Vigne (Isère), portée 30^m60 (photo 13); pont du Bourg-d'Oisans (Isère), portée 42 m (photos 14 et 15); pont de l'Hermillon (Savoie), portée 51^m40 (photos 16 et 17).

D'autre part, quatorze ponts sont actuellement en cours d'exécution. Ce sont :

Quatre ponts-dalles dans le Territoire de Belfort, avec des portées de 7^m50, 10 m, 11m;

Un pont-dalle de 9 m;

Trois ponts de 35 m, 46^m60 et 51^m50 à poutres droites;

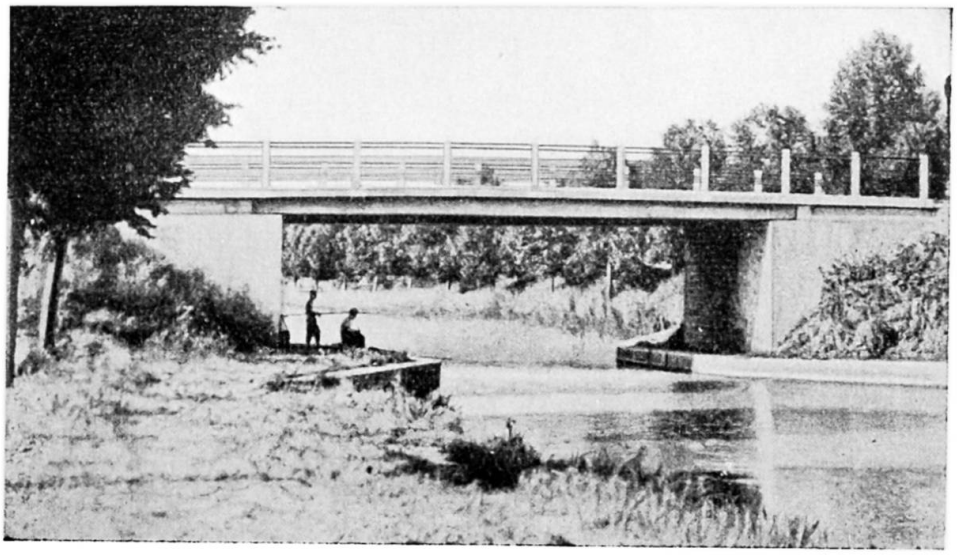


Fig. 11. Pont de Dorans (Territoire de Belfort).

Fig. 12. Pont de Flaugeac (Dordogne).

Un pont à poutres, avec neuf travées indépendantes de 20 m, 26 m, 29^{m}50, 30 m, 31 m de portée;

Enfin cinq ponts en arc sur la Marne de 75 à 78 mètres de portée.

Vingt-huit autres ouvrages dont les projets d'exécution sont établis doivent être entrepris cette année :

Quatorze ponts-dalles, sept dans le Territoire de Belfort, avec des portées comprises entre 6^{m}85 et 12 m, et 7 ayant des portées de 8^{m}66, 11^{m}60, 11^{m}23, 12^{m}60, 15 m, 18^{m}60 et 20 m;

Huit ponts à poutres droites de 24^{m}80, 25 m, 32^{m}40, 35^{m}05, 36^{m}20, 38 m, 38^{m}20, 61^{m}82;

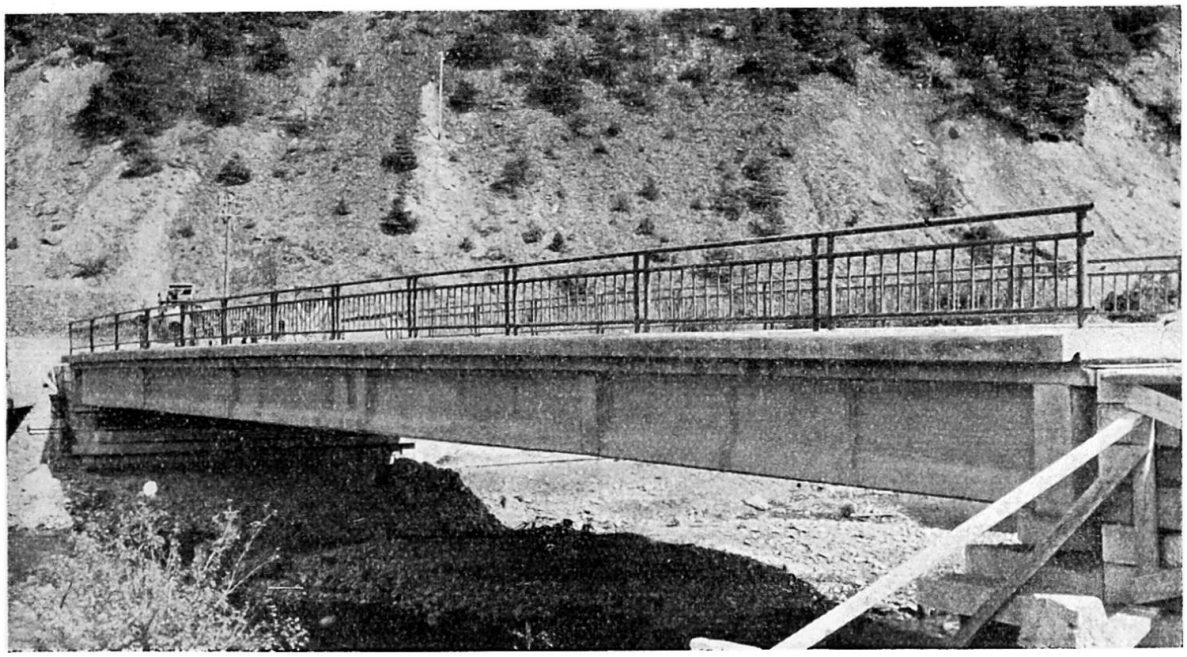


Fig. 13. Pont de La Vigne sur l'Eau d'Olle (Isère).

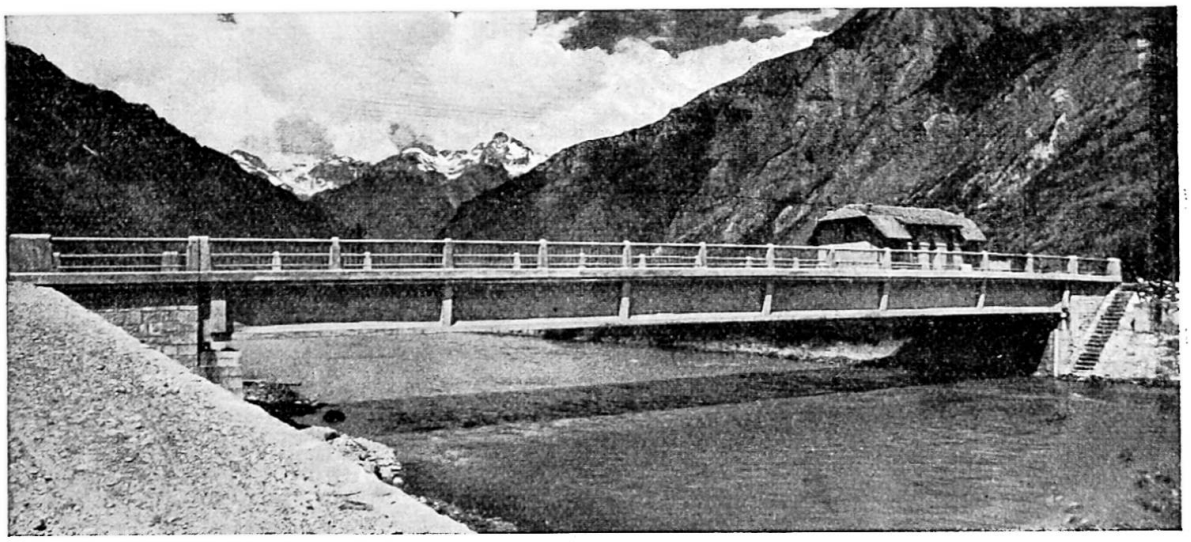


Fig. 14. Pont de Bourg-d'Oisans (Isère).

Sept ponts à trois travées indépendantes : une de 54^{m}60 et deux de 45^{m}35;

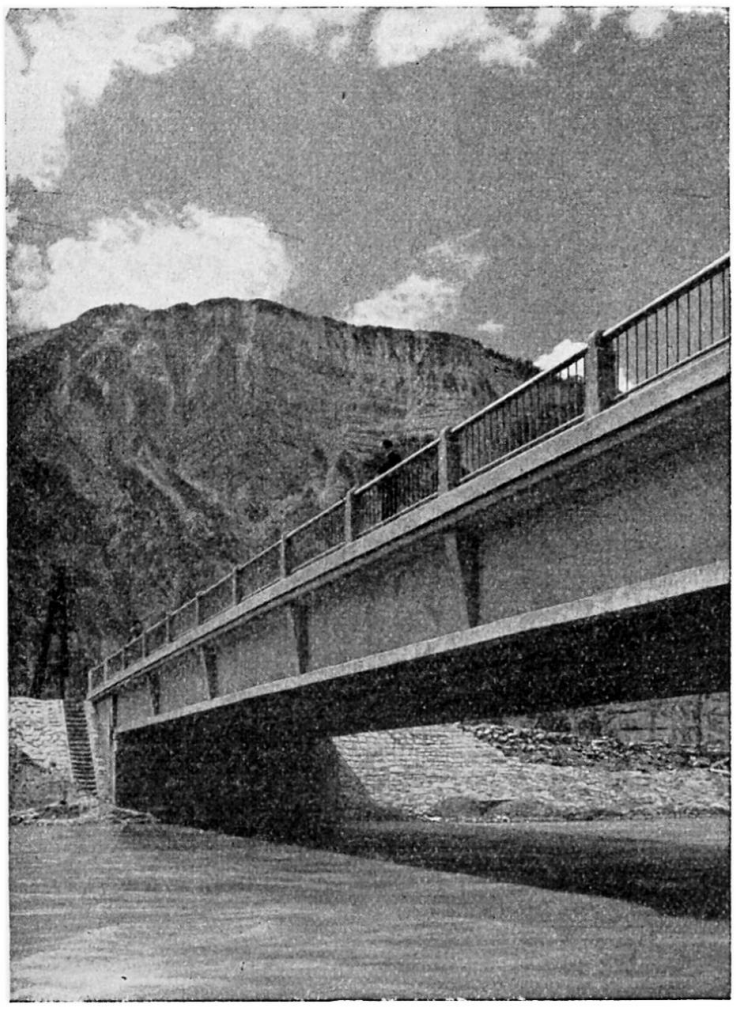
Un pont avec travée centrale de 52 m et deux travées cantilevers de 43^{m}50;

Un pont en arc de 52 de portée;

Un pont-dalle à trois travées continues : deux travées latérales de 18 m et une travée centrale de 11 m;

Un pont-dalle à deux travées continues de 18^{m}40 et 9^{m}40;

Un pont-dalle à trois travées continues de 14^{m}85, 16^{m}45 et 21^{m}60.



Nous faisons actuellement l'étude de très nombreux ponts. Plusieurs ponts ont été exécutés en Afrique du Nord. En outre, quatre ponts ayant des portée de 20 mètres, 13 mètres, 10^{m}80 et 20 mètres et plusieurs passerelles ont été construits en Belgique.

En Allemagne, on peut citer deux ponts à poutres de 44 mètres et

Fig. 15. Pont de Bourg-d'Oisans (Isère).

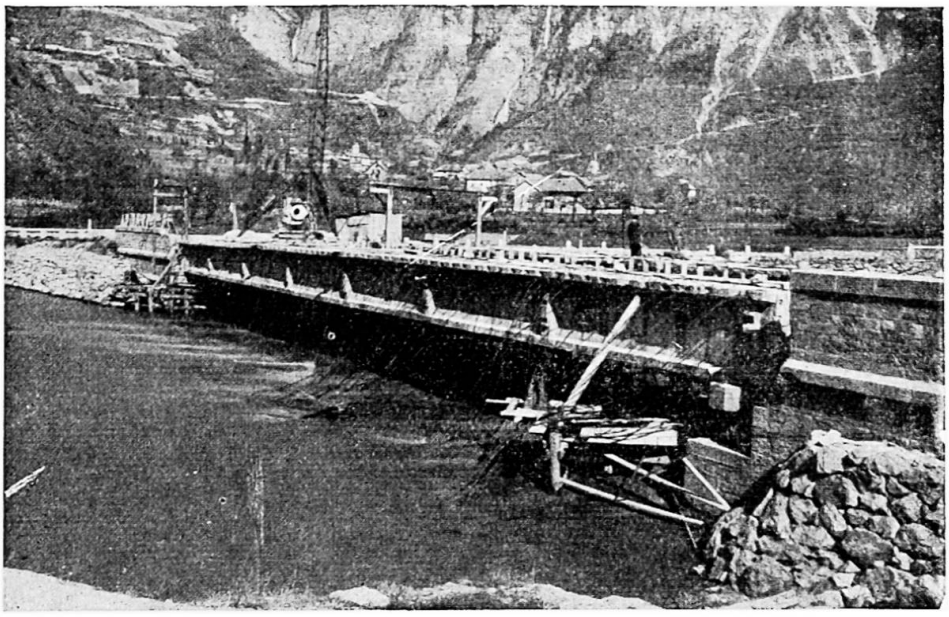


Fig. 16. Pont de l'Hermillon sur l'Arc (Savoie).

34 mètres de portée (photo 18); un pont à deux travées de 22^{m}80 et 28 mètres. Enfin, il faut mentionner un pont à poutres actuellement en construction au Brésil, de 329 mètres de longueur et 20 mètres de largeur, comportant treize travées indépendantes : deux de 28^{m}30, deux de 37^{m}20, huit de 19^{m}40 et une de 43^{m}40.

Enfin, on peut ajouter à ces ouvrages une galerie couverte en cours d'exécution à Rouen, qui est en fait un pont de 8 à 18 mètres de portée dont la largeur atteindrait 1 800 mètres.

Certains ont affirmé — et je me demande d'après quelles bases — que les ponts en béton précontraint coûtaient plus cher que les ponts en béton armé ou en charpente métallique. Cela ne saurait surprendre, en dépit des avantages théoriques du béton précontraint; car il livre bataille actuellement dans les plus mauvaises conditions : il emploie des matériaux créés pour d'autres industries; il a encore à former ses techniques et ses techniciens.

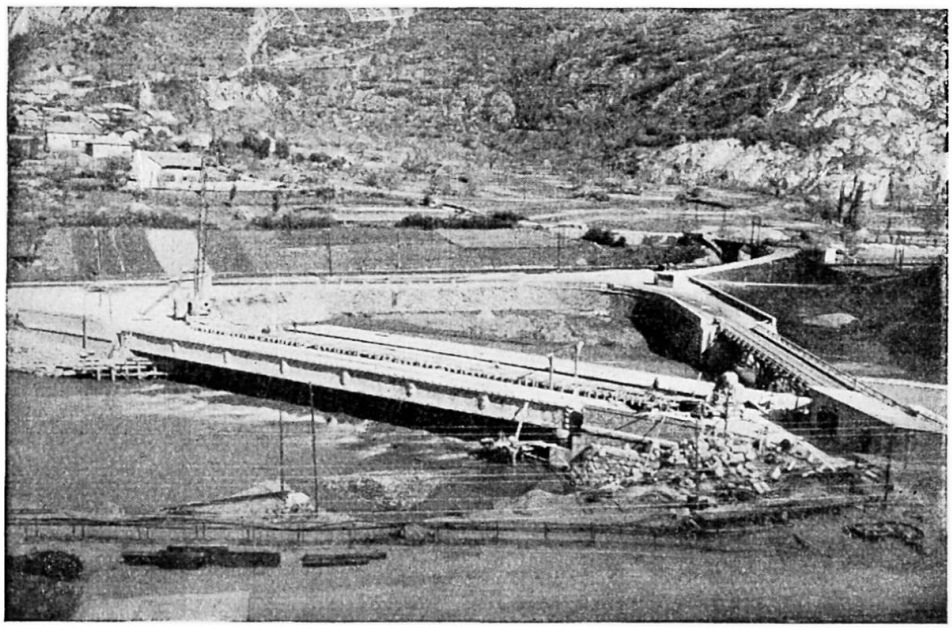


Fig. 17. Pont de l'Hermillon sur l'Arc (Savoie).

En fait, cela n'est pas; le développement rapide de ses applications le prouve abondamment.

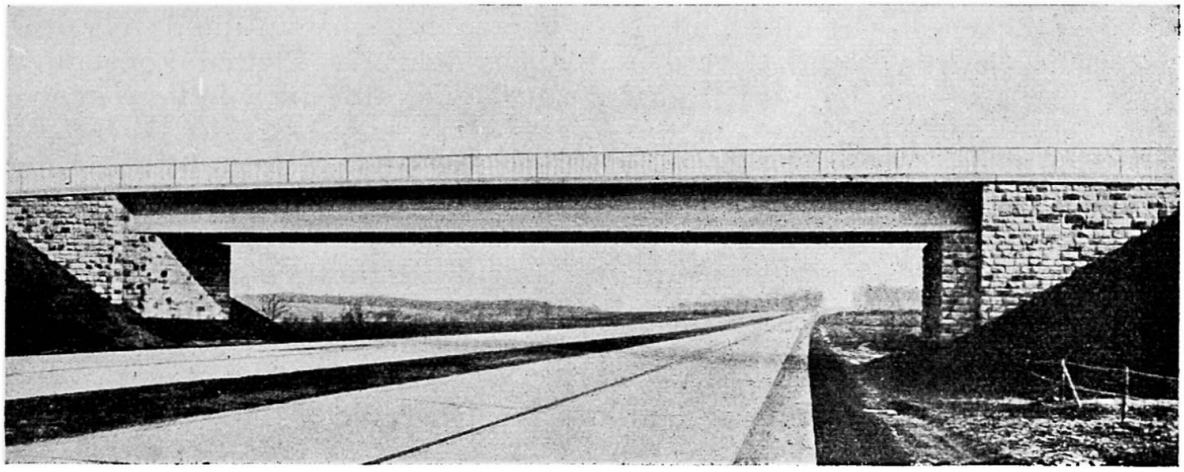


Fig. 18. Poutre de l'Oelde (Allemagne).

Le nombre et l'importance des études qui nous sont demandées croît à un rythme extraordinairement rapide, et je suis convaincu que, dans peu d'années, un très grande majorité de ponts sera exécutée par les méthodes du béton précontraint.

Résumé

L'auteur donne une vue générale des techniques actuelles et des possibilités envisagées pour la réalisation des ponts en béton précontraint.

Les procédés actuellement employés se divisent en trois grandes catégories :

1° Ponts coulés sur place dans des coffrages supportés par des charpentes provisoires et qui peuvent être réalisés soit sous forme de dalles d'épaisseur uniforme, soit sous forme de poutres moulées successivement avec réutilisation des coffrages;

2° Ponts à poutres préfabriquées assemblées après coup dont les aciers de précontrainte sont, soit tendus avant coulage du béton en prenant appui sur le moule très résistant, soit mis en place avant coulage, sans tension et entouré d'un revêtement antiadhérent, tendu après prise et durcissement du béton en prenant appui sur celui-ci, et ancrés à l'aide de cônes de béton frettés incorporés à la construction;

3° Ponts en poutres constituées par des éléments préfabriqués assemblés par précontrainte.

Dans ces deux derniers types de ponts, les poutres moulées sur la berge ou sur passerelle de service sont mises en place par transporteur ou passerelle de lancement et solidarisées entre elles par précontrainte transversale.

Quel que soit le procédé employé, les ponts ainsi obtenus possèdent en commun les avantages du béton précontraint, et en particulier la limite de résistance du tablier étant très supérieure à celle d'une dalle en béton armé de même poids, cette technique donne la possibilité d'alléger considérablement les constructions en respectant les conditions de sécurité.

Zusammenfassung

Der Verfasser gibt eine Uebersicht der heutigen technischen Methoden

und der Möglichkeiten zur Herstellung von Spannbetonbrücken. Die bis jetzt angewandten Verfahren können in die folgenden drei Gruppen eingeteilt werden :

1. Brücken an Ort und Stelle in Schalungen gegossen, die durch provisorische Gerüste gestützt werden. Sie bestehen aus Platten konstanter Dicke oder aus nacheinander gegossenen Balken, wobei die Schalung mehrmals verwendet wird;

2. Brücken aus vorfabrizierten Balken, welche nachträglich zusammengesetzt und deren Vorspannstähle entweder vor dem Giessen des Betons gespannt werden, indem sie sich auf eine besonders widerstandsfähige Schalung stützen, oder ungespannt mit einem die Haftung verhindernden Anstrich verlegt und erst nach dem Betonieren gespannt und im erhärteten Beton mittels vorher eingebetteten, mit Stahldraht umwickelten Betonkeilen verankert werden;

3. Brücken aus vorfabrizierten Balkenstücken, die durch Vorspannung zusammengehalten werden.

In den beiden letzteren Fällen werden die am Ufer oder auf einer Hilfsbrücke gegossenen Balken mittels Kran oder Hilfsboot an Ort und Stelle gebracht und durch Quervorspannung miteinander verbunden.

Die mit obigem Verfahren hergestellten Brücken besitzen alle Vorteile des Spannbetons. Die Widerstandsfähigkeit der Fahrbahn ist derjenigen, einer aus Eisenbeton hergestellten Platte weit überlegen. Trotz Innehaltung der Sicherheitsbedingungen erlauben diese Methoden das Eigengewicht der Konstruktion stark herabzusetzen.

Summary

The author gives a general picture of present day methods and of future possibilities for the construction of prestressed concrete bridges. Present day methods may be divided into three main groups :

1. Bridges cast in situ in moulds carried on temporary form-work, which can be built either as a slab of uniform thickness, or in the form of beams cast one at a time, using the same mould each time;

2. Bridges made of precast beams whose prestressing steel is either tensioned before concreting and depends on the strength of the mould for creation to this tension, or placed in position before concreting, covered with some anti-bond material, tensioned after the setting and hardening of the concrete, which, itself carries reaction to the steel, and anchored by means of reinforced concrete cones built into the structure;

3. Bridges made of beams of precast elements assembled by prestressing.

In the two latter types of bridge, the beams which are cast either on the bank or on a temporary service bridge, are placed in position by means of a transporter tackle or by launching, and are rigidly connected together by transverse prestress.

Whatever method is used, such bridges all have the advantages of prestressed concrete, and in particular, since the strength of the slab is much greater than one of the same weight in reinforced concrete, this technique makes possible the considerable reduction of weight of structures while still maintaining the same safety factor.