Poutrelles en acier enrobées de béton

Autor(en): **Cambournac, L.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **1 (1932)**

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-705

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

POUTRELLES EN ACIER ENROBÉES DE BÉTON

TRÄGER AUS EINBETONIERTEN WALZEISEN

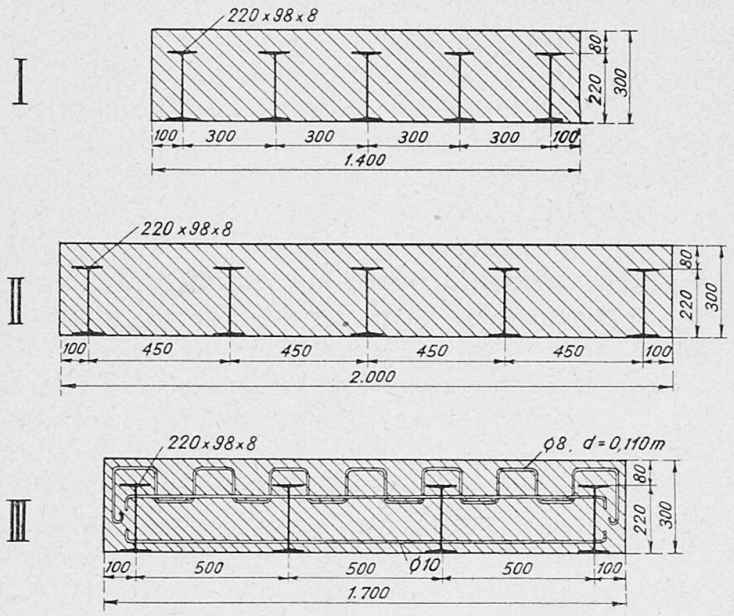
BEAMS OF ROLLED SECTIONS COVERED WITH CONCRETE

L. CAMBOURNAC,
Ingénieur en Chef Adjoint du Chemin de Fer du Nord.

Les Chemins de Fer utilisent, sous la voie ferrée, des tabliers constitués par des poutrelles en acier enrobées de béton. Les calculs de ces tabliers sont généralement faits en tenant compte de la seule résistance des poutrelles. Or, les flèches observées sont toujours très inférieures aux flèches calculées d'après cette hypothèse. Le béton joue donc un rôle dans la résistance de tels tabliers et on réaliserait une économie si l'on savait comment en tenir compte dans le calcul.

En vue d'élucider cette question, le Réseau du Nord a, en 1927, institué des essais statiques sur trois dalles composées de poutrelles en acier doux de $\frac{220 \times 98}{8}$ de 7.00 m. de longueur écartées respectivement de 0.30 m., 0.45 m. et 0.50 m. et enrobées dans du béton composé de:

300 k. de ciment Portland,
400 l. de sable de rivière,
800 l. de gravillon.



Coupes transversales des dalles mises à l'essai.

Querschnitte der Versuchsplatten.

Cross-section of Test Plates.

Ces dalles reposaient sur deux massifs parallèles de béton à 200 k. de ciment ayant 1.00 m. d'épaisseur et 2.20 m. de longueur reposant sur semelles

de répartition de la pression sur le sol. L'ouverture entre parements intérieurs de ces massifs formant culées était de 5.00 m. et les appuis des dalles étaient distants de 6.00 m. d'axe en axe. Ces appuis étaient constitués par des coupons de rails Vignole de 2.20 m. de longueur noyés à mi-hauteur dans le béton à la partie supérieure de chacune des culées.

Des calages, constitués par 2 piles de blochets et traverses, étaient placés, sous la dalle à expérimenter, au voisinage des culées, pour empêcher la chute de cette dalle lors des essais jusqu'à rupture.

La surcharge d'épreuve était constituée par des coupons de rails Vignole 45 k. de 6.00 m. de longueur, posés sur 2 laminés transversaux écartés de 2.20 m. et placés symmétriquement par rapport à l'axe transversal du tablier. Ces 2 I laminés assuraient la répartition de la surcharge sur toute la largeur du tablier et permettaient de réaliser 2 charges isolées bien définies. La mise en place des coupons de rails constituant la surcharge d'épreuve s'effectuait au moyen d'une grue installée sur un wagon circulant sur une voie située à proximité du chantier d'expérience.

On a procédé aux mesures suivantes:

1° Mesure de la fatigue du métal tendu des poutrelles au moyen de 2 appareils „Manet-Rabut", fixés sur les ailes inférieures des poutrelles de rive, au milieu de la portée. Des échancrures étaient ménagées dans le béton en vue de permettre la fixation de ces 2 appareils sur les ailes des laminés (voir photographie n° 1).

2° Mesure du raccourcissement du béton comprimé au moyen d'un appareil „Manet-Rabut" fixé sur l'aile verticale de cornières avec pattes de scellement dans la masse du béton (voir photographie n° 2).

3° Mesure de l'allongement du béton tendu au moyen d'un appareil „Manet-Rabut" fixé comme l'appareil précédent.

4° Mesure des flèches prises par la dalle après la mise en place de chaque lit de rails en utilisant 2 appareils enregistreurs de flèches „Rabut" fixés sur les poutrelles de rive (voir photographies n°s 1 et 2).

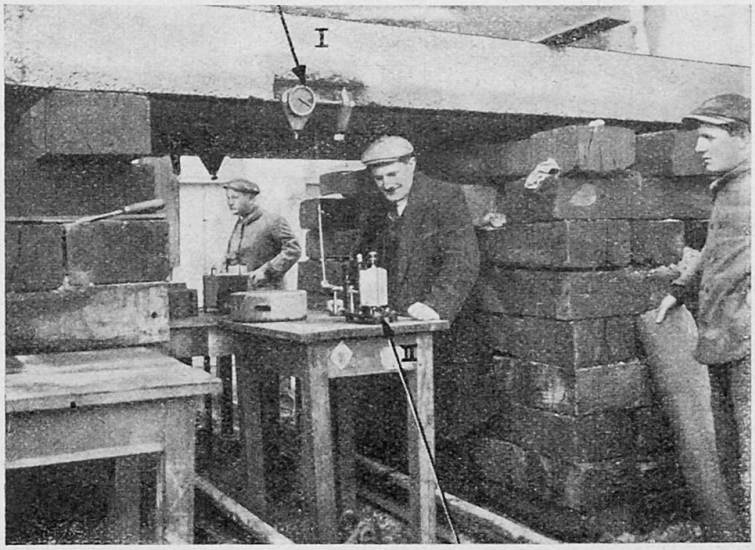
5° Mesure des tassements des culées au moyen de 4 fleximètres „Richard" placés sur des traverses en bois enfoncées dans le sol au voisinage du parement extérieur de ces culées (voir photographie n° 3).

La première dalle expérimentée était constituée comme les tabliers ordinaires en poutrelles enrobées; elle comportait 5 poutrelles écartées de 0.300 m. d'axe en axe, enrobées de béton recouvrant les ailes supérieures sur 80 mm. d'épaisseur et affleurant les ailes inférieures. Chacune des poutrelles de rive était reliée haut et bas avec la poutrelle voisine par des étriers horizontaux en ronds de 15 mm. écartés de 0.75 m.

Des essais préliminaires à l'écrasement du béton ont été effectués après 28, 45 et 90 jours de prise sur des cubes de 0.05 m. de côté prélevés au moment du bétonnage de la dalle.

Le chargement de cette dalle a été effectué progressivement par lits de 25 coupons de rails et il a été arrêté après la mise en place du 7° lit (175 rails), ce qui donnait une surcharge totale de 48.760 K. Les lectures sur les appareils de mesure étaient faites à la fin du chargement de chaque lit. Ces appareils ont été laissés en place durant la nuit qui a suivi le chargement. Après un examen minutieux de la dalle, le déchargement a été opéré progressivement. De nouvelles lectures ont été faites après l'enlèvement de chaque lit de rails.

La 2° dalle expérimentée était constituée avec les mêmes profils de poutrelles que ceux de la dalle précédente, mais ces poutrelles étaient

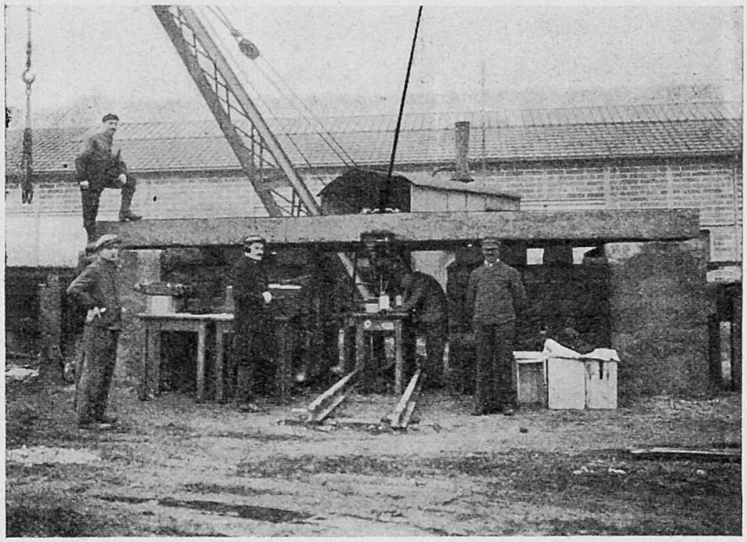


Phot. 1.

I: Appareil "Manet-Rabut" (Mesure des fibres extrêmes du métal tendu). II: Appareil enregistreur "Rabut" (Mesure des flèches).

I: Apparat "Manet-Rabut" (Messung der Randdehnungen der Profileisen). II: Registrierapparat "Rabut" (Messung der Durchbiegungen).

I: "Manet-Rabut" Apparatus (Measuring the elongation at the edge of the metal under tension). II: „Rabut" Registering Apparatus (Measuring the bending).

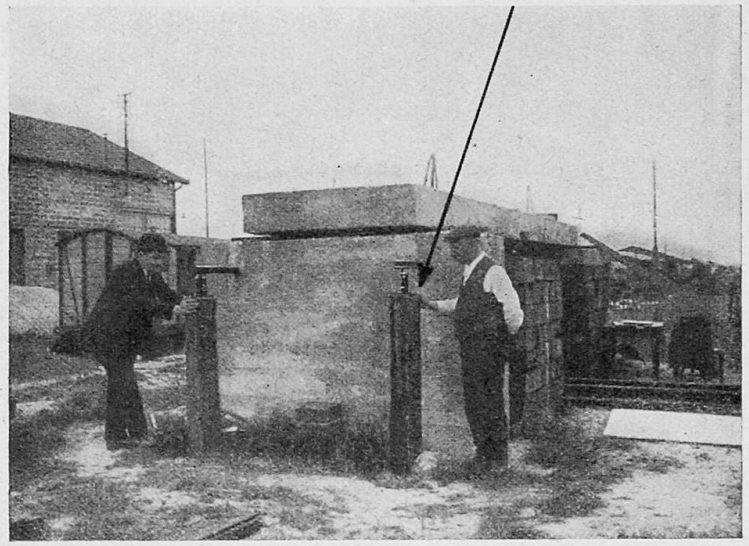


Phot. 2.

Appareil "Manet-Rabut" (Mesure du raccourcissement des fibres extrêmes du béton comprimé).

Apparat "Manet-Rabut" (Messung der Randstauchung des Betons).

"Manet-Rabut" Apparatus (Measuring the compression at the edge of the concrete).



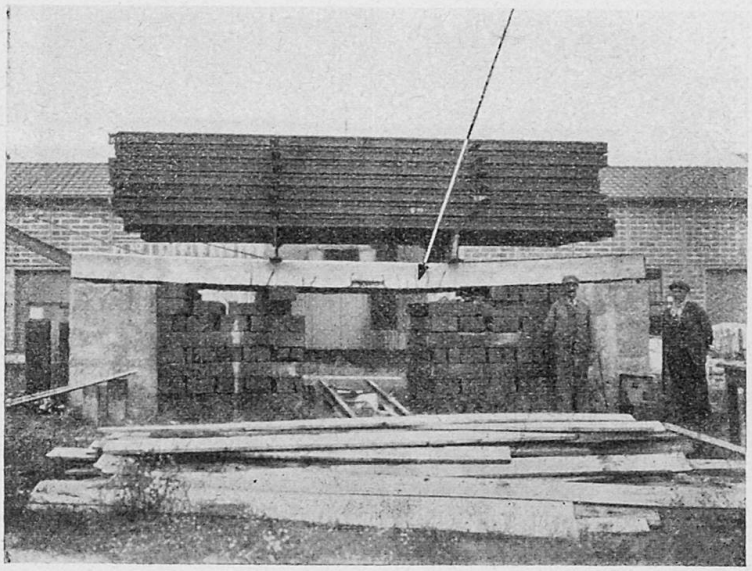
Phot. 3.

Fleximètre "Richard" (Mesure du tassement des culées).

Biegungsmesser "Richard" (Messung der Zusammendrückung der Widerlager).

"Richard" Flexometer (Measuring the shortening of the supports).

écartées de 0,450 m. au lieu de 0,300 m. Cet écartement important avait été choisi à dessein en vue de se rendre compte de son influence sur l'adhérence du béton au métal.



Phot. 4.

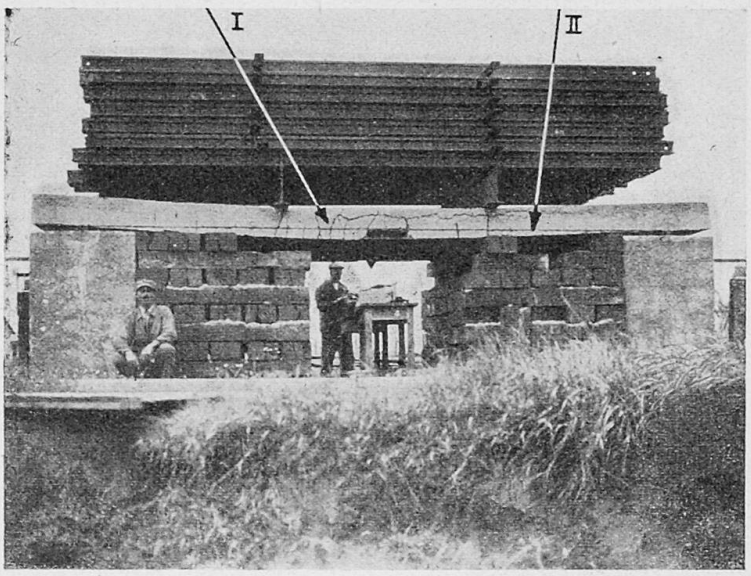
Deuxième dalle après chargement complet (Face côté nord). Fissures dans la partie tendue du tablier.

Zweite Platte nach beendigter Belastung (Nordseite). Risse in der Zugseite der Platte.

Second Plate after completed loading (North side). Cracks in the side under tension.

Des essais préliminaires à l'écrasement du béton ont été effectués sur des cubes de 0.05 m. de côté dans les mêmes conditions que pour la première dalle mise à l'essai.

Le chargement de la deuxième dalle a été fait par lits de 31 coupons de rails et il a été arrêté après la mise en place du 7° lit (217 rails) car, à



Phot. 5

Deuxième dalle après chargement complet (Face du côté sud). I: Fissures. II: Ligne horizontale passant par le niveau supérieur des appuis.

Zweite Platte nach beendigter Belastung (Südseite). I: Risse. II: Horizontale durch die Oberkante der Auflager.

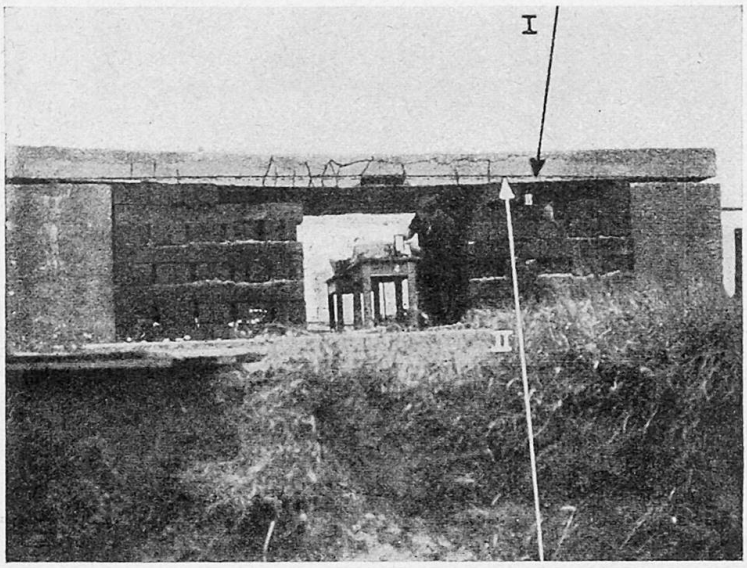
Second Plate after completed loading (South side). I: Cracks. II: Horizontal line passing through the upper level of the supports.

ce moment, la dalle s'est affaissée sur les calages par suite de la rupture du béton dans une section située à 0.25 m. de l'un des laminés transversaux formant appuis de la surcharge (voir photographies n°s 4 et 5).

La photographie n° 6 montre la dalle après déchargement complet.

Comme dans le 1er essai, les lectures sur les appareils de mesure ont été faites à la fin du chargement de chaque lit. On peut constater, en parti-

culier, qu'il se développe dans le béton des efforts de l'ordre de 100 K./cm² lorsque le travail dans les fibres tendues des poutrelles atteint 12 k./mm².



Phot. 6.

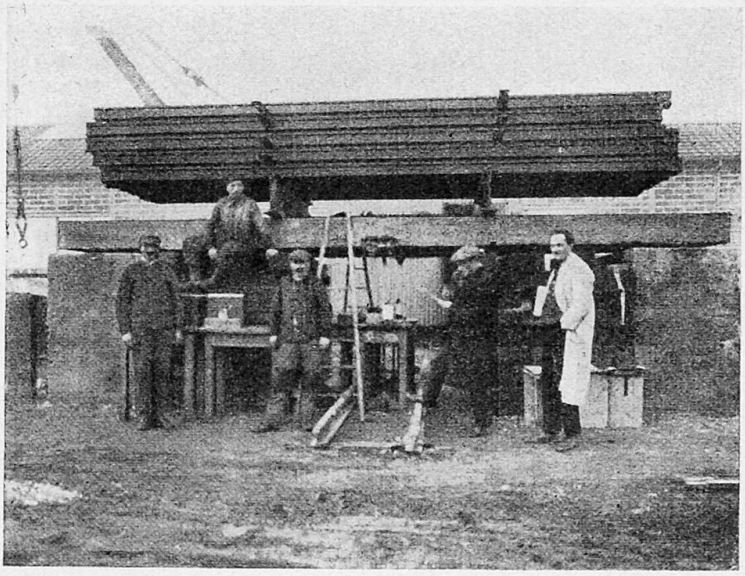
Zweite Platte nach vollständiger Entlastung (Südseite). I, Voller Strich: Horizontale durch die Oberkante der Auflager im Falle der belasteten Platte. II, Punktierter Strich: Horizontale durch die Oberkante der Auflager im Falle der unbelasteten Platte.

Second Plate after completed unloading (South side). I, Full line: Horizontal line passing through the tops of the supports when the plate is loaded. II, Dotted line: Horizontal line passing through the tops of the supports when the plate is unloaded.

Phot. 6.

Deuxième dalle après déchargement complet (Face côté du sud). I, Trait continu: Ligne horizontale passant par le dessus des appuis dans le cas du tablier chargé. II, Trait ponctué: Ligne horizontale passant par le dessus des appuis dans le cas du tablier déchargé.

En s'inspirant des résultats des 2 premières séries d'essais, il a été constitué une 3° dalle dont les caractéristiques principales étaient les suivantes.



Phot. 7.

Troisième dalle en cours de chargement.

Dritte Platte während des Belastens.

Third Plate during loading.

1° 4 laminés du même profil que celui utilisé dans les essais précédents. L'écartement de ces laminés était de 0.50 m.

2° Barres rondes de 10 mm. de diamètre traversant vers le haut et vers le bas les âmes des laminés et fixées sur ces âmes au moyen de cales en

acier de 3 mm. d'épaisseur. Le but de ces barres rondes était de s'opposer au glissement longitudinal du béton sur les poutrelles et d'empêcher les fissures par retrait de ce béton.

3° Frettage, au moyen de crémaillères en rond de 8 mm., du béton comprimé de la zone centrale de la dalle, en vue de s'opposer au gonflement transversal de ce béton, suivant la proposition de M. CHAUDY, Ingénieur Principal.

Les essais de résistance de cette 3° dalle ont été effectués en 2 phases:

1ère phase. Chargement par lits de 27 coupons de rails de façon à ne pas atteindre la limite apparente d'élasticité du métal, puis déchargement progressif. Des lectures ont été faites au cours et à la fin de chacune de ces opérations sur les différents appareils de mesure.

2ème phase. Nouveau chargement de la dalle poussé jusqu'à rupture du béton. La surcharge était à ce moment constituée par 211 coupons de rails, soit un poids de 57.650 k.

Les photographies nos 7 et 8 montrent les opérations effectuées au cours de la 3° série d'essais.

Au cours de la démolition de cette 3° dalle (voir photographies nos 9 et 10), il a été possible de constater que, malgré les déformations considérables qu'elle a subies, le béton comprimé s'était remarquablement conservé et que l'adhérence du béton sur le métal des poutrelles était réalisé dans de bonnes conditions. Ces constatations confirment la grande efficacité du frettage et des barres rondes traversant les âmes des laminés.

Les 3 séries d'essais décrites précédemment ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes:

1° Les déformations semblent croître, pour une charge donnée immuable, avec le temps. Il a été constaté, notamment, que la flèche prise par le tablier, après la mise en charge, continue à augmenter pendant plusieurs heures et, qu'après enlèvement de cette charge, le tablier met également un certain temps pour revenir à sa position initiale.

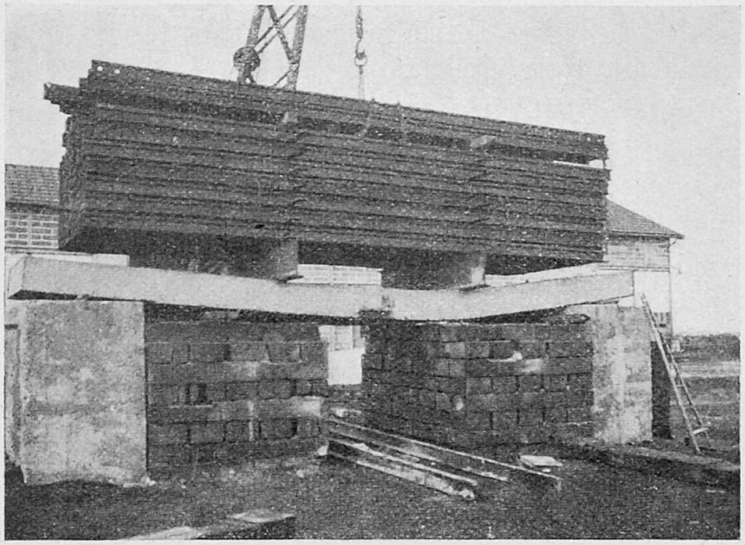
2° Les déformations ne sont pas proportionnelles aux forces qui les produisent, ce qui indique que le coefficient d'élasticité du béton est variable avec le taux auquel travaille ce béton.

3° Les sections planes perpendiculaires à la ligne moyenne ne restent pas planes pendant la déformation.

4° La fibre neutre de la dalle en poutrelles enrobées n'est pas une ligne droite, ce qui est une conséquence de 2° et 3°.

Ces constatations sont en concordance avec celles faites récemment par M. F. DUMAS, Ingénieur des Ponts et Chaussées, au cours d'expériences sur des poutres en béton armé de barres rondes, expériences qu'il a fait connaître dans une note parue dans les Annales des Ponts et Chaussées (1931, Tome II, Fascicule V) sous le titre „Le béton armé et ses hypothèses. Etude expérimentale des phénomènes de flexion simple sous l'action des forces progressivement croissantes."

Cette concordance autorise à conclure qu'on est en droit de calculer les ponts en poutrelles enrobées comme les ponts en béton armé avec une sécurité de même ordre, à condition toutefois de prendre les dispositions nécessaires pour que soient respectées, d'une part, les limites de fatigue du béton à la compression prescrites par les règlements en vigueur, d'autre part, les conditions de résistance au glissement du béton d'enrobement sur les poutrelles. Ces dispositions consistent:

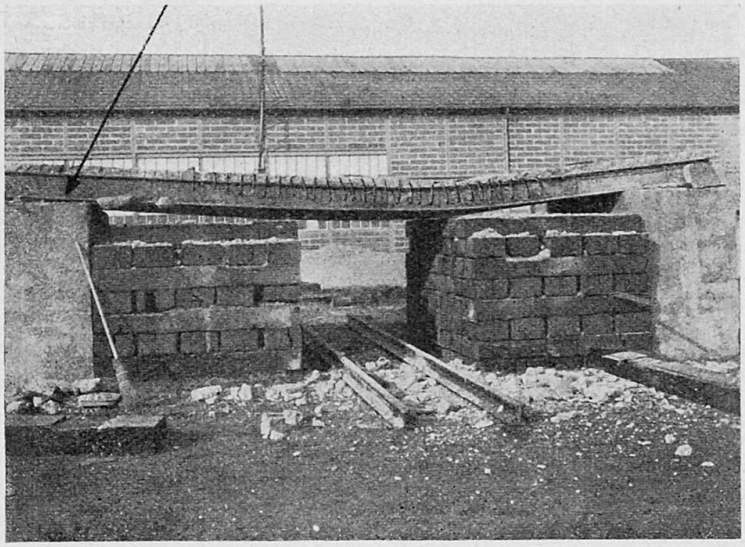


Phot. 8.

Troisième dalle après chargement du huitième lit (Face côté nord).

Dritte Platte nach Aufbringen der 8. Lage der Belastung (Nordseite).

Third Plate after loading the 8 th Section. (North side).

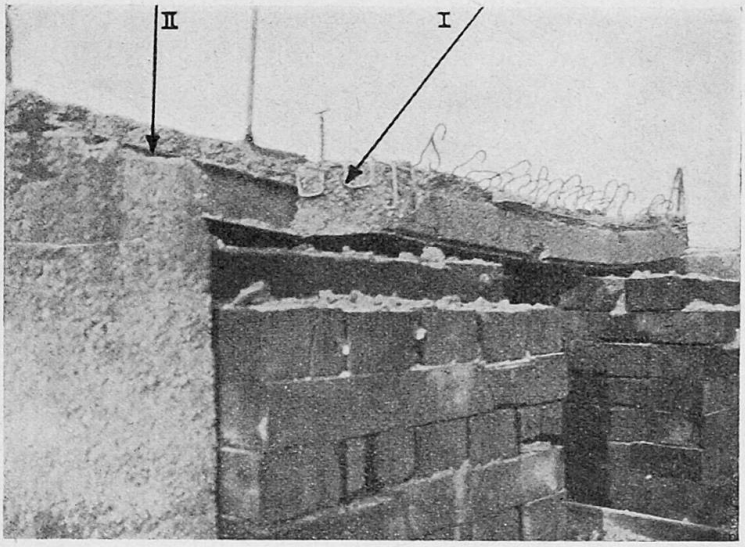


Phot. 9.

Démolition de la troisième dalle après les essais. Poutrelle de rive.

Zerstörungen der dritten Platte nach den Versuchen. Randträger.

Destruction of the 3d Plate after the Tests. Edge girder.



Phot. 10.

Demolition de la troisième dalle après les essais. I: Frettage. II: Poutrelle intermédiaire.

Zerstörungen der dritten Platte nach den Versuchen. I: Umschnürung. II: Innerer Träger.

Destruction of the 3d Plate after the Tests. I: Spiral reinforcement. II: Intermediate girder.

1° à fretter, si c'est nécessaire, le béton de remplissage dans les parties en compression, au moyen d'un armaturage spécial;

2° à utiliser des barres rondes transversales traversant les âmes des laminés.

L'examen des résultats obtenus au cours des essais conduit à admettre comme valeur conventionnelle du rapport m [1]) des coefficients d'élasticité de l'acier et du béton:

En pratique, les poutrelles préalablement mises en place servent de béton;

14, lorsque le béton est fretté.

En pratique, les poutrelles préalablement mises en place servent de support aux coffrages permettant d'exécuter le remplissage en béton. Il y aurait donc lieu de prévoir dans les calculs:

1° que les poutrelles supporteront, seules, leur poids propre et celui du remplissage;

2° que les poutrelles et le béton formant béton armé supporteront la surcharge morte (ballast, traverses, rails ...) et les surcharges roulantes.

En utilisant cette méthode, il paraît indiqué de prendre pour les poutrelles des aciers demi-durs en limitant le travail à la moitié de la limite élastique, soit 16 k. environ par mm² de section. Ce chiffre comprend le taux de travail du métal sous le poids propre des poutrelles et celui du remplissage, de sorte que le taux limite de fatigue du métal sous l'action de la surcharge morte et des surcharges roulantes ne dépasse pas, en général, celui de 12 k. par mm² de section correspondant à un allongement admissible du béton tendu, sans crainte de fissuration. Les expériences précitées ont d'ailleurs montré que l'apparition des premières fissures dans le béton tendu des dalles mises à l'essai, a eu lieu pour une surcharge donnant une fatigue du métal de 14 k. environ par mm² de section, chiffre supérieur à la limite de 12 k. envisagée.

Résumé.

L'auteur décrit des essais faits sur des dalles composées de poutrelles en acier et enrobées dans du béton.

On a mesuré, au milieu de la portée, les déformations suivantes:

1° Le taux de travail du métal sur les ailes inférieures des poutrelles;
2° Le raccourcissement du béton comprimé;
3° L'allongement du béton tendu;
4° Le fléchissement de la dalle.

En ce qui concerne les calculs pratiques l'auteur fait les propositions qui suivent:

[1]) Une poutre hétérogène formée de fibres, les unes en béton, les autres en métal, peut être remplacée par une poutre fictive, homogène, obtenue en remplaçant chaque section hétérogène par une section fictive ayant même masse que la section hétérogène réelle, en attribuant aux parties de la section formées par le béton une densité de 1 et aux parties formées par les armatures longitudinales une certaine densité m. Théoriquement, cette densité m est le rapport:

$$m = \frac{E_a}{E_b}$$

du module d'élasticité E_a du métal de l'armature au module d'élasticité E_b du beton.

On est en droit de calculer les ponts en poutrelles enrobées de béton comme des ponts en béton armé. Le coefficient m (qui est théoriquement le rapport $m = \frac{E_a}{E_b}$ du module d'élasticité E_a du métal de l'armature au module d'élasticité E_b du béton) est égal à

9, quand il n'y a pas de frettage de la partie comprimée du béton et à 14, lorsque le béton est fretté.

Il sera necessaire d'utiliser des barres transversales traversant les âmes des poutrelles. Ces barres rondes s'opposent à un glissement horizontal du béton sur les poutrelles.

Les expériences ont démontré qu'en limitant les fatigues aux valeurs habituelles on pourra appliquer la méthode proposée sans crainte de fissuration. L'apparition des premières fissures n'a eu lieu que pour une charge correspondant à un taux de travail du métal de 14 kg/mm² environ.

Zusammenfassung.

Der Verfasser beschreibt Versuche mit Platten, bestehend aus einbetonierten Walzprofilen.

Gemessen wurden in Balkenmitte:

1. Die Spannungen in den unteren Flanschen der Walzeisen;
2. Die Stauchung des Betons am Druckrand;
3. Die Dehnung des Betons am Zugrand;
4. Der Biegungspfeil.

Für die Berechnung macht der Verfasser folgende praktische Vorschläge:

Einbetonierte Walzträger dürfen berechnet werden wie Eisenbetonkonstruktionen. Die Zahl m (theoretisch das Verhältnis

$$m = \frac{E_a}{E_b} = \frac{\text{Elastizitätsmodul des Eisens}}{\text{Elastizitätsmodul des Betons}}) \text{ ist}$$

9, wenn der Beton in der Druckzone nicht umschnürt ist und 14, wenn er durch Umschnürung gesichert ist.

Die Anwendung von Querstäben, die durch den Steg der Eisen gehen, wird gefordert, da sie ein Gleiten des Betons in horizontaler Richtung längs der Träger verhindern.

Die Versuche haben gezeigt, daß die obige Methode genügend Sicherheit gegen die Rißbildung bietet, vorausgesetzt, daß die zulässigen Spannungen in den üblichen Grenzen gehalten werden. Die ersten Risse zeigten sich erst bei einer Last, die einer Eisenspannung von etwa 1400 kg/cm² entsprach.

Summary.

The author describes tests with plates consisting of rolled sections covered with concrete.

The following were measured at the middle of the beam:

1. Stress in the bottom flange of the metal;
2. Compression of the concrete on the compression edge;
3. Extension of the concrete on the tension edge;
4. Deflection.

For calculating, the author makes the following practical suggestions:

Concreted-in rolled beams must be calculated like reinforced concrete structures. The figure m (theoretically the ratio

$$m = \frac{E_a}{E_b} = \frac{\text{modulus of elasticity of the metal}}{\text{modulus of elasticity of the concrete}}\Big) \text{ is}$$

9, when the concrete is not spirally reinforced in the compression zone, and

14, when it is so reinforced.

The adoption of cross bars passing through the web of the beam is recommended, since they prevent the concrete sliding horizontally along the beam.

The tests have shown that the above method offers sufficient security against cracking, presuming that the permissible stresses are kept within the usual limits. The first cracks showed themselves only at a load corresponding to a stress of about 1400 kg/cm² in the metal.