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

Band: 1 (1932)

Artikel: Discussion

Autor: Campus, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-651

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

VII A 3.

COLONNES EN ACIER ENROBÉES DE BÉTON ET LEUR IMPORTANCE DANS L'OSSATURE MÉTALLIQUE

EINBETONIERTE STAHLSÄULEN UND TRÄGER, IHRE BEDEUTUNG IM SKELETTBAU

COMPOSITE COLUMNS AND THEIR IMPORTANCE TO STEEL STRUCTURES

Dr. Ing. **A. HAWRANEK**,
Professor an der Deutschen Technischen Hochschule, Brünn.

Voir « Publication Préliminaire », p. 619. — *Siehe « Vorbericht »*, *S. 619.*
See " Preliminary Publication ", p. 619.

Participants à la discussion
Diskussionsteilnehmer
Participants in the discussion :

F. CAMPUS,
Professeur à l'Université de Liége.

Des essais ont été effectués dans la période de juin 1931 à avril 1932 sur plusieurs fermes métalliques du nouvel Institut de Chimie et de Métallurgie de l'Université de Liége.

Les fermes sont toutes constituées de cadres rigides à étages et ont été calculées par la méthode que nous avons résumée dans un rapport au Congrès international de la Construction métallique à Liége en 1930 (Rapport VII, f. n° 26). Des essais sur modèles de nœuds de charpentes rigides ont été effectués préalablement à la construction (Communication faite le 11 mai 1932 à l'Association belge pour l'étude, l'essai et l'emploi des matériaux).

L'ossature métallique est caractérisée par une élévation assez faible (hauteur maximum 30 m.) mais par des portées assez grandes entre colonnes (entredistance axiale 16 m.) pour la majeure partie des fermes, des écartements assez grands entre fermes (6 m. pour la plupart) enfin les fortes charges (1000 kgs./m^2 au total, soit 90 tonnes par ferme et par étage). Ce sont ces caractéristiques qui ont inspiré le choix de la charpente métallique, notamment en vue de réduire les dimensions et d'obtenir le maximum de surface et de volume utiles. La plupart des poutres horizontales de 16 m. de portée sont des poutrelles Grey à larges ailes de 0,475 (1/34e de la portée). Les plus hautes, pour 8 m. d'écartement des fermes, sont des poutrelles Grey de 0,60 (1/27e de la portée), les moins hautes, pour 3 m. d'écartement des fermes, sont des poutrelles Grey de 0,30 (1/54e de la portée). Les colonnes, de section I, formées d'une âme, de cornières et de plats rivés, ont 0,75 de largeur. La figure 1 représente un aspect caractéristique de l'ossature en cours de montage. La figure

2 montre l'aspect de l'ossature après enrobage de béton et bétonnage des planchers ; les nervures des planchers n'ont en aucun cas plus de 0, 78 m. de

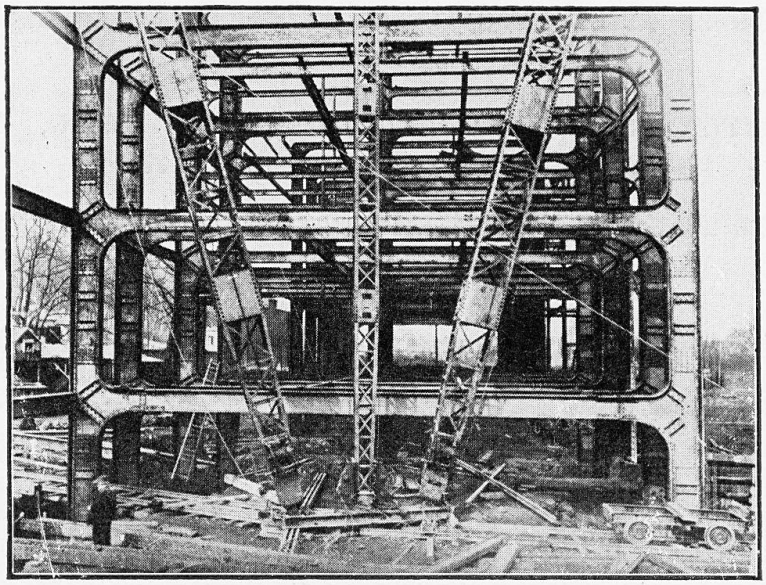

Fig. 1.
Vue de la charpente pendant le montage.
Ansicht des Ständerbaues während der Montage.
View of the steel-construction during erection.

hauteur (il eût été possible de les réduire à 0, 70 m.) et les hauteurs libres d'étages seront pratiquement de 4, 20 m.

Fig. 2.
Vue de l'étage inférieur de la charpente après enrobage.
Ansicht des unteren Stockwerkes des Ständerbaues nach der Einbetonierung.
View of the lower floor of the steel-construction after pouring the concrete.

La figure 3 montre un aspect de façade d'une aile en cours d'achèvement ; actuellement le gros-œuvre est presque terminé.

Les essais ont été effectués sur quatre fermes diverses ; les résultats conduisent pour toutes aux mêmes conclusions.

Nous nous bornerons à un exposé sommaire des expériences effectuées sur la ferme A. 16, qui sont les plus complètes. Un exposé détaillé et complet fera l'objet d'une prochaine communication à l'Association belge pour l'essai, l'étude et l'emploi des matériaux.

La ferme A. 16 est une des plus fortes fermes de 16 m. de portée ; elle est écartée de 8 m. d'une ferme spéciale de façade et de 3 m. de la voisine. Sur

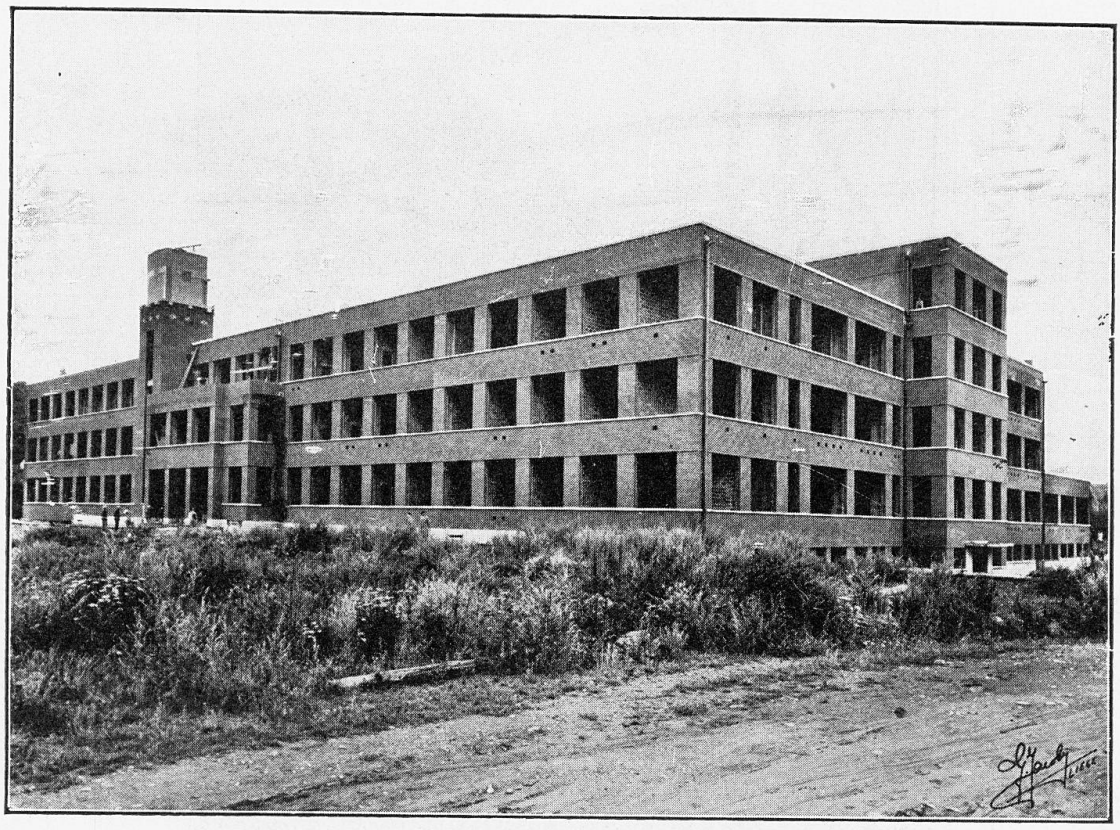

Fig. 3.
Vue générale du bâtiment en cours d'achèvement.
Gesamtansicht des Gebäudes während der Ausführung.
General view of the building in course of construction.

la figure 4, qui montre la disposition générale du chantier d'expérience en juin 1931, cette ferme est celle contre les deux colonnes de laquelle sont disposées des échelles. La figure 5 indique la disposition des charges et de certains appareils. On y voit au premier plan le poste central du télé-extensomètre acoustique du Dr. Schaefer (Constructeur Maihak, Hambourg). Outre cet appareil à douze postes de mesures de tensions (fils D. 12), nous avons employé huit extensomètres Huggenberger, deux clinomètres Stoppani, un théodolite Zeiss, un fleximètre Stoppani et deux fleximètres Zivy. La charge d'essai de 25 tonnes était suspendue en deux points voisins des milieux des poutres. La figure 6 résume toutes les caractéristiques de la ferme métallique, des deux mises en charge de la poutre inférieure et de leurs résultats comparés à ceux du calcul.

On remarquera que les pieds des colonnes étaient déjà enrobés légèrement. Un essai ultérieur sur une autre ferme a établi que cet enrobage augmentait légèrement l'encastrement rigide des bases des colonnes, par ailleurs déjà très grand.

Le schéma du haut de la figure 6 indique les moments d'inertie des poutres dans leurs parties prismatiques et les rapports des rigidités relatives I/l des

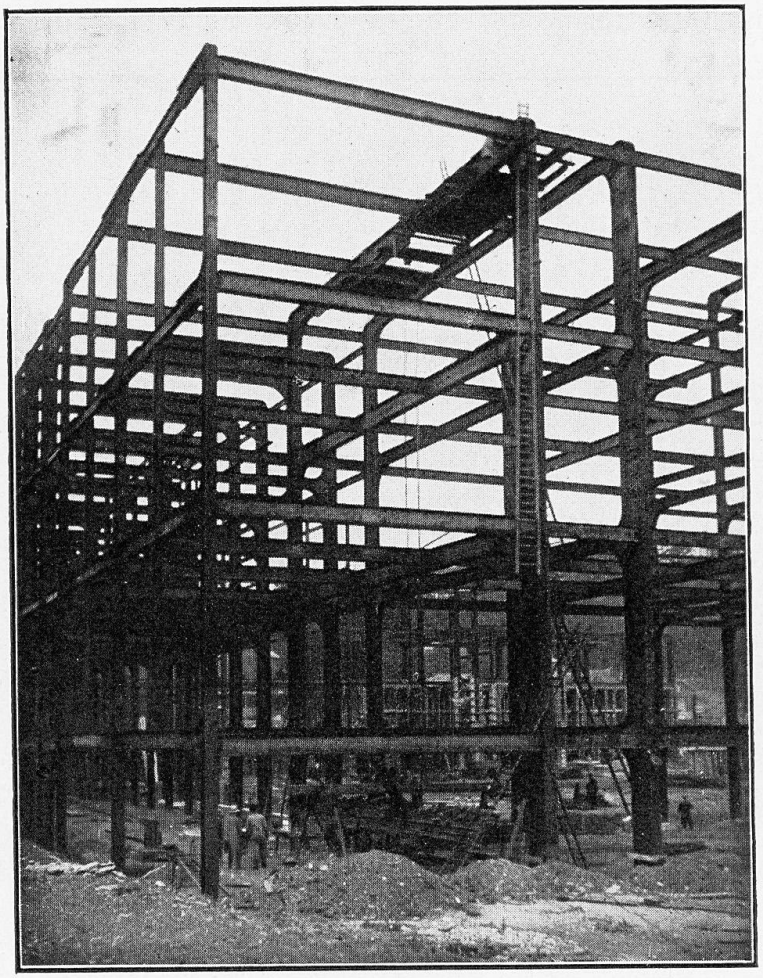

Fig. 4.
Vue de la ferme A 16 pendant les essais.
Ansicht des Binders A 16 während der Versuche.
View of the principal truss A 16 during the tests.

diverses colonnes (considérées comme prismatiques) rapportées aux rigidités égales des poutres, prises comme unité.

Les diagrammes de la figure 6 montrent la bonne concordance des tensions mesurées et des tensions calculées d'après la méthode évoquée en introduction. On y voit figurer aussi des diagrammes comparatifs des déformations de certaines sections transversales, d'après les mesures et le calcul. Enfin, un détail de la figure 6, agrandi sur la figure 7, représente les tensions mesurées sur un nœud, résultats qui concordent très convenablement avec ceux des essais sur modèles dont il a été fait mention plus haut. Toutes les tensions mesurées sont quelque peu inférieures aux tensions calculées. Compte tenu

des erreurs expérimentales, ce fait est dû à l'action des nœuds rigides, prouvée par nos essais sur ce sujet, et à l'action du joint complet, représenté à la figure 7 et qui est très rigide. Ci-après le tableau comparatif des valeurs calculées et mesurées des rotations des nœuds 1 & 1′ et des flèches au milieu de la poutre 1 1″.

	Rotations			Flèches		
Essai	Calculées	mesurées	dimin. %	calculées	mesurées	dimin. %
I	226×10^{-6}	$166,9 \times 10^{-6}$	26 %	11,70 mm	8,49 mm	27 %
II	246×10^{-6}	$174,39 \times 10^{-6}$	29 %	15,40 mm	11,48 mm	20 %

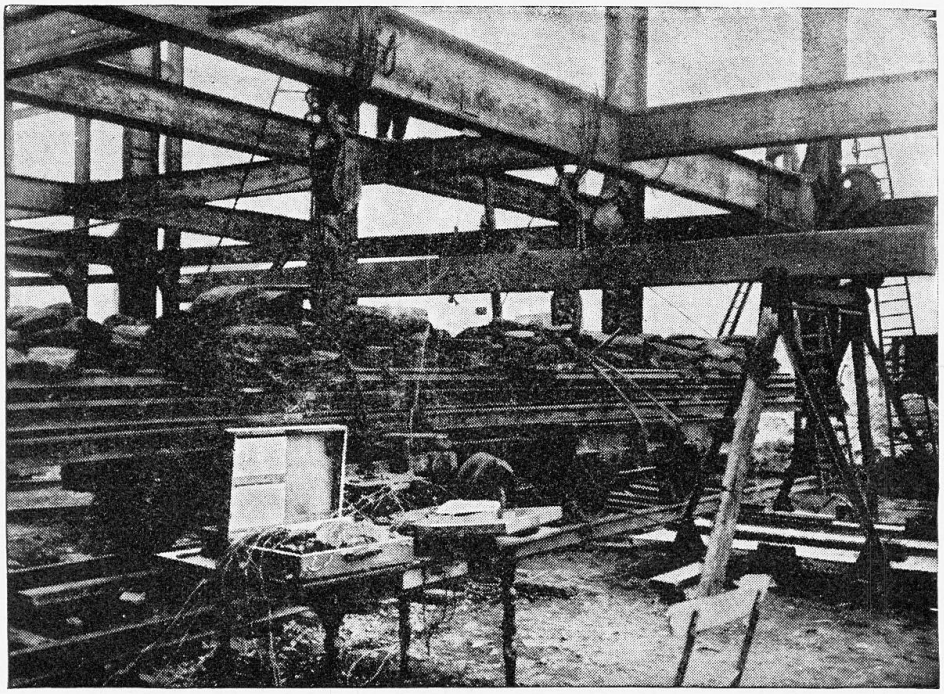

Fig. 5.
Disposition du chantier d'essai de la ferme A 16.
Anordnung des Bauplatzes während der Versuche am Binder A 16.
Arrangement of builders' yard for testing the principal truss A 16.

Les écarts proviennent des accroissements de rigidité des poutres par les joints d'abouts et les nœuds.

Une correction partielle des résultats calculés, par détermination d'un moment d'inertie moyen des poutres à profil variable (voir rapport n° 26 VII. f. Congrès de Liége, 1930, op. cit.) diminue appréciablement des écarts. Le degré d'encastrement a été établi par la formule $\varepsilon = \frac{m_a\, l}{m_a\, l - 3\, EI\, \varphi_a}$ établie dans le rapport précité. On a trouvé

d'après le calcul	essai 1 : 0,965	essai 2 : 0,970
d'après la mesure des rotations	» 0,975	» 0,980

Les écarts proviennent des mêmes causes que ci-dessus.

La figure 8 reproduit quelques résultats principaux de l'essai effectué sur la poutre supérieure 4-4′ de la ferme A. 16.

Tous ces résultats concluent à l'excellence du principe de la continuité

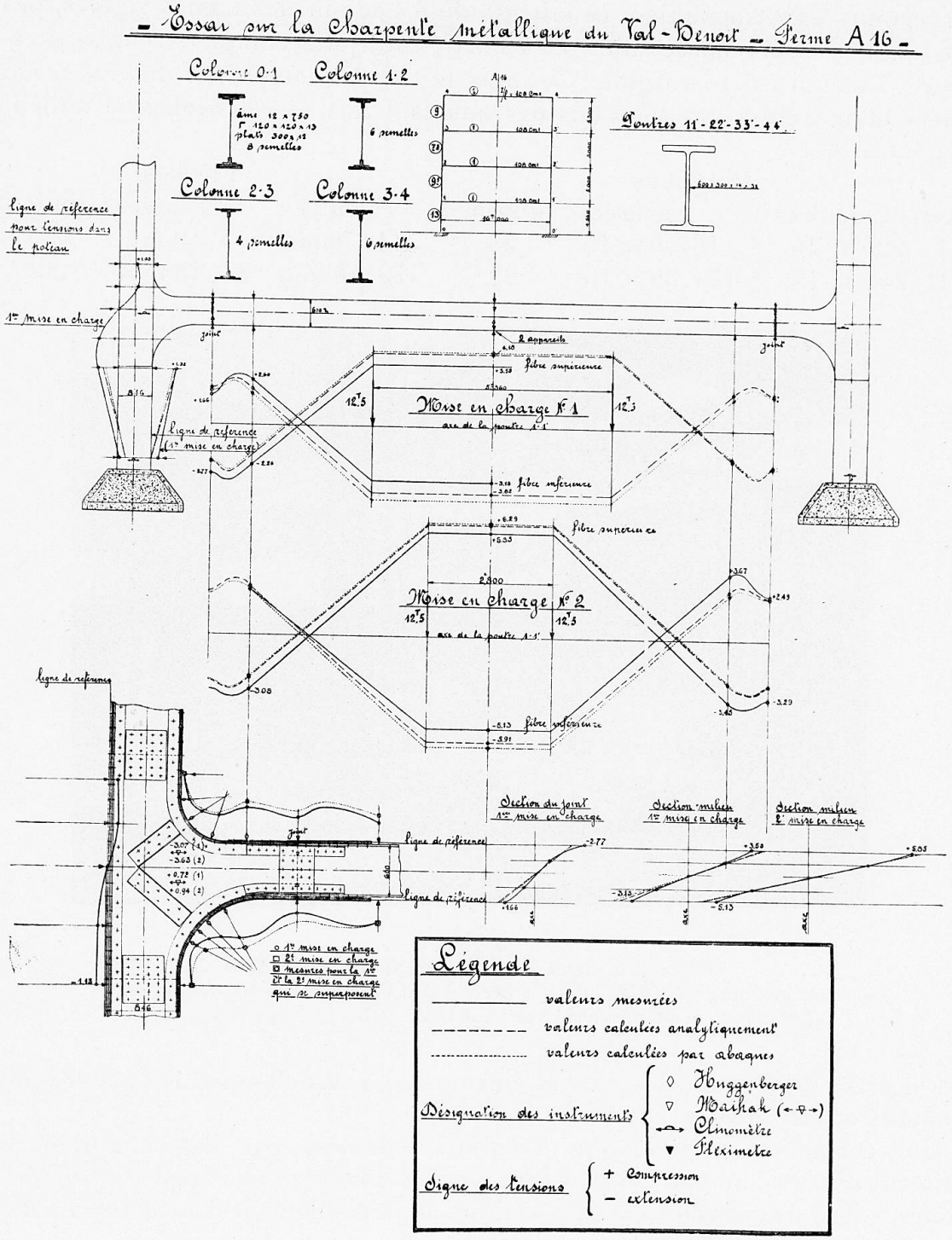

Fig. 6.
Essai sur la charpente métallique du Val-Benoît. Ferme A 16.
Versuche am Ständerbau von Val-Benoît. Binder A 16.
Test on the framework of Val-Benoît. Principal truss A 16.
Colonne = Säulen = Columns.
Poutres = Träger = Beams.
Ligne de référence pour tensions dans le poteau.
Bezugslinie für die Spannungen im Pfosten.
Reference line for tensions in the stanchion.
1re mise en charge = 1. Belastung = 1st loading.

(*Voir suite de la légende p. 535*).

rigide des fermes métalliques — qui implique des nœuds d'assemblages adéquats — et au fonctionnement élastique de ces fermes conformément à la théorie ; enfin, à l'efficacité des dispositions du projet.

La ferme est en acier type de l'Etat Belge, à 42-50 kg/mm² de résistance

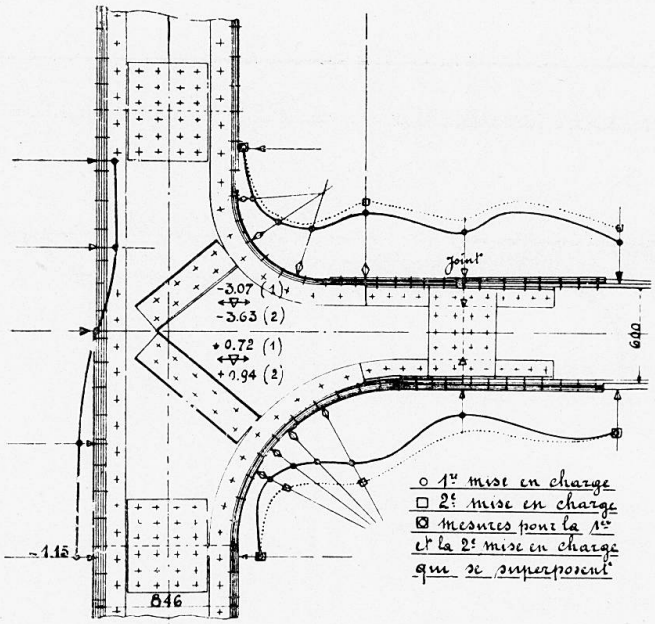

Fig. 7.
Auscultation du nœud = Untersuchung des Knotenpunktes = Investigation of the assemblage point.
Mise en charge = Belastung = Loading.
Mesures pour la 1re et la 2e mises en charge qui se superposent.
Messungen für die 1. und 2. Belastung, die sich überlagern.
Measurements for the 1st and 2nd loadings, which are superposed.

et 20-24 % d'allongement. Le taux de travail adopté est de 14 kg/mm². La charpente est presque totalement rivée ; on a également fait usage de boulons.

Nous avons procédé en mars 1932 à des essais sur la charpente après enrobage et bétonnage des planchers. Les fermes étaient enrobées d'un béton assez médiocre au ciment de laitier, qui a donné comme caractéristique à l'époque de l'essai (âge 9 mois)

(*Suite de la légende de la p. 534*).

Axe de la poutre = Trägeraxe = Axis of the beam.
Fibre supérieure, inférieure = Obere, untere Randfaser = Upper, lower fibres at the edges.
Section du joint = Stossquerschnitt = Section through the joint.
Mesure pour la 1re et la 2e mises en charge qui se superposent.
Messungen für die 1. und 2. Belastung, die sich überlagern.
Measurement for the 1st and 2nd loadings, which are superposed.
Légende. Valeurs mesurées. Valeurs calculées analytiquement.
Valeurs calculées par abaques. Désignations des instruments.
Signe des tensions : + compression — extension.
Legende. Gemessene Werte. Analytisch berechnete Werte.
Mit Hilfe von Nomogrammen bestimmte. Werte Bezeichnung der Instrumente. Vorzeichen der Spannungen : + Verkürzung — Dehnung.
Legend. Measured values. Values calculated analytically.
Values calculated by nomograms. Designation of the instruments.
Stress signs : + compression — tension.

$$\left.\begin{array}{l} E\,(\sigma'_b = \ \ 20\,kg/cm^2) = 194.800\,kg/cm^2 \\ R'_b \ \ = 126\,kg/cm^2 \end{array}\right\} \text{ sur prismes } h = 3 \times b$$

Le béton des dalles de plancher est de qualité supérieure et fait au moyen de ciment portland artificiel à durcissement rapide. Il a donné à l'époque des essais, à l'âge de 8 mois :

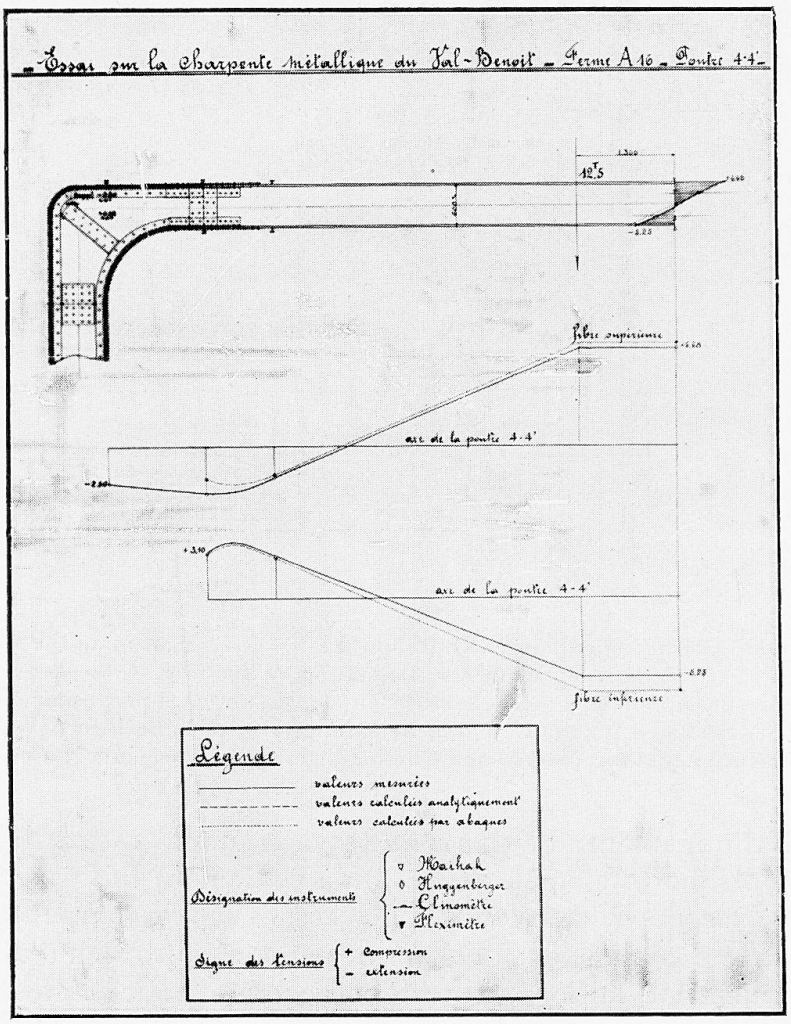

Fig. 8.
Essai sur la charpente métallique du Val-Benoît. Ferme A 16. Poutre 4 — 4'.
Versuch am Ständerbau von Val-Benoît. Binder A 16. Balken 4 — 4'.
Test on the steel construction of Val-Benoît. Principal truss A 16. Beam 4 — 4'.
Fibre supérieure, inférieure = Obere, untere Randfaser = Upper, lower fibres at the edges.
Axe de la poutre 4 — 4' = Trägeraxe 4 — 4' = Axis of the beam 4 — 4'.
Légende (comme à la figure 6) = Legende (wie unter Figur 6) = Legend (as for Fig. 6).

$$\left.\begin{array}{l} E\,(\sigma'_b = \ \ 20\,kg/cm^2) = 335.400\,kg\backslash cm^2 \\ R'_b \ \ = 332\,kg/cm^2 \end{array}\right\} \text{ sur prismes } h = 3 \times b$$

On a adopté pour le calcul $m = 10{,}80$ ou $m = 6{,}27$.

La figure 9 résume les caractéristiques de la ferme A. 16 bétonnée et de ses mises en charge. Elle indique de quelle manière considérable ont été modifiées les rigidités absolues et relatives des poutres avec leurs hourdis solidaires et

des colonnes, les valeurs étant calculées, selon l'usage, en tenant compte de tout le béton.

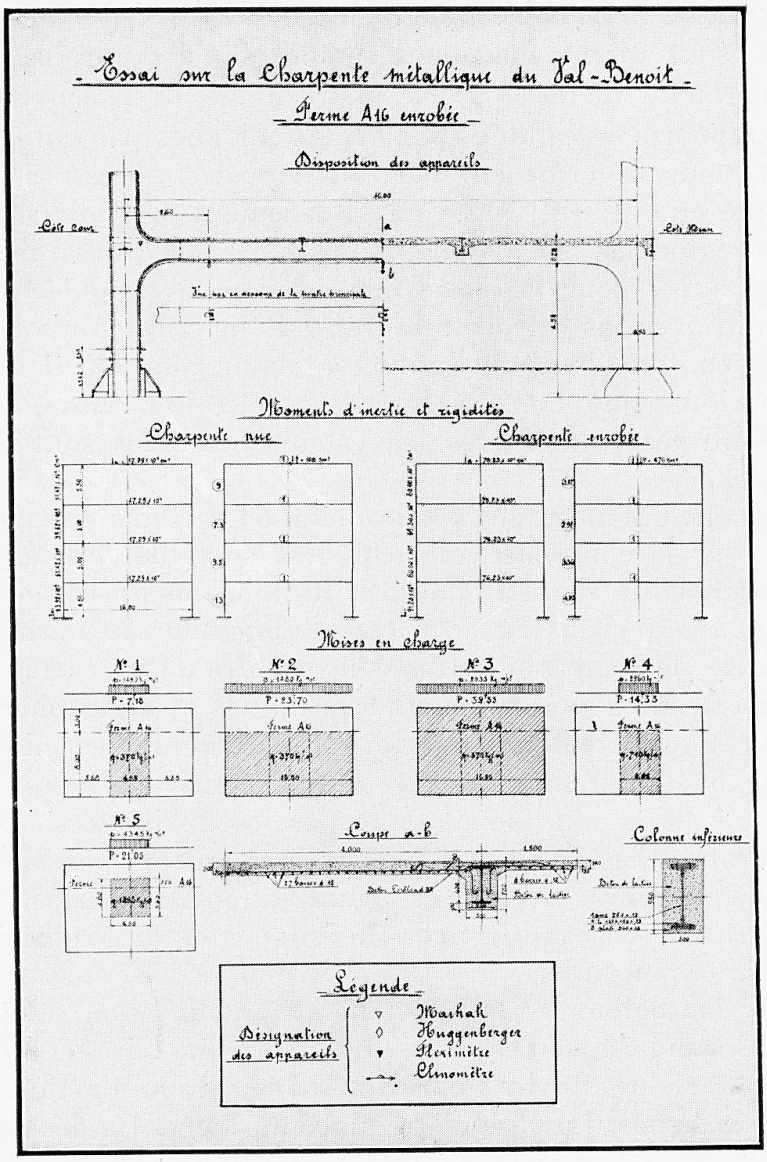

Fig. 9.

Essai sur la charpente métallique du Val-Benoît. Ferme A 16 enrobée.
Versuch am Ständerbau Val-Benoît. Einbetonierter Binder A 16.
Test on the steel construction of Val-Benoît. Concreted principal truss A 16.
Disposition des appareils = Anordnung der Apparate = Arrangement of the apparatus.
Côté cour — Côté Meuse = Hofseite — Flusseite = Courtyard side — River side.
Vue par en dessous de la poutre principale.
Unteransicht des Hauptträgers.
View of main girder from below.
Moments d'inertie et de rigidité.
Trägheitsmomente und Steifigkeitswerte.
Moments of inertia and values of stiffness.
Charpente nue = Nackter Ständerbau = Steel-construction alone.
Charpente enrobée = Einbetonierter Ständerbau
Coupe a — b = Schnitt a — b = Section a — b.
Colonne inférieure = Unterer Ständer = Lower column.
Désignation des appareils = Bezeichnung der Apparate = Designation of apparatus.

L'augmentation du moment d'inertie de la poutre par son enrobage seul est de 97 %, le pourcentage d'acier est de 6, 85 %. En y ajoutant les ailes jusqu'aux axes des dalles, le pourcentage total d'acier est de 2, 33 % et le moment d'inertie de la poutre est augmenté de 340 %.

Les poteaux sont moins fortement renforcés par l'enrobage. Le moment d'inertie est augmenté de 42, 5 %; le pourcentage de l'acier est de 10, 45 %. De ce fait, les rapports de rigidité relative des colonnes par rapport aux poutres sont diminués, pour la ferme enrobée, au tiers des valeurs calculées pour la ferme métallique nue. Il en résulte un déplacement des points d'inflexion des poutres vers les colonnes, effectivement constaté par la comparaison des valeurs des tensions calculées pour la ferme nue, avec celles calculées pour la ferme bétonnée et enfin avec les valeurs mesurées. Pour le calcul de la ferme bétonnée, on a tenu compte du béton soumis à l'extension. Quelles que soient les objections théoriques que l'on puisse faire à cette hypothèse, les expériences ne l'ont pas contredite, car toutes les valeurs mesurées sont inférieures aux valeurs calculées.

Les tensions ont été mesurées sur le métal en certains des points auscultés lors des essais sur la charpente nue. On s'est servi de l'extensomètre acoustique Dr Schaefer. On a tenté de mesurer les tensions du béton par les extensomètres Huggenberger, sur 10 et 20 cm. de longueur de mesure. Malheureusement, par suite des conditions très défavorables d'expérience et des faibles tensions produites, ainsi que des effets thermiques et atmosphériques superficiels, les mesures sur le béton n'ont pu être utilisées. Les clinomètres aussi ont fonctionné irrégulièrement, les rotations étant d'ailleurs insignifiantes. Les meilleurs résultats ont été obtenus par les fleximètres. D'une manière générale, les mesures de tensions et de rotations ont été peu sûres, à cause de leurs très faibles valeurs, malgré la manipulation de charges dont le total s'est élevé à 80 tonnes. Les influences thermiques et atmosphériques ont fortement contrarié ces mesures.

Les tensions des colonnes, tant du métal que du béton, étaient tellement faibles dans les conditions d'essai qu'elles n'ont pu faire l'objet de mesures utilisables. Il paraît difficile d'y apprécier la répartition élastique des tensions entre l'acier et le béton. Le clinomètre placé au nœud 1 a décelé des rotations insignifiantes. Pour les flèches au milieu de la poutre, on a obtenu ce qui suit :

Mise en charge	1	2	3	4	5	
Flèches calculées sans béton	4,42	7,76	10,45	8,88	12,85	mm.
» » avec béton	1,12	2,05	2,76	2,345	3,26	mm.
Flèches mesurées	0,405	0,802	1,060	1,11	1,72	mm.

On constate l'effet, surprenant par son importance, d'un enrobage tout à fait ordinaire et surtout de la solidarité des hourdis. Cet effet apparaît presque double, en moyenne, de celui que dénote le calcul selon les hypothèses indiquées. Un pareil calcul, conforme aux hypothèses élastiques, paraît donc sûr dans les limites de tensions très modérées.

L'importance de cet effet résulte d'une manière plus surprenante encore d'essais de flexion faits sur la ferme A. 13, qui justifient que quelques indica-

tions en soient données. La ferme A. 13 est l'une des plus faibles des fermes de 16 m. de portée. Ses poutres sont des poutrelles Grey à larges ailes de 0,30 m. de hauteur. Après construction, elles ont été enrobées avec une surcharge inférieure de béton, soutenue par quelques faibles armatures. Cette disposition peu exemplaire nous a été imposée pour des raisons architecturales. La figure 10 résume les caractéristiques de la ferme et de ses mises en charge, qui se sont élevées à 26,7, à 53,4 et à 80 tonnes (surcharge maximum en service).

L'une des dalles contiguës à la ferme A. 13 constitue une travée de dilatation, non solidaire de l'enrobage de la poutre.

Néanmoins, les flèches mesurées sont considérablement inférieures aux flèches calculées. La flèche maximum est $\frac{1}{4760}$ de la portée et la flèche rémanente est inférieure à $\frac{l}{28600}$.

Les effets de la plasticité du béton se dénotent dans les résultats des essais sur cette ferme, mais d'une manière modérée. Il est certain, cependant, que l'ensemble possède une marge de rigidité que les déformations croissantes éventuelles du béton ne pourront compromettre.

Enfin, nous avons tenté de mesurer les efforts engendrés dans la ferme métallique A. 16 au cours de l'enrobage et du bétonnage. A cet effet, nous avons placé des fils de mesure du type D. 12 de l'extensomètre acoustique du Dr Schaefer en certains des points auscultés lors du premier essai. Ces fils étaient renfermés dans des boîtes étanches et placés sur la ferme avant coffrage et bétonnage. Sur les sept fils placés, un a été noyé dès le début et cinq ont fonctionné jusqu'au bout. La figure 11 résume les dispositions et les phases de l'expérience. La carence d'un des fils rend malheureusement l'interprétation des résultats presque impossible et l'importance des tensions mesurées de même que l'allure de leur variation font supposer de graves perturbations de mesures.

Nous présumons que les appareils de mesure ont été fortement déréglés par les chocs violents qu'ils ont supportés lors du coffrage, lors du bétonnage, du décoffrage, de l'enlèvement des étançons, ainsi que de la manutention et du déchargement des matériaux après le bétonnage des planchers. Les résultats ne permettent pas non plus de déceler les efforts du retrait du béton. Quoique très indécis, ces essais laissent cependant subsister l'impression que les charpentes métalliques peuvent recevoir des mises en charge importantes du fait de l'enrobage et du bétonnage, qu'il convient de bien organiser ces opérations, et de calculer l'ossature métallique en conséquence.

Les résultats de ces essais établissent nettement les avantages de la continuité des fermes et le rôle considérable de l'enrobage et des hourdis en béton dans la résistance d'ensemble. On en conclut qu'il faut recommander le revêtement de l'ossature métallique en béton résistant, tant en ce qui concerne les poutres que les colonnes.

La collaboration du béton d'enrobage et des planchers avec les fermes ou poutres métalliques peut s'apprécier, dans les limites des fatigues normales ou modérées, par les hypothèses usuelles du calcul du béton armé. Il peut

cependant être rationnel, comme nous l'avons fait dans nos calculs, de rapporter tous les éléments à l'élasticité de l'acier. La question de savoir s'il faut tenir compte ou non du béton tendu est accessoire dans les limites de fatigue des expériences précitées. Pour un calcul préalable, on pourra se tenir à l'hypothèse la plus prudente sans perdre le bénéfice de l'enrobage. Il sera prudent d'évaluer les effets du retrait par les méthodes connues, mais il est possible que les coefficients usuels soient excessifs. Lorsque l'on tiendra compte systématiquement de l'action de l'enrobage dans un calcul préalable, il sera utile de prévoir des dispositifs contrariant le glissement du béton sur l'acier et renforçant l'adhérence, notamment un léger frettage.

Au point de vue d'ensemble d'une ossature, on peut être d'accord avec le rapport du Professeur Hawranek concernant l'opportunité de calculer la charpente métallique pour les charges qu'elle subit avant enrobage et au cours du bétonnage et de faire intervenir la contribution du béton en ce qui concerne la résistance finale. L'organisation du bétonnage devra être coordonnée avec les bases de calcul. Avant comme après enrobage, la continuité systématiquement réalisée contribue considérablement à la résistance et à la rigidité de l'ossature ; elle permet l'utilisation maximum en surface et en volume ainsi qu'une appréciable économie.

Dr. techn. F. BARAVALLE,
Assistent an der Technischen Hochschule, Wien.

Im Verlaufe der Diskussion wurde erwähnt, dass man sich wohl schon sehr viel mit der Erforschung von Eisen und Eisenbetonstützen verschiedenster Bauarten beschäftigt habe, dass aber in Bezug auf die Ausbildung der Anschlüsse von Säulen und Deckenträgern noch keine Arbeiten vorliegen.

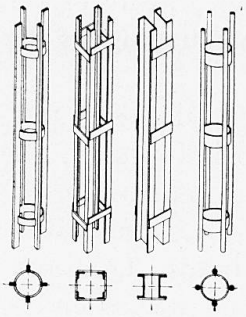
Fig. 1.

Demgegenüber möchte ich anführen, dass Baurat Dr. Ing. Bruno Bauer in Wien seit Jahren an der Vervollkommnung der Eisenbetonskelett-Bauweise arbeitet [1].

Die grundsätzliche Lösung des Bewehrungsgerippes, die weitgehend patentrechtlich geschützt ist, beinhaltet nun nicht nur

1) den Bau von Eisenbetonstützen mit Bewehrungen verschiedenster Querschnitte und Stahlgüten, sondern auch

2) die Verbindung der Unterzüge bezw. Deckenbalken mit den Säulen für die üblichen Deckenarten.

Für erstere (Abb. 1) liegen schon seit langem Veröffentlichungen über deren Bauart und Tragfähigkeit vor. Die diesbezüglichen Versuche wurden

1. Bisherige Veröffentlichungen :
Zeitschrift : Der Industriebau 1929, Heft 5.
Beton und Eisen 1930, Heft 17.
Verein deutscher Ingenieure 1931, Heft 22.
Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Verein 1932, Heft 1, 2.
Oesterreichische Bauzeitung 1932. Heft 7.