

La contribution de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) au développement du béton précontraint

Autor(en): **Favre, Renaud**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 14

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73666>

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.

with a long-term loading. The main parameters for the investigations into bending behavior were: degree of prestress, shape of cross-section, percentage of reinforcement in the tension zone, diameter and cover of the reinforcement. For shear behavior the main parameters were: type, diameter, spacing and amount of shear reinforcement, size and inclination of the prestressing cables. The short- and long-term loaded lightweight concrete beams were duplicates of the corresponding concrete beams. Here, the influence of the particular concrete qualities was of primary interest.

The obtained *results* can be summarized as follows.

Bending behavior: The ultimate moment of partially prestressed concrete and lightweight concrete beams can be calculated on the basis of normal assumptions. The yield moment can be determined adequately with working stress design methods. The crack behavior of the partially prestressed concrete beams is significantly better than that of corresponding normally reinforced concrete beams. Under serviceability conditions the crack widths are for normal detailing, smaller than 0.2 mm. The deflections are significantly smaller than those of corresponding reinforced beams. In the uncracked region the deflections of the lightweight concrete beams are approximately 40% larger than those of the corresponding normal concrete beams. After the beginning of cracking, this difference for a greater part disappeared.

Shear behavior: The yield load of the shear reinforcement can be predicted with the Code SIA 162, Specification 17. The ultimate shear load can be determined with Specification 34 of the same

Code with sufficient accuracy. The shear crack behavior under service loads is totally normal; the maximum crack width remains for detailing, smaller than 0.2 mm.

This research project has been terminated.

Torsion

The aim of this research project consisted in the *explanation of the failure behavior of reinforced and prestressed concrete beams under torsion and combined torsion, bending and shear.*

The experimental tests included 33 beams of which three were prestressed. The main parameters were cross-sectional shape (full, box, open, rectangular, T-shaped), longitudinal and stirrup reinforcement, the reinforcement arrangement, and prestress. The tests of the prestressed beams had as an aim the establishment of the influence of prestress on the carrying capacity and behavior of the beams.

The most important *result* of this research project was the *development of a failure model.* This model furnishes values in fair agreement with the test results and also allows a safe and economic design of torsionally loaded structures. Furthermore it was established that for the calculation of the ultimate strength the prestressed steel can be treated like a normal reinforcement with an equivalent yield strength.

No further work on the project is planned.

Adresse des Verfassers: R. Cafilisch, dipl. Bauing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

La contribution de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) au développement du béton précontraint

Par Renaud Favre, Lausanne

Bref aperçu historique de l'École

En 1853, deux professeurs de l'Académie de Lausanne et trois ingénieurs, qui avaient fait leurs études à Paris, fondèrent sur une base privée l'École Spéciale de Lausanne. Celle-ci fut incorporée à l'Académie de Lausanne en 1869. En 1890, l'Académie devient l'Université de Lausanne et la Faculté technique devient une section de la Faculté des Sciences, sous le nom d'École d'Ingénieurs. En 1946, ensemble avec l'École d'architecture, est fondée l'École Polytechnique de l'Université de Lausanne (EPUL), établissement officiel du Canton de Vaud, autonome dans le cadre de l'Université.

Etant donné que la charge d'une telle École dépasse de plus en plus les moyens d'un canton et que de grands investissements sont inévitables si l'on veut maintenir le haut niveau de l'École, celle-ci change de statut en 1969 et devient l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Cela signifie que, dès cette date, l'EPFL est financée par la Confédération Helvétique au même titre que la «Eidgenössische Technische Hochschule» de Zürich (ETHZ). Il existe donc actuellement deux Écoles Polytechniques Fédérales, l'une à Zurich, l'autre à Lausanne. L'organisation de ces deux Écoles ainsi que l'enseignement qui y est offert sont très semblables; la différence essentielle réside dans la langue.

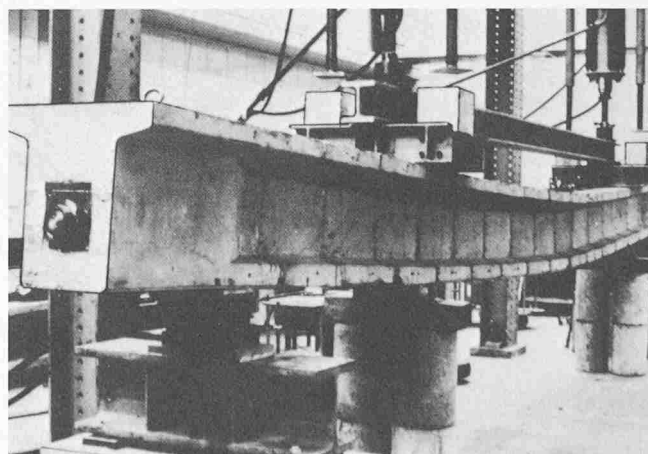
Activité de l'Institut du Béton Armé et Précontraint (IBAP)

Cet institut est rattaché au Département de Génie Civil et comprend une vingtaine de collaborateurs. Il est dirigé par les Professeurs R. Favre et R. Walther, en collaboration avec le Professeur J.-P. Delisle, et dispose de deux planchers d'essais. L'un de ces planchers avait été créé en 1969 par feu le Professeur F. Panchaud et se trouve dans une halle entièrement climatisée, attenante au Département des Matériaux (fig. 1). L'autre est en construction et est situé dans les nouveaux locaux de L'EPFL à Ecublens (fig. 2).

L'activité de l'Institut du Béton Armé et Précontraint est orientée aussi bien vers des *recherches de base* que vers des *recherches appliquées.* Celles-ci répondent à des demandes de l'industrie de la construction et comprennent des essais sur modèles de grandes dimensions aussi bien dans le domaine des bâtiments que dans celui des ponts et des centrales nucléaires. Il s'agit presque toujours de structures précontraintes.

La recherche de base est principalement axée vers l'étude de la qualité des ouvrages, c'est-à-dire le comportement à l'état d'utilisation. A cet effet, une vaste recherche a été entreprise pour étudier les *déformations réelles de longue durée de poutres et dalles en béton coulé en place, avec ou sans précontrainte,* ainsi que le *comportement de longue durée de*

Fig. 1. Essai de poutre à voussoirs
Test of segmental beam



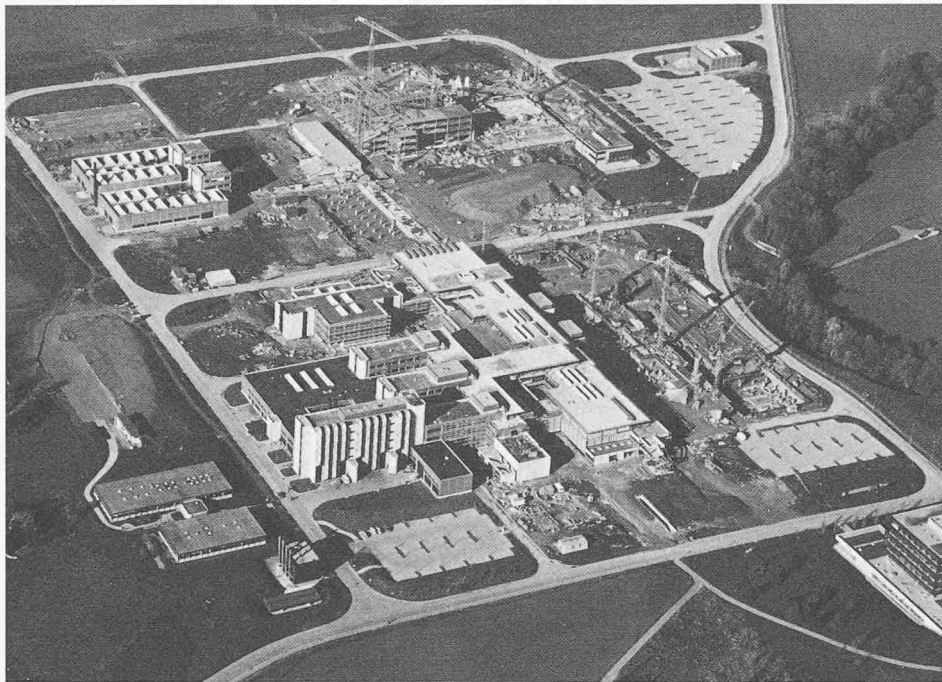
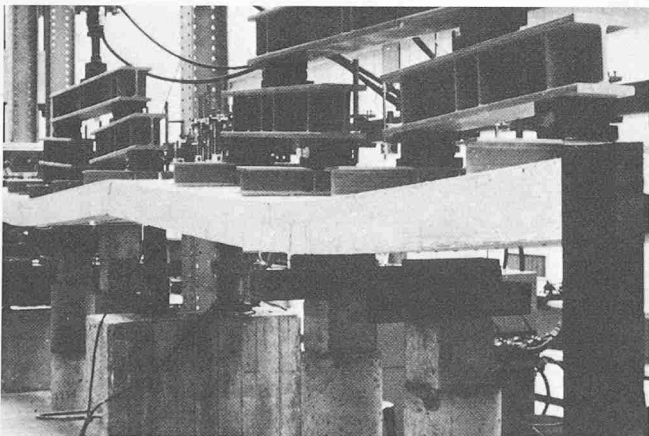


Fig. 2. Chantier de l'EPFL à Ecublens
Building site of the EPFL at Ecublens-Lausanne

Fig. 3. Vue de l'installation d'essai
View of the test installation



poutres préfabriquées rendues monolithiques après la pose. La redistribution des moments, la fissuration et l'évolution des déformations y sont étudiées sur des modèles de grandes dimensions.

Quelques essais récents ou en cours

Etude expérimentale du comportement des dalles continues en béton armé et précontraint dimensionnées selon la théorie d'élasticité et de plasticité

Depuis l'entrée en vigueur de la *Directive 34* de la norme *SIA 162* (1976), l'application de la théorie de plasticité pour le dimensionnement des ouvrages en béton armé et précontraint est autorisée. C'est pourquoi on a effectué l'étude susmentionnée afin d'obtenir des données expérimentales de base sur le comportement des dalles en béton armé et précontraint (capacité de rotation, redistribution des moments, ouvertures des fissures, grandeurs des flèches). Sept dalles (bandes de dalles) continues à deux travées, de dimensions et de charges ultimes égales, ont été choisies (fig. 3). Trois dalles furent dimensionnées selon la théorie d'élasticité ($EI = \text{const.}$) et quatre selon la théorie de plasticité, en

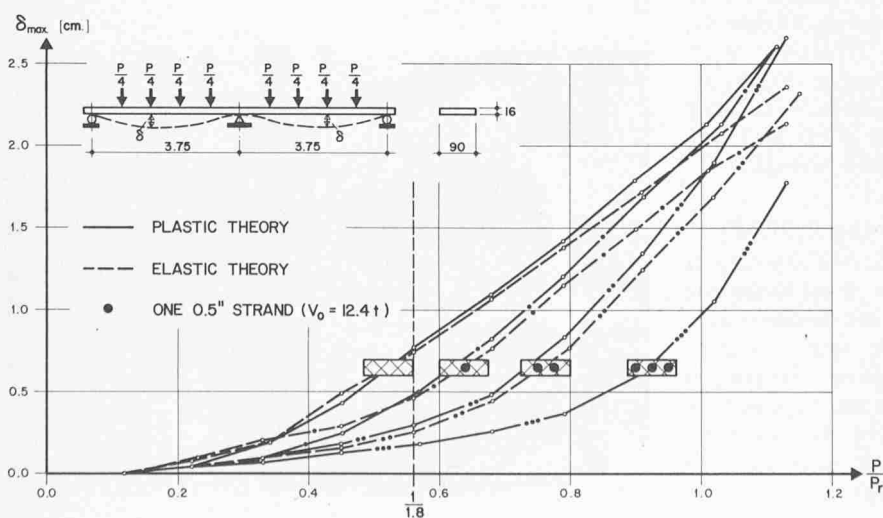


Fig. 4. Flèche maximale δ_{\max} en fonction de P/Pr
Maximal deflection δ_{\max} in function of P/Pr

admettant (dans l'état de rupture) un «transfert» des efforts sur appui de 30%. Les deux principaux paramètres ont été le degré de couverture du moment sur appui η_{appui} et le degré de précontrainte λ .

Les dalles dimensionnées selon la théorie de plasticité se sont comportées de manière très satisfaisante aussi bien dans l'état de service que dans l'état de rupture. Dans l'état de service, l'ouverture maximale des fissures n'a pas dépassé 0,3 mm dans les dalles en béton armé et 0,16 mm dans les dalles précontraintes. On a pu constater qu'une faible précontrainte limite fortement l'ouverture maximale des fissures et les flèches (fig. 4).

Essais de poutres à voussoirs préfabriqués

Dès 1974, une recherche théorique et expérimentale a été entreprise pour étudier la fissuration de poutres précontraintes réalisée à l'aide de voussoirs préfabriqués. Ce type de construction, qui a déjà été appliqué des centaines de fois dans l'exécution de ponts, bâtiments, halles, stades, etc., n'a plus besoin d'être présenté ici. Le but de l'étude est d'examiner le comportement à l'état de service de telles constructions, en particulier de contrôler les critères de vérification des sections des joints. Celles-ci sont en effet généralement calculées de telle sorte que sous l'effet d'une combinaison défavorable de surcharge, il n'y ait pas de contraintes de traction dans le joint. Or, nous pouvons d'ores et déjà affirmer que ce critère doit être revu. Il est beaucoup plus important pour la qualité de l'ouvrage que celui-ci se comporte aussi favorablement que possible sous l'effet des charges et des phénomènes de longue durée (poids propre, surcharge permanente, précontrainte, fluage, retrait, variation de température) que d'interdire une décompression du joint sous l'effet momentané de combinaisons de charges utiles.

Les essais en laboratoire ont porté sur 3 poutres de 8,0 m de portée, soumis à des cycles de 2 000 000 de charges (fig. 1). En outre, on a procédé à l'essai de 7 tirants comprenant un joint au milieu entre deux éléments préfabriqués qui les composent. Ces tirants sont précontraints par un ou plusieurs câbles de précontrainte de types différents (torons, fils, barres). Pour autant que ces câbles soient convenablement injectés, ils constituent une armature limitant l'ouverture de la fissure dans le joint lorsqu'il y a décompression. Ces fissures se referment d'ailleurs dès que disparaît la décompression, c'est-à-dire dès que la surcharge momentanée qui engendre cette décompression n'agit plus.

Essais d'un caisson de réacteur à cavités multiples

Dans le cadre d'une étude germano-suisse pour le développement de centrales nucléaires équipées d'un réacteur à haute température avec turbine à hélium fonctionnant en cycle direct (projet HHT)¹, le bureau Bonnard & Gardel nous a chargé d'exécuter un essai sur modèle à l'échelle 1/20.

Ce modèle de forme cylindrique avait une hauteur de 195 cm et un diamètre de 240 cm, correspondant à 39 m resp. 48 m dans la nature. Il a été réalisé au moyen de microbéton

¹) Cette étude résulte d'un accord entre la République Fédérale d'Allemagne, l'Etat de Rhénanie du Nord-Westphalie et la Confédération Helvétique. Elle est conduite en collaboration par les maisons Brown-Boveri - Sulzer, l'Institut Fédéral de Recherches en matière de réacteurs, Hochtemperaturreaktorbau GmbH, Kernforschungsanlage Jülich GmbH et Nukem GmbH.

²) voir - «Essais sur modèle d'un caisson en béton précontraint à cavités multiples», de R. Favre, M. Koprna, J.-P. Jaccoud, Volume 36-II des Mémoires de l'AIPC;

- «Comportement du modèle d'un caisson de réacteur à cavités multiples», mêmes auteurs, Publication No 161 de l'EPFL.

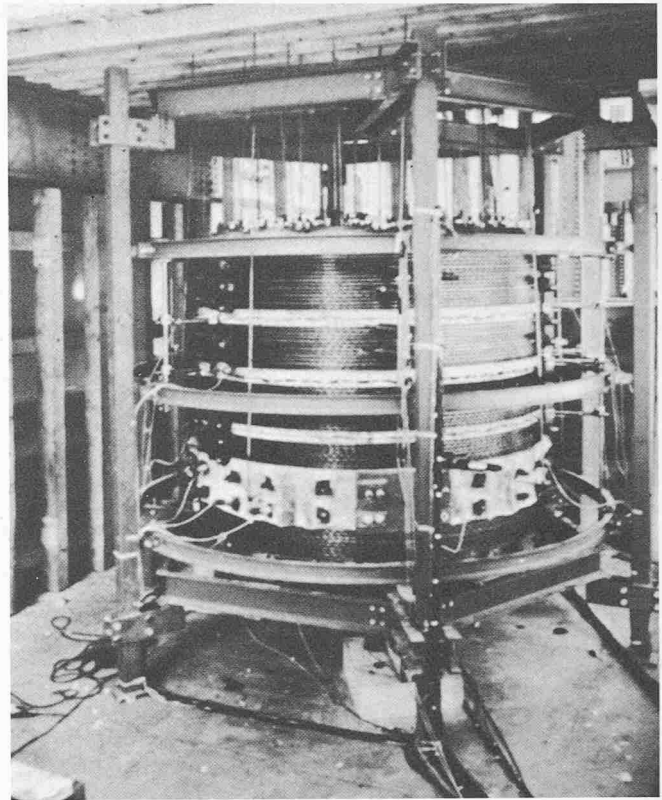
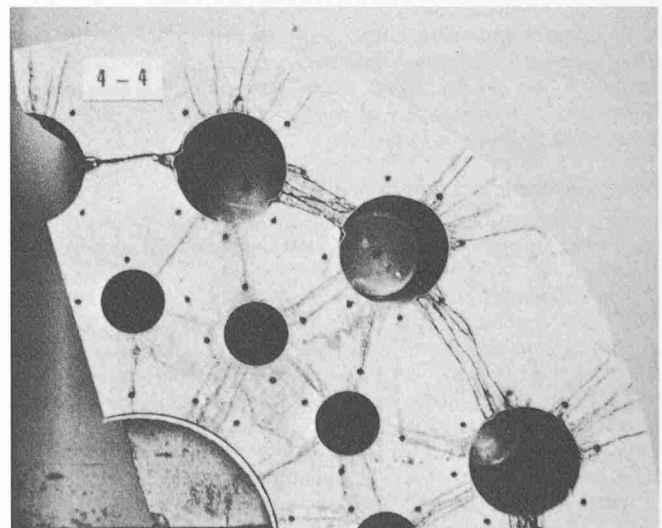


Fig. 5. Vue du modèle du caisson de réacteur
General view of the model with measuring devices

(agrégats ≤ 6 mm). La précontrainte tridimensionnelle est constituée d'un triple réseau de câbles verticaux, annulaires et horizontaux. Les câbles, au nombre de 254, étaient des monotorons non injectés.² Le but essentiel de ces essais était de déterminer le schéma de ruine et le coefficient de sécurité à la rupture du caisson, ainsi que la limite de son comportement élastique et réversible. Le modèle, réalisé en 1975, fut analysé sous charge de pression intérieure uniforme dans les cavités et croissante jusqu'à la rupture. Un comportement globalement élastique a pu être constaté jusqu'à une pression intérieure de l'ordre de 120 à 130 kg/cm², correspondant à environ deux fois la pression maximale de service de 65 kg/cm². Les essais de longue durée (maintien de la pres-

Fig. 6. Caisson scié après rupture
Partial horizontal section half-way up the model



sion) n'ont fait apparaître aucun phénomène particulier. La pression atteinte à la rupture fut égale à 240 kg/cm². Elle se manifesta par la rupture de la peau d'étanchéité de certaines cavités périphériques et par la rupture d'un câble annulaire (fig. 5 et 6).

Pour un grand nombre des câbles annulaires, dans la partie centrale du fût, ainsi que pour les câbles verticaux

situés autour des cavités périphériques, la limite élastique théorique $\sigma_{0,2}$ fut atteinte, voire même dépassée.

Cette étude se poursuit actuellement par des essais étendus relatifs au comportement des peaux d'étanchéité ancrées dans le béton chaud et soumises à une compression importante.

The contribution of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne on development of prestressed concrete

Brief historical summary of the institute

In 1853, two professors of the *Academy of Lausanne* and three engineers who had studied in *Paris* founded the «Special Institute of Lausanne» on a private basis. It was incorporated in the Academy of Lausanne in 1869. In 1890 the Academy became the «*University of Lausanne*» and the *technical faculty* became part of the *faculty of science*, under the name «*Institute of Engineering*». In 1946, together with the *Institute of Architecture*, was founded the «*Technical Institute of the University of Lausanne*» (EPUL), official establishment of the county Vaud and autonomous within the university.

As the charge of such an Institute is beyond the means of a county, as large investments are ineluctable if the high standard of the Institute is to be maintained, it changed status in 1969 and became the «*Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne*» (EPFL). That means, as from this date, the EPFL is financed by the Swiss Confederation, in the same way as the «*Eidgenössische Technische Hochschule of Zürich*» (ETHZ). Consequently, there are two «*Swiss Federal Institutes of Technology*», one in Zürich, the other in Lausanne. The organization and teaching of these two Institutes are very similar. The main difference lies in the language.

Activity of the Institute of Reinforced and Prestressed Concrete (IBAP)

This Institute is attached to the *Department of Civil Engineering* and includes about twenty collaborators. It is directed by Professors *R. Favre* and *R. Walther* with the collaboration of Professor *J.-P. Delisle* and dispose of two test slabs. One of these test slabs was created in 1969 by Professor *F. Panchaud* in an entirely air-conditioned hall, adjoining the *Department of Materials* (Fig. 1). The other is under construction and situated on the new premises of the EPF at *Ecublens* (Fig. 2).

The activity of the Institute of Reinforced and Prestressed Concrete is oriented towards both *basic research* and *practical research*. These comply with the demands of the construction industry and include tests on large sized models in the fields of the building trade as well as bridges and nuclear power plants. They nearly always concern prestressed structures. The basic research is directed mainly to study the quality of the works, meaning its behaviour, when in condition of service. For this purpose much research has been undertaken to study the *real deformation at long-term of concrete beams and slabs cast into place, prestressed or not*, as well as on *precast beams, made monolithic after posing*. The *redistribution moments*, the *cracking and evolution of deformation* are studied on large sized models.

Some recent tests and tests in course

Experimental study of the behaviour of reinforced and prestressed-continuous concrete slabs, measured after the elasticity and plasticity theory

Since the *Directive 34 of the norm SIA 162 (1976)* came into force, the application of the theory of plasticity for detailing reinforced and prestressed concrete works is authorized. This is why we made a study of the above-mentioned, so as to obtain basic experimental data on the behaviour of reinforced and prestressed concrete slabs (rotation capacity, redistribution of moments, opening of cracks, size of deflection). Seven continuous slabs (slab strips) of two spans in dimension and equal ultimate charges, were chosen (Fig. 3). Three slabs were detailed according to the elasticity theory ($EI = \text{const.}$) and four according to the

plasticity theory in admitting (in the state of rupture) a transfer of the efforts on support of 30%. The two main parameters have been, first of all, the quantity of steel necessary to cover the bending moment at the intermediate support section, secondly, the degree of prestressing λ .

The slabs detailed according to the plasticity theory behaved in a very satisfactory manner, both in the state of service and state of rupture. In the state of service the largest crack did not exceed 0,3 mm in the reinforced concrete slabs and 0,16 mm in the prestressed concrete slabs. We were able to establish that weak prestressing highly limits larger openings in the cracks and deflections (Fig. 4).

Tests on segmental precast beams

Since 1974, theoretical and experimental research has been undertaken to study the *cracking of prestressed beams with the aid of segmental precast units*. This type of construction, which has already been carried out hundreds of times in the execution of bridges, buildings, halls, stadiums, etc, does not need to be introduced here. The objective of this study is to examine the behaviour in the state of service of such constructions, particularly to control the criteria of checking the sections of the joints. These are generally calculated in such a way that under the effect of an unfavorable combination of overload, there is no stress of traction in the joint. Now, we can affirm that the criteria *must be revised*. It is far more important for the quality of the works to behave as favourable as possible under the effect of charges and phenomena at long term (proper weight, permanent overload, prestressing, creep, shrinkage, temperature variations) than to forbid a decompression of the joint under momentary effects of combinations of the live load.

The laboratory tests were undertaken on 3 beams of 8 m in length, submitted to 2000000 cycles of load (Fig. 1). Furthermore, we proceeded to test 7 tiebeams including a joint in the middle between the two precast elements. These tiebeams are prestressed with one or several prestressing cables of different types (strands, wires, thread-bars). As long as the cables are well injected, they serve as reinforcement and limit the opening of cracks in the joint when there is decompression. These cracks close however, as soon as the decompression disappears, that is to say, as soon as the momentary overcharge which develops the decompression, stops working.

Tests on a nuclear pressure vessel with multiple cavities

In the framework of a study between the *Federal Republic of Germany* and *Switzerland* for development in *nuclear power plants* equipped with a *high temperature reactor with a helium turbine functioning in direct cycle* (Project HHT)¹, the Office of *Bonnard & Gardel* charged us to undertake tests on a model of 1/20 in scale.

This model of cylindrical form was 195 cm high and 240 cm in diameter, corresponding to 39 m resp. 48 m in actual size. The model was made of microconcrete (the aggregates not exceeding 6 mm). It was prestressed in three dimensions by means of a triple

¹ These studies are the result of an agreement among the Republic of West-Germany, the State of North-Rhineland-Westphalia and Switzerland. They were conducted with the collaboration of the companies: *Brown-Boveri, Sulzer, the Swiss Federal Institute for Reactor Research, Hochtemperaturreaktorbau GmbH, Kernforschungsanlage Jülich GmbH and Nukem GmbH.*