

Constructions précontraintes en béton armé

Autor(en): **[s.n.]**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **10-11 (1942-1943)**

Heft 6

PDF erstellt am: **04.05.2018**

Persistenter Link: <http://doi.org/10.5169/seals-145182>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

BULLETIN DU CIMENT

JUIN 1942

10^{ème} ANNÉE

NUMÉRO 6

Constructions précontraintes en béton armé

But et fonction de la précontrainte dans le béton armé. Avantages procurés par l'emploi d'aciers à très haute résistance à la traction. Béton armé avec fils d'acier système Hoyer, essais de Freyssinet, procédé d'Emperger. Influences du retrait et de la déformation plastique différée (fluage) du béton sur l'intensité de la précontrainte.

Introduction.

Tout constructeur sait que le béton armé est un matériau mixte dans lequel le béton supporte les efforts de compression tandis que le fer ou l'acier résistent surtout aux efforts de traction, flexion ou cisaillement. La connaissance et l'emploi pratique de ces fonctions sont relativement récents; il n'y a guère plus de 50 à 60 ans (Wayss & Koenen en 1886) que le béton armé est fabriqué rationnellement. L'idée, simple en apparence, a permis ensuite à la construction en béton armé de prendre une extension considérable et elle en a assuré son développement futur (ouvrages modernes en béton armé; voir bulletin du ciment No. 18, 1941).

Quelques caractéristiques techniques du béton et de l'acier.

L'acier et le béton sont des matériaux dont l'aspect et le mode de fabrication ne se ressemblent pas. Ils n'ont de commun que le coefficient de dilatation linéaire qui est d'environ 0,00001, c'est à dire qu'un élément de béton ou d'acier d'un mètre de longueur s'allonge de $\frac{1}{100}$ de mm. pour une augmentation de température de 1° C. La construction mixte n'a donc rien à redouter des fluctuations de température.

2 Par contre, toutes les caractéristiques mécaniques de l'acier et du béton diffèrent considérablement. On a par exemple:

Résistance à la traction de l'acier: 3000 — 24 000 kg/cm²

Résistance à la traction du béton: $\sim$ 40 — 60 (80) kg/cm²

Résistance à la compression

du béton: $\sim$ 200 — 600 (1000) kg/cm²

Pour comprimer (raccourcir) un élément en béton de $\frac{1}{1000}$ de sa longueur, ou étirer (allonger) un élément d'acier dans la même proportion, il faut appliquer une tension spécifique de:

$\sim$ 250 — 450 kg/cm² pour le béton (selon sa composition et son âge) et

$\sim$ 2000 kg/cm² pour l'acier.

Lorsque l'acier est soumis à une forte sollicitation mécanique, atteignant par exemple 65 à 85 % de sa charge de rupture, il a la particularité remarquable de commencer à s'écouler tout en conservant encore dans cette phase d'écoulement une **capacité de déformation (travail)** considérable. Pour le béton, on n'observe pas nettement un tel écoulement lorsqu'il est sollicité d'une façon uni-axiale; il y a pratiquement coïncidence entre la limite d'écoulement et la phase de rupture.

Dans une poutre en béton armé soumise à la flexion, les fers et le béton de la zone tendue sont sollicités à la **traction** par suite de leur résistance intrinsèque et de l'adhérence entre le fer et le béton, tandis que la zone opposée est **comprimée**. Le poids de la poutre et la surcharge provoquent une flèche résultant de l'élasticité des matériaux. Lorsque la surcharge augmente, la flèche grandit aussi proportionnellement à l'allongement élastique de l'armature, ce qui fait apparaître les premières fissures. Dans cet état, la capacité portante de la poutre est encore considérable et les fissures se referment en général entièrement lorsque l'on supprime l'excès de surcharge qui les a provoquées et tout spécialement si les fers n'ont été sollicités qu'en dessous de la limite dite de proportionnalité.

Pour les aciers d'armature courants (AC. 37) qui ont un taux de travail relativement faible (1200 kg/cm²), les fissures n'apparaissent en général dans le béton armé que sous des charges supérieures à la surcharge de service. D'après les données ci-dessus, l'acier s'allongera théoriquement de 0,6 ‰ à ce taux de travail. La largeur totale de fissuration sur un tronçon de poutre de 1 m. de long devrait donc être de 0,6 mm. si, pendant la durée du durcissement ultérieur, le béton ne s'**adapte** pas largement par déformation plastique aux nouveaux systèmes de contrainte (vieillessement de la pellicule gélatineuse, cristallisation des combinaisons chimiques de la chaux, répartition des fissures capillaires).

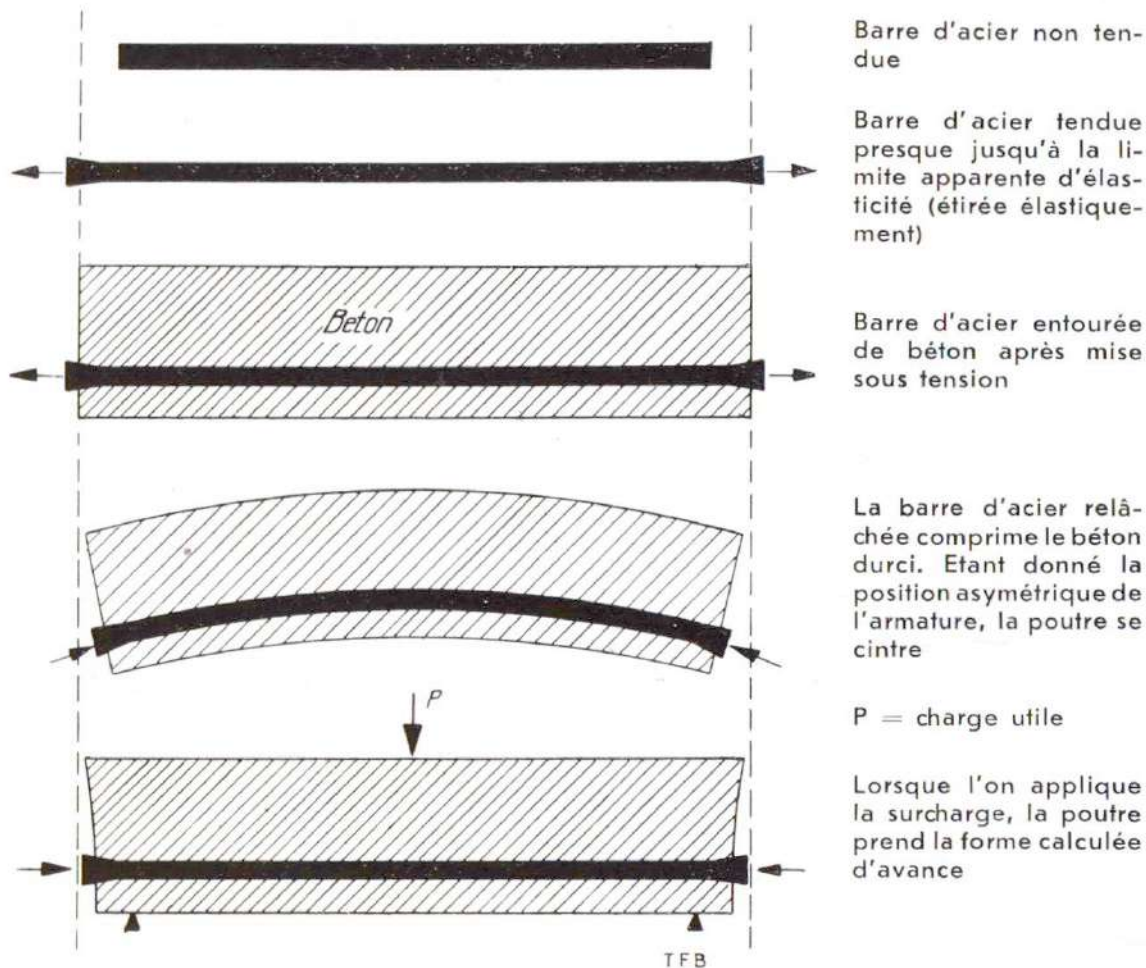


Fig. 1 Représentation schématique de la précontrainte. Les déformations élastiques de l'armature et du béton ont été fortement exagérées

But et fonction de la précontrainte dans le béton armé.

Il y a déjà longtemps que l'on étudie la possibilité de réduire la consommation du fer dans le béton armé par l'emploi d'aciers spéciaux d'armature. Aujourd'hui, ce problème est particulièrement urgent. Par des traitements mécaniques, thermiques ou chimiques, on peut effectivement améliorer considérablement la qualité de l'acier sans augmenter le coût de la fabrication d'une manière prohibitive. Mais comment peut-on utiliser les caractéristiques mécaniques très élevées des aciers spéciaux sans favoriser la fissuration dans le béton armé, puisque les allongements sont fonction des hautes tensions? Pour un taux de travail de $10,000 \text{ kg/cm}^2$, ce qui est pratiquement concevable, les allongements atteindraient en effet déjà 5 mm. par m^1 .

C'est ici que l'idée de la **précontrainte** des armatures d'acier qui paraît simple au premier abord, arrive à point. Elle consiste à mettre l'armature, avant bétonnage, sous une tension à peu près égale à celle qu'elle aura lorsqu'elle sera chargée. Si les barres d'acier, préalablement tendues de la sorte, sont enrobées de béton et ensuite relâchées après le durcissement complet de celui-ci, elles auront alors la tendance toute naturelle de se raccourcir **comme le ferait un ressort**; elles exerceront donc sur le béton un effort de compression. Cet effort provoquera un raccour-

4 cisement élastique du béton qui sera **sollicité à la compression même dans la zone tendue.**

La précontrainte de l'armature présente les deux avantages essentiels:

- a) d'empêcher la fissuration et
- b) d'économiser le fer en utilisant des aciers extra-spéciaux qui permettent une diminution des sections et des poids.

Avantages procurés par les aciers à très haute résistance.

Les premiers essais avec des armatures précontraintes, nous ramènent de 50 ans en arrière; ils échouèrent pour trois raisons principales:

- 1) Emploi d'aciers à limite apparente d'élasticité relativement basse et faible précontrainte.
- 2) Rétraction de la précontrainte par suite de l'influence du retrait et du fluage du béton.
- 3) Dispositifs trop coûteux pour engendrer les précontraintes.

C'est surtout Hoyer (voir bibliographie) qui a fait nettement ressortir ce que l'on pouvait retirer de l'emploi d'aciers à résistances particulièrement élevées. Les armatures doivent pouvoir être tendues de telle façon que malgré la déformation plastique et permanente du béton (fluage et retrait), la majeure partie de la précontrainte soit conservée. Cette condition n'est remplie que par les aciers à limite apparente d'élasticité particulièrement élevée et pour une précontrainte atteignant presque la limite.

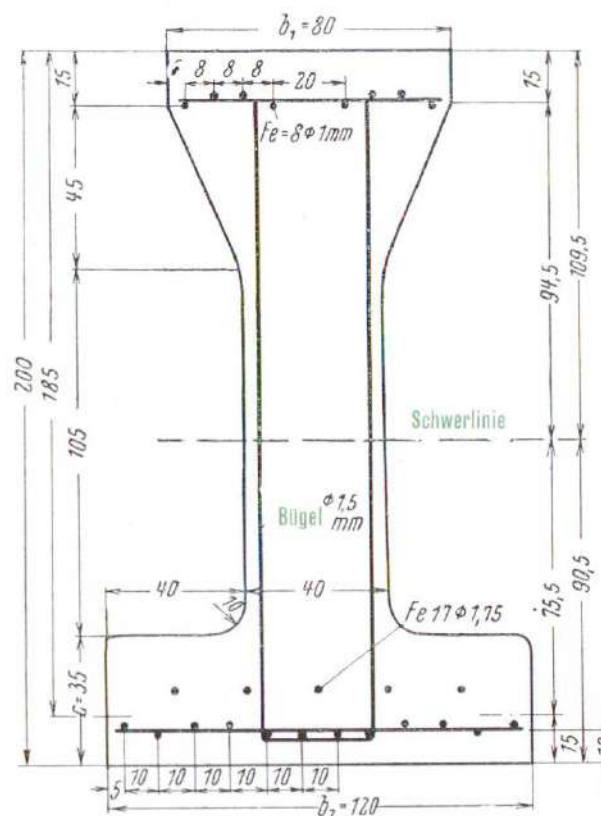


Fig. 2 Section d'une poutre Hoyer armée de fils d'acier précontraints (de Hoyer, voir bibl.)

Betonquerschnitt $F = 124 \text{ cm}^2$ $J = 5510 \text{ cm}^4$ $W_1 = 504 \text{ cm}^3$ $W_2 = 610 \text{ cm}^3$
Gewicht $g = 30 \text{ kg/m}$ TFB

5 De ces nouvelles données, résulte un **bouleversement radical du jeu des forces dans le béton**. Dans la zone tendue d'une poutre, le béton n'est plus sollicité à la traction mais à la compression. La section est donc devenue « homogène » puisqu'elle est partout comprimée. Il ne peut plus se produire de fissures de traction dans la poutre. On peut régler l'intensité de la précontrainte pour que cet état existe non seulement en-dessous des surcharges mais encore bien au-dessus.

Les aciers à très haute résistance sont naturellement plus chers que les fers normaux d'armature. Freyssinet a toutefois démontré que le rapport prix: résistance est d'autant plus favorable que la qualité de l'acier est meilleure. Bien qu'il demande une dépense supérieure de travail (meilleure mise en œuvre du béton, pose plus soignée et tension de l'armature, etc.), l'emploi d'un acier à très haute résistance revient relativement moins cher. Mais ce qui est surtout important aujourd'hui, c'est qu'on s'en tire avec un poids de métal beaucoup plus faible.

Béton armé avec fils d'acier.

L'idée d'employer des fils d'acier précontraints à haute résistance est vieille de plusieurs décades, mais ce sont au fond les travaux de Hoyer (voir bibliographie) et la pénurie actuelle de métal qui l'ont de nouveau remise à l'honneur dans le monde technique.

Hoyer utilise pour ses poutres et planches en béton des cordes de piano d'environ 2 mm. de diamètre, elles sont tendues à 13,500 kg/cm² ou davantage et sont ensuite entourées de béton. Dans la poutre complètement durcie, la contrainte de l'acier se réduit à environ 90 % de sa valeur primitive, donc de 12 000 kg/cm² par suite du fluage et du retrait; cette valeur atteint encore 10 fois celle du taux de travail couramment admis pour l'acier 37. La figure 2 montre la section caractéristique d'une poutre Hoyer. Le diamètre des fils étant très petit, la surface d'adhésion entre le béton et l'acier est grande par rapport à la section totale des fils, de sorte qu'un ancrage spécial de ceux-ci n'est pas nécessaire; on peut même couper les poutres Hoyer à n'importe quel endroit; la précontrainte de l'armature n'en souffre pas, sauf aux extrémités (sur environ 50 cm.). Ce principe, connu de notre compatriote Wettstein, a déjà été appliqué par lui depuis plusieurs décades.

Essais de Freyssinet.

Freyssinet a aussi énergiquement propagé l'idée de la précontrainte. Des essais effectués avec des poutres de grande portée (33 m. et davantage) ont prouvé la justesse et la possibilité d'application pratique de ses calculs. Il emploie des aciers à très haute résistance ainsi que des bétons de qualité tout à fait supérieure.

- 6 Contrairement à Hoyer, Freyssinet se sert d'armatures de plus gros diamètre qui, pour des raisons de sécurité, nécessitent un ancrage spécial. Ces poutres ont été chargées jusqu'à la rupture; elles ont donné des résultats très satisfaisants et ont déjà été utilisées avec succès dans de grands ouvrages tels que halles, ponts, etc.

Procédé d'Emperger.

L'ancien champion du béton armé, Oberbaurat Dr. h. c. Emperger, décédé récemment, a indiqué une combinaison d'armatures précontraintes et « lâches ». Les parties précontraintes de l'armature servent en premier lieu à retarder la fissuration. Grâce à un dispositif ingénieux de tension, l'armature ne reçoit qu'une précontrainte relativement faible. Le procédé est économique et applicable dans de nombreux cas. Emperger renonce cependant délibérément à une économie d'acier pour avoir une plus grande sécurité.

Nos Instituts de recherche ont également étudié à fond les problèmes du béton précontraint. Une commission de la S.I.A. dirigée par le prof. Dr. Ing. M. Ritter exécute un vaste programme d'essais avec des poutres en béton armé précontraintes. Le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux à Zurich, l'École d'ingénieurs à Lausanne, de nombreux ingénieurs et laboratoires industriels s'occu-

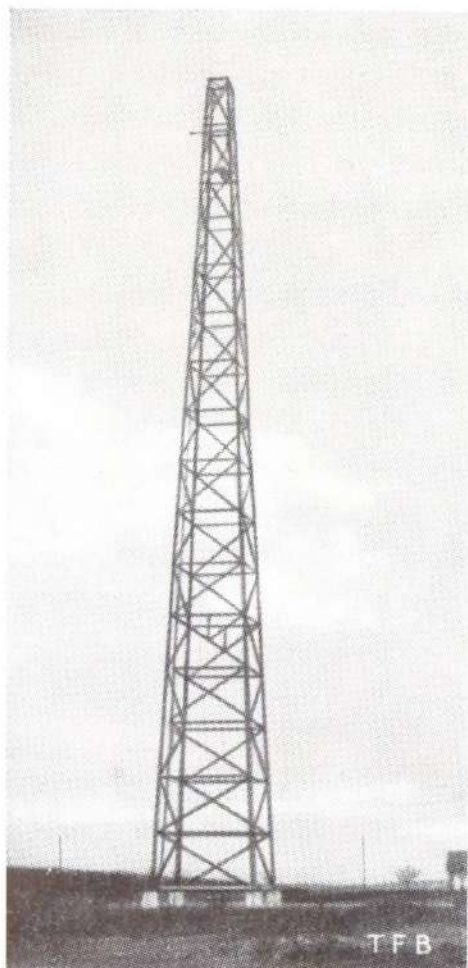


Fig. 3 Charpant en treillis d'une tour avec éléments en béton armé précontraints (De „Beton und Eisen", 1940, cailliers 11 et 12)

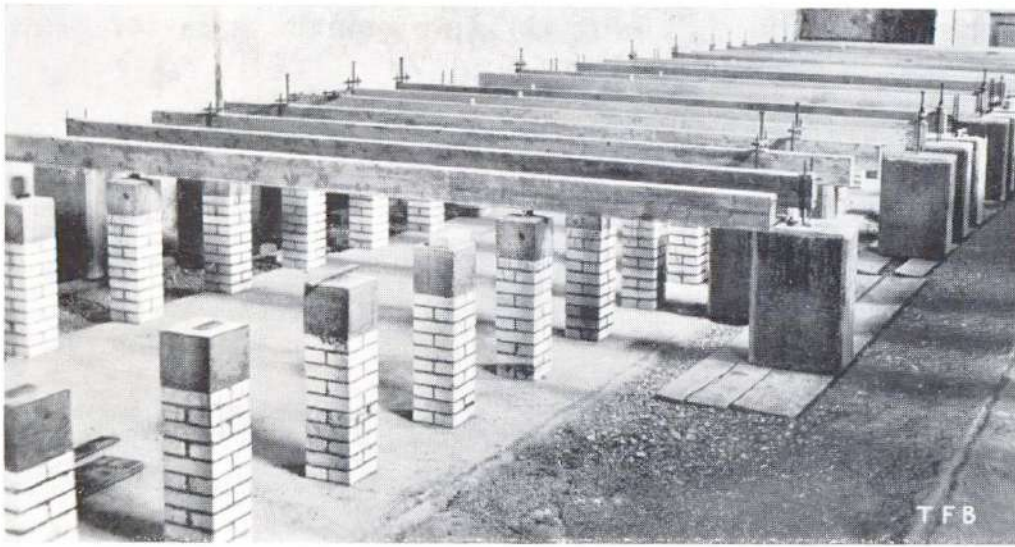


Fig. 4 Poutres d'essais en béton armé précontraint. Installation d'essais de la commission de la S.I.A. pour le béton précontraint à Schinznach les Bains

pent aussi activement de l'essai et du perfectionnement des divers procédés anciens et nouveaux. Le béton précontraint n'est pas qu'un apanage du béton armé dans ses applications générales, mais il s'affirme aussi dans diverses branches spéciales, telles que la fabrication des tuyaux de ciment, des poutres en béton, des traverses de chemin de fer, etc. . . . La précontrainte du béton révolutionnera l'art de bâtir. On construira des ouvrages hardis et d'une conception nouvelle en utilisant les matériaux avec le meilleur rendement.

Influences du retrait et de la déformation plastique différée du béton sur l'intensité de la précontrainte.

Les sollicitations des matériaux ayant changé de caractère, il a fallu vouer une attention plus sévère aux qualités de ceux-ci. Si le retrait et la déformation plastique différée (fluage ou « rampe-ment » — Kriechen) du béton n'est pas spécialement d'importance dans le béton ordinaire (ils sont même favorables dans un certain sens), ces propriétés sont par contre désavantageuses dans le béton précontraint. On est donc obligé de fabriquer un béton qui cède aussi peu que possible sous de gros efforts de compression (jusqu'à 200 kg/cm^2 et au-dessus). Des essais ont démontré que le béton le plus résistant, tel qu'on l'obtient par les procédés de vibration, offre la meilleure garantie contre le fluage. Tandis qu'un béton mou de $300\text{--}400 \text{ kg/cm}^2$ de résistance à l'écrasement, soumis à une compression permanente de 100 kg/cm^2 , se raccourcit en 2 ans jusqu'à $2\frac{1}{2} \text{ mm.}$ par mètre, cette valeur s'abaisse à 1 mm. par mètre pour un béton vibré de 600 kg/cm^2 lorsqu'il est sollicité dans les mêmes conditions. En outre, si l'effort permanent de compression n'est pas appliqué sitôt après le premier durcissement, mais seulement après un certain temps, ce

- 8 raccourcissement s'abaisse encore jusqu'à $\frac{1}{2}$ mm. par mètre. (Les chiffres indiqués représentent la somme des déformations provoquées par le retrait et le fluage.)

Bibliographie:

- Vorspannung im Eisenbetonbau, 80 pages, éditeur W. Ernst & fils, 1940.
- Freyssinet: Une révolution dans les techniques du béton. Libr. de l'enseignement technique, 1936.
- Freyssinet: Les constructions précontraintes. Travaux, cahier de novembre 1941.
- E. Hoyer: Der Stahlsaitenbeton, éditeur O. Elsner, 1939.
- K. Kammüller: Problèmes actuels de la construction en béton et en béton armé. Beton und Eisen 1938, cahier No. 6.
- v. Emperger: Armatures supplémentaires précontraintes dans les charpentes en béton armé. Revue polytechnique suisse 1939, cahier No. 13.
- Prof. A. Paris: Mise en tension préalable des armatures du béton armé. Lausanne, Rouge et Co., S. A., 1936.
- Glanville: Building Research 1930, cahiers techniques 11 et 12.
- Ing. P. Haller: Retrait et fluage du mortier et du béton. Rapport-discussion du L.F.E.M. No. 124.