

# Calcul et essai de charge d'un plancher à nervures en diagonale de grande portée

Autor(en): **Soutter, M.P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **76 (1950)**

Heft 24

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-57452>

## **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 TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 20 francs  
Etranger : 25 francs

### Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 17 francs  
Etranger : 22 francs

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie

**F. ROUGE & Cie**  
à Lausanne

Prix du numéro :  
1 fr. 25

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. — Membres : *Fribourg* : MM. P. JOYE, professeur; E. LATELTIN, architecte — *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur; E. D'OKOLSKI, architecte; A. PARIS, ingénieur; CH. THÉVENAZ, architecte. *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur; CL. GROSGURIN, architecte; E. MARTIN, architecte; V. ROCHAT, ingénieur. — *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte; G. FURTER, ingénieur; R. GUYE, ingénieur; *Valais* : MM. J. DUBUIS, ingénieur; D. BURGNER, architecte.

Rédaction : D. BONNARD, ingénieur. Case postale Chauderon 475, LAUSANNE

## TARIF DES ANNONCES

Le millimètre  
(larg. 47 mm) 20 cts  
Réclames : 60 cts le mm  
(largeur 95 mm)  
Rabais pour annonces  
répétées

## ANNONCES SUISSES S.A.

5, Rue Centrale  
Tél. 22 33 26  
LAUSANNE  
et Succursales



## CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président; M. BRIDEL; G. EPITAUX, architecte; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE: *Calcul et essai de charge d'un plancher à nervures en diagonale de grande portée*, par M. P. SOUTTER, ingénieur à Zurich. — CORRESPONDANCE: *Les concours publics d'architecture*. — LES CONGRÈS: *Union internationale des architectes; Congrès international du béton précontraint*. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT.

## Calcul et essai de charge d'un plancher à nervures en diagonale de grande portée

par M. P. SOUTTER, ingénieur à Zurich

Ce plancher qui forme un quadrilatère voisin d'un carré recouvre un grand garage à l'intérieur d'un groupe de trois bâtiments en fer à cheval, le « Bärenhof », à l'usage d'établissement bancaire et de bureaux, construit sur les plans de l'architecte H. Weideli de 1946 à 1948, à Zurich. Ces trois bâtiments qui forment un tout architectural possèdent deux étages en sous-sol dans la nappe phréatique. Le sol du garage pénètre lui-même dans la nappe phréatique. Les trois corps de bâtiments et le garage sont entièrement séparés jusque sous les fondations par des joints de dilatation. Le plancher sur garage ne devant pas gêner les dilatations respectives des trois bâtiments, il a été ancré dans l'un d'eux et il est appuyé librement sur les deux autres. Le quatrième côté du plancher est bordé par une poutre reposant sur deux piliers. La prolongation du plancher au-delà de cette poutre par une dalle mince est sans influence pratique sur le plancher lui-même.

Les exigences d'exploitation du garage ont conduit à supprimer tout appui intermédiaire du plancher. Il fallait donc couvrir une surface d'environ 22 sur 24 m sans appuis intermédiaires et sans encastrement des côtés. D'autre part, la hauteur à disposition pour le garage était très limitée, il était essentiel de réduire au minimum l'épaisseur de la construction. Le plancher à nervures en diagonale répondait dans ce cas particulièrement bien à ces conditions. Cette disposition permet, grâce à la rigidité des coins dans lesquels sont encastées les nervures en diagonale de portée maximum, d'obtenir une répartition et une égalisation particulièrement favorable des moments sur toute la longueur des nervures.

Ce système a permis, dans ce cas, de réduire les moments maxima positifs d'environ 50 % par rapport au plancher normal avec nervures parallèles aux côtés. Une telle solution a en outre conduit à une réduction de la hauteur de construction de 90 à 70 cm par rapport au plancher classique; c'est en cela que réside le principal avantage. La hauteur est égale au  $\frac{1}{31}$  de la plus petite portée. La réduction des moments

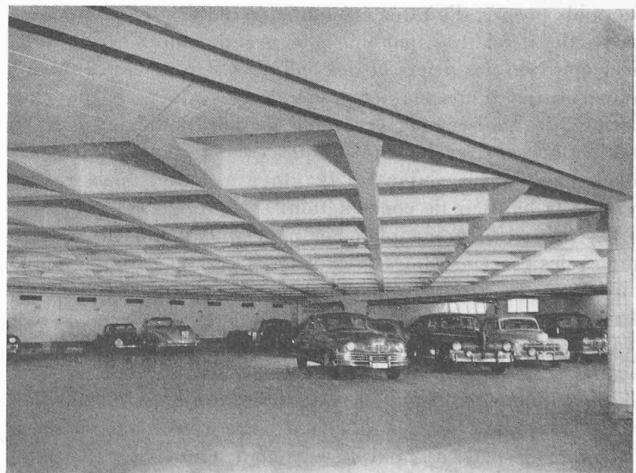


Fig. 1. — Vue de la face inférieure du plancher.

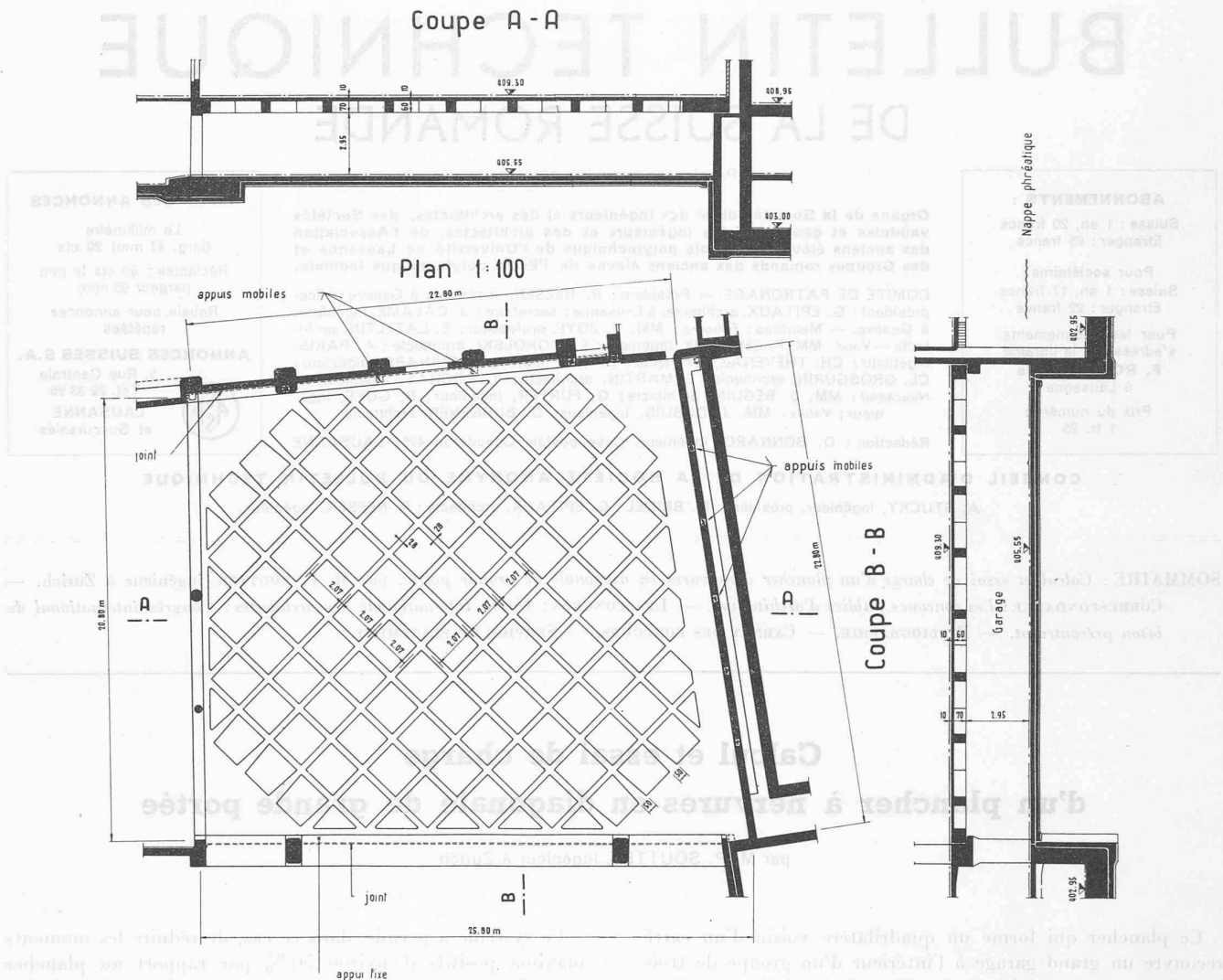


Fig. 2. — Disposition générale du plancher sur garage.

permet une réduction des dimensions du béton, c'est-à-dire du poids propre, d'où une économie de matériaux, compensée en partie, il est vrai, par une plus grande complication dans la disposition des aciers et des coffrages. On peut néanmoins admettre que d'une manière générale ce système de plancher permet de réaliser une économie de l'ordre de 10 à 15 % par rapport au système classique avec nervures parallèles aux côtés ; à cela s'ajoute l'avantage essentiel de la réduction de la hauteur de construction.

Les coins rigides du plancher provoquent dans les quatre angles des réactions négatives dirigées vers le bas tandis que sur tout le pourtour du plancher les réactions sont positives, dirigées vers le haut.

Les appuis mobiles du plancher sur deux côtés ont été réalisés chacun par deux plaques d'acier de  $20 \times 20$  cm, placées l'une sur l'autre, et dont les surfaces de contact furent rabotées. Ces plaques sont ancrées convenablement, l'une dans le banc d'appui du bâtiment, l'autre dans le plancher et permettent un déplacement dans le plan horizontal dans toutes les directions. Les appuis d'angles ont été dis-

posés sur la face supérieure du plancher, les réactions négatives étant réalisées par des éléments en consoles faisant corps avec les bâtiments contigus.

Le calcul d'un tel plancher selon les méthodes classiques se heurterait à diverses difficultés par suite du degré élevé d'indétermination statique. Plus un calcul est long et compliqué plus il est sujet à erreurs. Il est avantageux, dans de tels cas, d'appliquer une méthode qui, tout en étant approchée, donne une exactitude encore suffisante ; il ne serait pas raisonnable, en partant d'hypothèses qui ne correspondent que partiellement aux phénomènes eux-mêmes, d'effectuer des calculs fastidieux, difficiles à interpréter, dont l'importance serait sans rapport avec l'exactitude des résultats obtenus. Au contraire, la méthode approchée permet un calcul contrôlable en chacune de ses étapes, élimine les risques d'erreur et reste en accord avec les hypothèses faites en général dans tout calcul de béton armé.

Les calculs ont ici été conduits selon la méthode indiquée au rapport n° 99, complément 1943/1945, du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, à Zurich. La seule hypothèse

Flexions calculées en mm pour une charge également répartie de 1150 kg/cm<sup>2</sup> (Poids propre = 750 kg/cm<sup>2</sup> surcharge = 400 kg/cm<sup>2</sup>)

Moments de flexion calculés pour une charge également répartie de 1150 kg/cm<sup>2</sup>

E = 300 000 kg/cm<sup>2</sup>

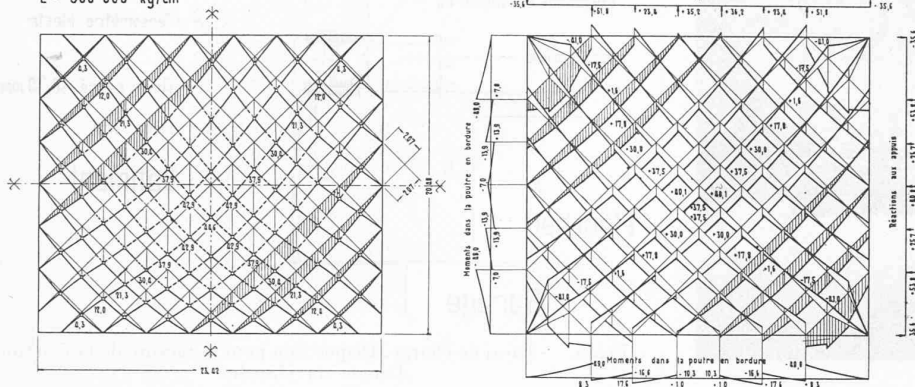
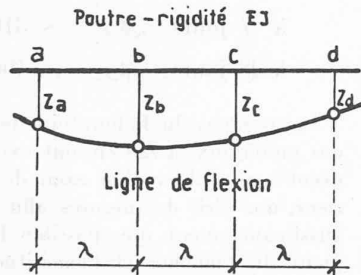


Fig. 4. — Flexions et moments calculés.

simplificatrice est d'assimiler la ligne de flexion de trois points voisins d'une nervure du plancher à une parabole ; cela permet d'établir les relations suivantes :

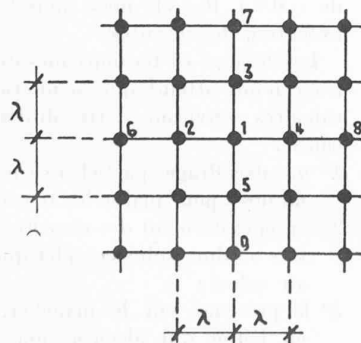


$$M_b = \frac{EJ}{\lambda^2} (-z_a + z_b - z_c)$$

$$M_c = \frac{EJ}{\lambda^2} (-z_b + z_c - z_d)$$

$$Q_{b-c} = \frac{\Delta M}{\lambda} = \frac{EJ}{\lambda^2} (+z_a - 3z_b + 3z_c - z_d)$$

Les charges étant admises concentrées aux croisements des nervures, on obtient la relation suivante :



$$P_1 = Q_{2-1} - Q_{1-4} + Q_{3-1} - Q_{1-5}$$

$$\frac{P_1 \lambda^3}{EJ} = +12 z_1 - 4(z_2 + z_3 + z_4 + z_5) + (z_6 + z_7 + z_8 + z_9) \dots$$

Cette équation peut être écrite pour chaque point de croisement des nervures. Les flexions s'obtiennent en résolvant ce système d'équations. Dans notre cas particulier, et pour simplifier le calcul, nous n'avons considéré que le quart du plancher, celui-ci étant supposé symétrique par rapport à deux axes orthogonaux. L'influence de l'asymétrie fut évaluée à la fin de l'étude, lors du dimensionnement proprement dit. La résolution du système des vingt-six équations étant fort laborieuse, il peut être procédé comme suit : On admet, au jugé, un premier tracé de la ligne de flexion et l'on détermine grâce aux relations précédentes les charges qui lui correspondent. On répète l'opération, jusqu'à ce que, par

approximations successives, on tombe en définitive sur les valeurs des charges réelles. Ces calculs sont assez longs et nous verrons plus loin que des essais sur modèles permettent d'arriver notablement plus vite à des résultats satisfaisants.

Aux angles, le calcul admet pour les coins massifs que les nervures de longueur maximum sont prolongées au-delà de l'appui, avec une flexion égale à 0 aux points extérieurs. Les appuis du plancher sous les poutres de raidissement formant bordure sont construits de façon à permettre une libre rotation des nervures autour de l'axe de ces poutres, tandis qu'ils excluent une rotation autour de l'axe perpendiculaire à celles-ci. Les moments d'encastrement de signe contraire de deux nervures correspondantes sont égaux.

Après avoir obtenu les moments, les efforts tranchants et les réactions des nervures, il est facile de calculer les poutres de bordure. Les coins massifs exigent un calcul spécial, mais qui n'offre pas de difficultés, leurs conditions d'équilibre étant faciles à établir. Dans notre cas particulier, le calcul du coin donne, pour une charge accidentelle uniformément répartie de 400 kg/m<sup>2</sup> (dalle 500 kg/m<sup>2</sup>) et le poids propre du plancher, une réaction négative dans l'angle de 35,6 T.

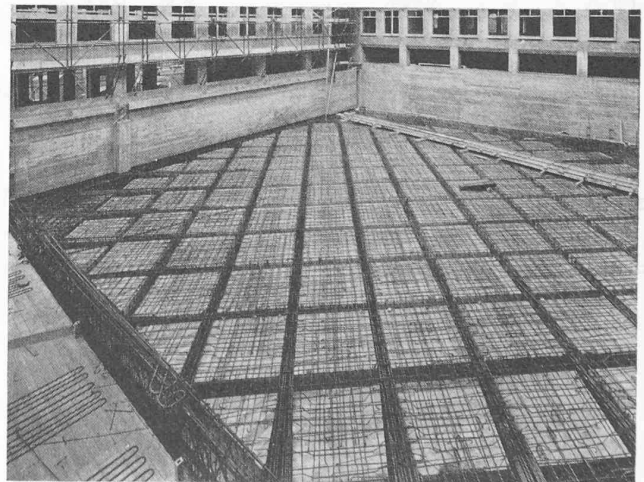


Fig. 3. — Coffrage et armature.

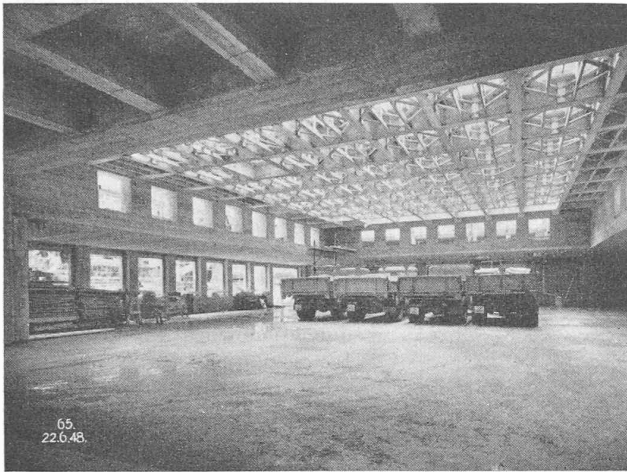


Fig. 5. — Essai de charge. Disposition des camions. Au-dessus : Poutres Vierendeel de 22 m de portée et plancher avec nervures parallèles aux côtés.

La nécessité de réduire les dimensions du béton, vu la grande influence du poids propre sur les moments, a conduit à l'adoption d'armature en aciers au chrome de Gerlafingen

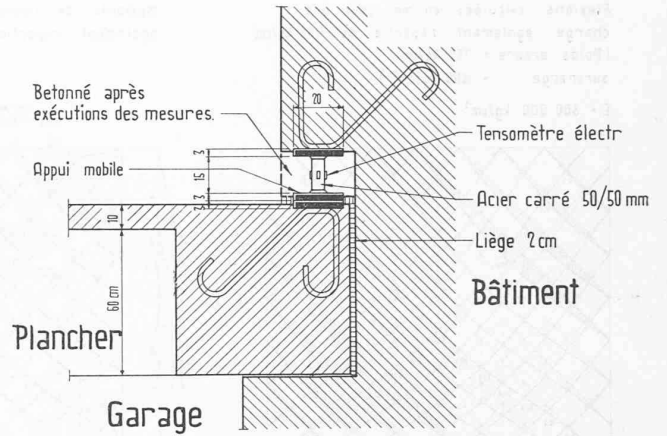


Fig. 6. — Essai de charge. Disposition pour la mesure de la réaction d'angle du plancher

de 28 à 40 mm de diamètre, quoique l'utilisation de diamètres plus petits eût été plus apte à exclure la fissuration. Après essais de charge et deux ans de service, le plancher ne montre du reste aucune fissure apparente ; cela est dû à l'excellente qualité du béton dont les essais avaient donné :

$$\text{à 7 jours } \omega\beta_{7d} = \sim 310 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{à 28 jours } \omega\beta_{28d} = \sim 490 \text{ kg/cm}^2.$$

○ Points de nivellement    ♦ Tensomètres l = 100 et 200 mm

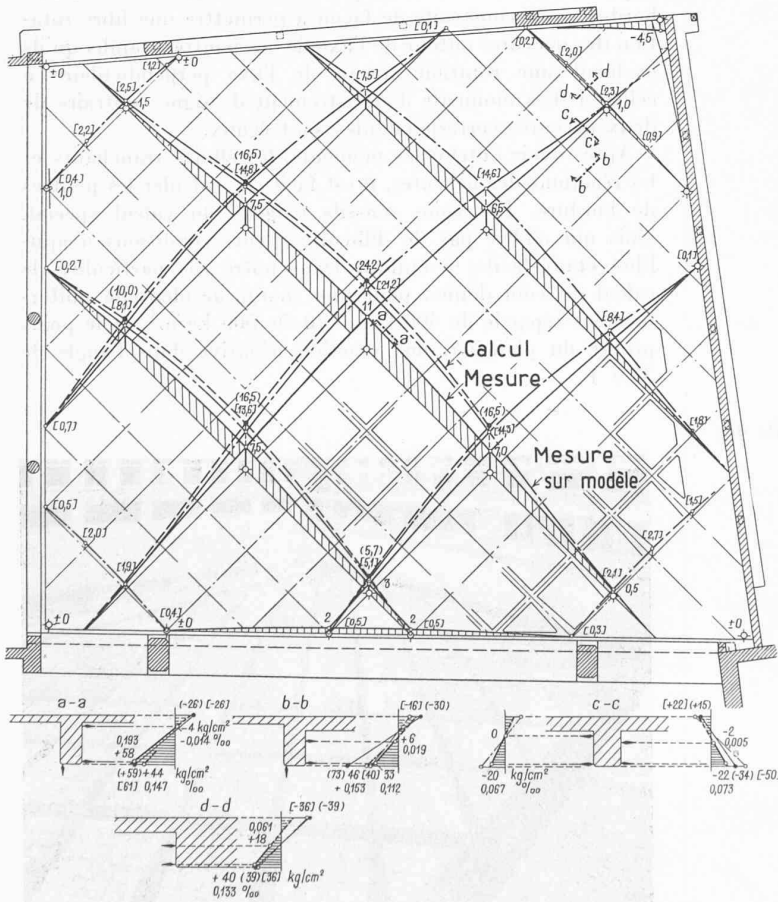


Fig. 7. — Flexions en mm et allongements mesurés lors du décoffrage. Valeurs correspondantes selon calcul et essai sur modèle réduit (poids propre).  $E = 300.000 \text{ kg/cm}^2$ .

Les organes du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, à Zurich, ont exécuté lors du décoffrage et lors d'un essai de charge ultérieur, une série de mesures afin de contrôler aussi exactement que possible le comportement du plancher et l'exactitude des résultats du calcul. Au décoffrage, on plaça 12 tensomètres et l'on nivela 20 points. Un dynamomètre à l'un des angles permit la mesure de la réaction négative.

Ce dynamomètre, placé au-dessus de l'appui mobile situé lui-même sur la face supérieure du plancher, était constitué par une courte barre d'acier de section carrée dont les raccourcissements étaient mesurés au moyen d'un tensomètre électrique. Ce dispositif, qui a été dûment contrôlé avant d'être mis en place, a accusé une sensibilité de  $\pm 0,2 \text{ t}$ . Il a été noyé dans le béton après exécution des mesures.

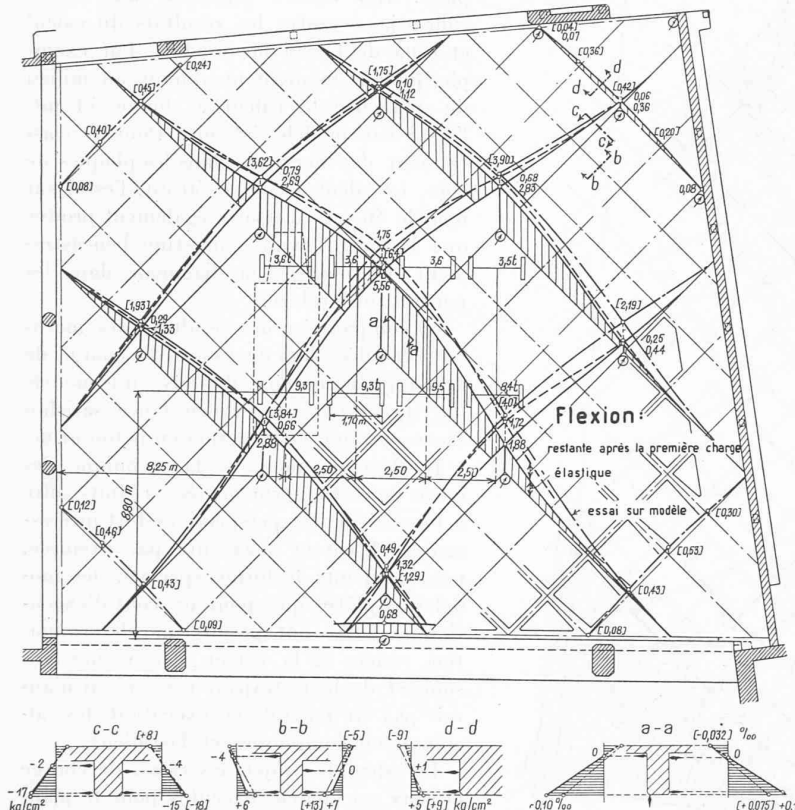
Les flexions et tensions mesurées au décoffrage n'ont atteint que la moitié des valeurs calculées environ. Cette différence a pour cause :

- 1° un décoffrage partiel exécuté avant les mesures pour placer les tensomètres ;
- 2° un encastrement des nervures dans les poutres bordures plus complet que celui prévu au calcul ;
- 3° la présence, sur le plancher, d'une paroi en béton qui absorba une partie de la réaction d'angle.

En vue de contrôler les fatigues du plancher sous charges et son comportement élastique, un essai fut exécuté en juin 1948, c'est-à-dire deux mois après l'achèvement des

Flexions mesurées en mm  
Essai de charge: 4 camions  $\leq P = 50,8t$

○ fleximètres    ↓ tensomètres



Tensions dans 3 sections des poutres en  $kg/cm^2$  pour  $E = 400\,000 kg/cm^2$     Allongements en  $\%$  Longueur de mesure  $\cdot 100 mm$

— Essai de charge    — Essai sur modèle    + = Traction    - = Compression

Fig. 8. — Essai de charge. Flexions et allongements mesurés et déterminés par l'essai sur modèle réduit.

travaux. On plaça quatre camions d'un poids total de  $P = 50,8 t$  au milieu du plancher de façon à ce que leur effet soit équivalent à celui d'une surcharge de  $0,2 t/m^2$  uniformément répartie sur tout le plancher. La surcharge fut appliquée à deux reprises afin d'obtenir une double lecture des appareils de mesure. Les mesures elles-mêmes ont porté sur :

les flexions en 14 points (fleximètres d'une exactitude de  $1/1000 mm$ ),  
les allongements dans 7 sections des nervures au moyen de 27 tensomètres.

Les déformations maxima mesurées ont été de :

- Flexion au milieu du plancher sous la première charge . . .  $f = 7,31 mm$
  - Décharge ou seconde charge (élastique) . . . . .  $f = 5,56 mm$
  - Reste . . . . .  $f = 1,75 mm$
  - Tension maximum du béton (compression) . . . . .  $18 kg/cm^2$
- La comparaison avec le calcul donne
- mesure :  $f = 5,56m$
  - calcul :  $f = 5,80 mm$ .

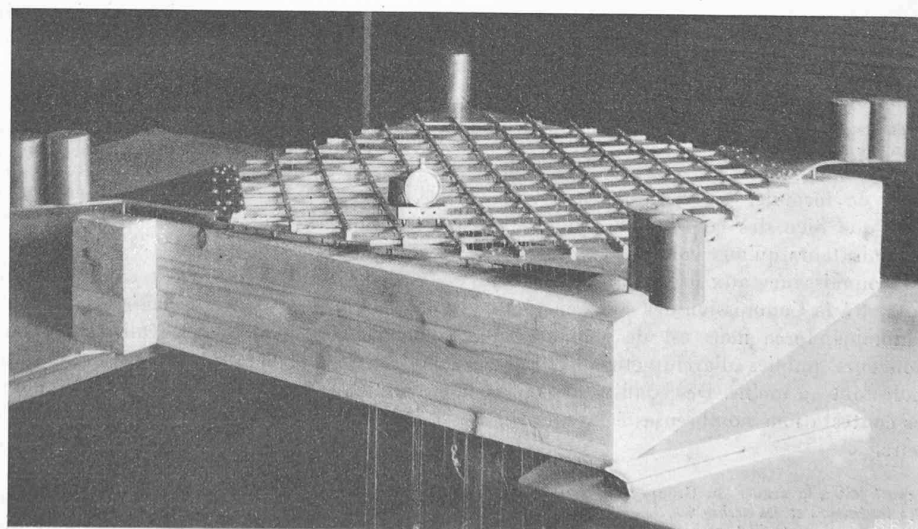
Les tensions dues à l'essai de charge sont indiquées aux figures.

Réaction d'angle mesurée  $R = 3,6 To$   
calculée  $R = 8,2 To$ .

Les divergences entre mesures et calcul s'expliquent facilement par les causes mentionnées plus haut.

Après l'exécution de ces mesures, M. E. Schmidt, alors ingénieur au Laboratoire fédéral, exécuta un essai sur modèle réduit qui donna des résultats fort intéressants. Le modèle à l'échelle de  $1/40$  fut constitué par un réseau de barres de section carrée en métal léger simplement réunies par des vis. La rigidité relative des différents éléments du modèle correspond à celle des éléments du plancher en même grandeur. Les mesures ont été faites au moyen d'un appareil permet-

Fig. 9.  
Modèle réduit à l'échelle 1:40.  
Réseau de barres en métal léger de  $5 \times 5 cm$ .



— Modèle — Moments de flexion mesurés en mt  
Poids propre + charge accidentelle  $(g+p) = 1.15 \text{ t/m}^2$

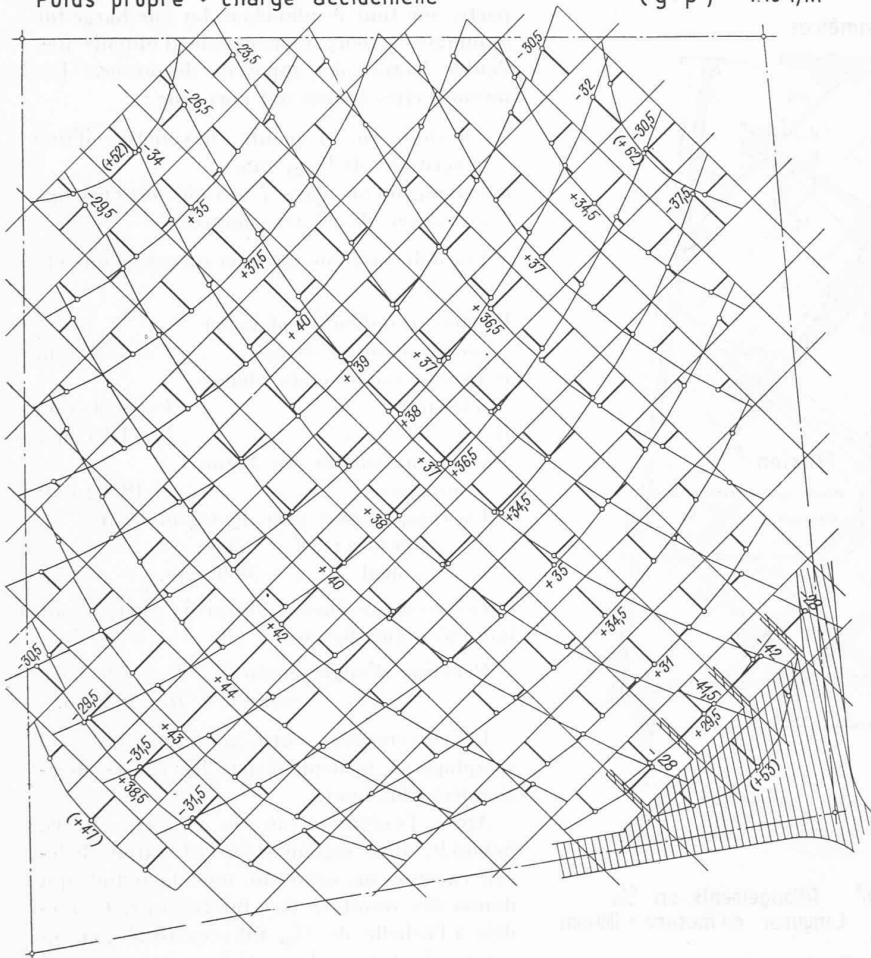


Fig. 10. — Essai sur modèle réduit. Moments mesurés pour  $q = g + p = 1,15 \text{ t}$ .

tant de lire directement les courbures avec une exactitude de  $\frac{1}{1000}$  mm. La construction du modèle et l'exécution des essais demandèrent notablement moins de temps qu'un calcul statique même simplifié. Les figures montrent une bonne concordance entre les résultats du calcul et ceux de l'essai sur modèle. Par exemple, pour le moment maximum, au milieu du plancher le calcul a donné 40 mt, l'essai sur modèle 38 mt. Pour l'encastrement des nervures dans les plaques de coin, le calcul a donné 50 mt, l'essai sur modèle 46 mt. L'essai a également prouvé que le calcul avait sousestimé l'encastrement des poutres en diagonale dans les poutres de bordure.

La comparaison des résultats des mesures effectuées lors de l'essai de charge de l'ouvrage avec ceux obtenus sur le modèle fait apparaître une concordance satisfaisante pour une construction en béton armé.

Le développement de la technique des essais de statique sur modèles réduits offre à l'ingénieur des perspectives fort intéressantes. L'auteur a exécuté par exemple, pour des ponts de forme spéciale, des modèles en plâtre qui, pour un coût d'exécution modique ont permis une détermination exacte de la valeur effective des tensions et de leurs trajectoires ; ce qui n'aurait pas été possible en exécutant des calculs même compliqués et fastidieux.

Le calcul, le projet, les essais de charge et ceux sur modèle, exécutés pour le plancher sur garage du « Bärenhof » montrent bien l'intérêt, la solidité et l'économie de la disposition choisie. Les différentes méthodes d'investigation et d'auscultation utilisées donnent des résultats concordants et satisfaisants sur la solidité et le comportement élastique de cette construction.

## CORRESPONDANCE

### Les concours publics d'architecture<sup>1</sup>

Le président de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes nous prie de porter à la connaissance de nos lecteurs le texte suivant. (Réd.)

Avant de formuler les critiques qui vont suivre, reconnaissons que bien des concours ont donné satisfaction tant aux organisateurs qu'aux concurrents. Nous exprimons donc notre reconnaissance aux organisateurs, aux jurys, aux concurrents et à la Commission des concours.

Néanmoins, force nous est de constater que l'institution des concours publics d'architecture est malade, en Suisse romande tout au moins. Des conflits, des litiges de toute nature, des contestations nombreuses éclatent à l'issue de certains concours.

<sup>1</sup> Exposé fait à la séance du Groupe des architectes de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes, le 7 novembre 1950, par le président du groupe, M. Pierre Quillet, architecte.

Les principes de la S. I. A. en matière de concours (norme 101) sont fortement battus en brèche car, il faut l'avouer, ce sont des principes faibles, difficiles à défendre. Le malaise est certain. Pourquoi ? Deux causes en tout cas sont claires :

1. Méconnaissance des principes S. I. A. de la part des organisateurs, qui agissent souvent de bonne foi mais dans une ignorance quasi complète, et, reconnaissons-le hélas, de la part des jurys eux-mêmes.
2. Désir de plus en plus fréquent des organisateurs de se débarrasser des recommandations des jurys pour garder les mains libres en ce qui concerne l'exécution de l'ouvrage.

Dans ces conditions, pourquoi ouvre-t-on des concours ? Pour endormir l'opinion publique lorsque l'organisateur veut donner la réalisation de la construction à une personne de son choix ou simplement à un architecte ressortissant de la commune auquel on ne pourrait, pour diverses raisons, confier directement le travail. Pour calmer l'opinion publique — ou un parti d'opposition — qui réclament des réalisations alors qu'on n'a ni les *moyens financiers*, ni même l'*intention* de faire quoi que ce soit. Dans tous ces cas, le concours public sert de paravent pour dissimuler des manœuvres déloyales.