


IV-13. Tests on Wall Beams in Reinforced Masonry

Prof. Dr. Ir. F. Mortelmans
Prof. at the K.U. Leuven

Ir. L. Van Biervliet
Chief Engineer of A.S.B.L., Leuven Research & Development
Ir. A. Smits
Assistant Engineer
ABSTRACT

Walls of reinforced masonry can assume the role of wall beams in the construction of buildings.

The examination of the behavior of such elements of buildings has been affected by a testing service device in which the essential elements are the following:

- A  shaped formwork in concrete placed on the supports A and B.
- Placing of reinforcement in the formwork, then filling it with concrete.
- The flexural resistance of this beam thus formed, is clearly insufficient to bear the applied load.
- Two beams have been constructed; on the first a wall of claybricks was built, on the second a wall of concrete blocks.
- The two walls have been supplied with horizontal and vertical reinforcement designed to take up the tensile and shearing forces which appear in this type of construction.

During the tests the following parameters were measured:

- The strain in the reinforcement by means of electrical strain gauges.
- A mechanical extensometer was used for measuring the strain in the masonry.
- Dial gauges were used to measure the deflections of the wall-beam.

It is concluded from these tests that:

- a similar construction manifests a great load-bearing capacity.
- Bernouilli's law remains applicable.

Des murs en maçonnerie armée peuvent assumer le rôle de poutres cloison dans la structure d'une construction.

L'examen du comportement de tels éléments de structure a été effectué à l'aide d'un dispositif d'essai dont les éléments essentiels sont les suivants:

- un coffrage perdu en béton et en forme de U posé sur les appuis A et B;
- pose d'une armature dans ce coffrage rempli ensuite par du béton;
- la résistance à la flexion de cette poutre ainsi formée est nettement insuffisante pour porter la charge à appliquer;
- deux poutres ont été confectionnées; sur la première a été construit un mur en briques, sur l'autre un mur en blocs de béton.
- les deux murs ont été munis d'armatures horizontales et verticales destinées à reprendre les forces de traction et de cisaillement qui apparaissent dans cette construction.

Pendant les essais, les grandeurs suivantes ont été mesurées:

- l'allongement de l'acier à l'aide de jauges de contrainte
- les déformations dans la partie maçonnerie à l'aide de déformètres mécaniques.
- la flèche de la poutre cloison à l'aide de comparateurs.

Des ces essais résulte que:

- une pareille construction manifeste une force portative élevée
- la loi de Bernouilli demeure applicable.

INTRODUCTION

L'élément composite mur—poutre peut assumer le rôle d'élément—porteur dans une structure quelconque. Le mur agissant comme arc, décharge sensiblement la poutre en concentrant les efforts verticaux et horizontaux auprès des appuis. Le rôle principal de la poutre est celui de tirant. L'action décrite ci-haut diminue fortement le moment fléchissant dans la poutre (charge verticale près des appuis et effort horizontal excentré). D'autre part cette concentration des contraintes vers les appuis introduit d'importants efforts de compression et de cisaillement dans la maçonnerie. Selon plusieurs auteurs le comportement de telles structures composites serait gouverné par

plusieurs paramètres mais en premier lieu par la "rigidité relative mur-poutre":

$$K = \sqrt[4]{\frac{E_m t L^3}{EI}}$$

D'autres paramètres s'ensuivent du rapport hauteur/longueur du mur, la rigidité axiale de la poutre, les coefficients de Poisson pour le mur et la poutre, etc . . .

LES ESSAIS

Deux murs ont été confectionnés: l'un en briques et l'autre en blocs de béton. Tous les deux reposaient sur une

poutre en béton armé composée d'un coffrage perdu en forme de U, rempli de béton et armé de deux barres Ø 14 mm. Les deux murs ont été munis d'armatures horizontales et verticales destinées à reprendre les efforts de traction et de cisaillement (voir figure 1). Les briques perforées étaient pourvues d'encoches en boutisse et d'une perforation centrale pour permettre la pose de armatures verticales.

Les caractéristiques des différents matériaux utilisés sont rassemblées dans le tableau I. Les armatures II à X (voir figure 1) étaient du type Murfor, c.à.d. deux barres parallèles de diamètre 4 mm raccordées par un fil de diamètre 3,75 mm en zig-zag.

Les déformations relatives du mur et de la poutre ont été mesurées à l'aide d'un extensomètre mécanique: "DEMEC" (base de 4'' et 8'') et celles de l'acier à l'aide de jauges électriques. En plus les déplacements verticaux de la poutre et ceux de la fibre à mi-hauteur du mur ont été mesurés à l'aide de comparateurs.

Au cours des essais les observations suivantes ont été faites (Fig. 2):

- Les premières fissures se développent dans les joints verticaux entre les blocs U et se propagent vers les fibres supérieures en augmentant la charge.
- Dans la maçonnerie de blocs en béton les fissures se développent dans les joints en contournant les blocs. Les blocs mêmes ne déforment pratiquement pas (dans le sens horizontal) selon les mesures obtenues par DEMEC.
- Dans la maçonnerie en briques les fissures se propagent à travers les briques et les joints. Les fissures de cisaillement présentent un angle de 60° par rapport à l'horizontale.
- L'état de rupture se manifeste dans les deux cas par le développement en grande quantité de fissures de cisaillement, se propageant jusqu'aux appuis.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Influence du paramètre (K)

Selon plusieurs auteurs (1), (2), (3)—la rigidité relative

$$K = \sqrt[4]{\frac{E_m t L^3}{EI}}$$

gouvernerait le comportement structurel des murs se reposant sur des poutres. Généralement ces auteurs mentionnent comme limite supérieure pour:

— le moment fléchissant dans la poutre	$\frac{WL}{4 K^{4/3}}$
— effort de traction dans la poutre (T)	$W/3,4$
— compression maximale dans le mur	$1,63 \frac{W}{Lt} (K^4)^{0,28}$

Généralement on admet que le rapport h/L du mur soit plus que 0,6 . . . 0,7 pour que l'action composite puisse se développer. Pour les deux murs considérés ici ce rapport n'est que de 0,52. On peut donc s'attendre à ce que le

comportement de nos deux murs tend vers celui d'une poutre à grande hauteur.

Concentration des efforts auprès des deux appuis

Sur la figure 3 on constate une concentration nette des contraintes qui suivent approximativement la loi triangulaire proposée par certains auteurs (2.) La "longueur de contact" entre le mur et la poutre est de 235 mm dans le cas de blocs en béton et de 520 mm dans le cas de briques (fig. 3). Selon la théorie proposée par Riddington, J., R., (2) cette longueur serait respectivement:

$$\alpha = \frac{L}{K} = \frac{4.600}{19,6 \dots 15,6} = 235 \text{ et } 295 \text{ mm}$$

Cette théorie donne une estimation conservatrice pour le mur en briques et même exacte dans le cas de blocs en béton.

Traction dans la poutre

La figure 4, représentant les déformations horizontales dans la fibre moyenne verticale, nous montre que la poutre n'est pratiquement pas fléchiée mais qu'elle supporte une traction quasi-homogène. Ceci est confirmé par les mesures des déformations des armatures horizontales. En effet ces mesures révèlent une déformation égale des aciers placés respectivement en bas dans la poutre et entre la poutre et la première rangée de briques ou blocs.

La traction dans la poutre est de l'ordre de:

$$T = \epsilon [E_b A_b + E_a A_a] = 195 \text{ kN pour le mur en blocs} \\ 331 \text{ kN pour le mur en briques}$$

Le rapport T/W est respectivement de 4,79 et 2,05. Ceci ne correspond plus très exactement aux rapports proposés (3,4 à 4).

Moment fléchissant dans la poutre

Il semble très difficile de tirer des conclusions numériques sur base de la figure 4. Néanmoins vu que les déformations mesurées en haut et en bas de la poutre sont presque égales, il est clair que la poutre se comporte presque uniquement comme "triant" et ne supporte certainement pas la totalité de la charge, appliquée uniformément.

Poutre-cloison ou hypothèse de Bernoulli?

Vue la grande hauteur du mur (L/h = 1,77) on pourrait supposer que les hypothèses de Bernoulli ne seraient plus applicables pour le calcul de telles poutres mais que l'on est plus proche des poutres-cloisons. Néanmoins la mesure des déformations nous indique que ces dernières suivent une loi linéaire. Un calcul rapide nous montre que la fibre neutre se situerait respectivement à 64 et 50 cm de la fibre supérieure (Fig. 4, point F.N.) selon les hypothèses de Navier—Bernoulli et donc plus haut qu'en réalité; phénomène qu'on rencontre presque toujours dans le cas de poutres à faible hauteur. En tous cas les déformations ne suivent pas le diagramme ordinaire des poutres-cloisons où la fibre neutre se situe beaucoup plus bas.

Déflexions de la poutre

La déflexion centrale de la poutre augmente linéairement avec la charge appliquée (figure 5) jusqu'à 80...90% de la charge maximale. Ceci signifie que l'on se trouve toujours dans le domaine élastique. La déformation beaucoup plus importante de la poutre supportant le mur en briques nous montre clairement l'effet de la rigidité sur le moment fléchissant. Une valeur moins élevée du paramètre (K) implique une distribution plus uniforme de la charge et de ce fait un moment fléchissant plus important.

CONCLUSIONS

La concentration des contraintes auprès des appuis nous montre qu'une telle structure se comporte au moins partiellement comme un arc tendu.

L'influence du paramètre K est évident, quoique les résultats numériques ne correspondent pas toujours avec ceux trouvés par d'autres auteurs. Un ordre de grandeur de la "longueur de contact" et du rapport T/W peut être calculé sur base des formules mentionnées plus haut. A cause de la faible valeur du rapport h/L (0,52 au lieu de minimum 0,6 à 0,7) on ne peut s'attendre à une correspondance plus exacte.

Les déformations de la fibre moyenne verticale suivent plutôt les hypothèses de Bernoulli—Navier que celles des poutres—cloisons.

Les diagrammes déflexion—charge suivent une loi linéaire. La déflexion maximale était respectivement de L/1600 et L/570 pour la maçonnerie de block en béton et

celle de briques. Ceci confirme que le contrôle des déflexions est rarement nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Stafford Smith, B. et Riddington, J. R.: The composite behaviour of elastic wall-beam systems. Proc. Inst. Civ. Engrs., 1977, 63, Juin, 377–391.
2. Riddington, J. R. et Stafford Smith, B.: Composite method of design for heavily loaded wall-beam structures. Proc. Inst. Civ. Engrs., 1978, 64 Février, 137–151.
3. Stafford Smith, B. et autres: Tests on wall-beam structures. Proc. Brit. Cer. Soc., 1978, 27, Décembre, 289–303.
4. Page, A. W.: A non-linear analysis of the composite action of masonry walls on beams. Proc. Inst. Civ. Engrs. 1979, 67, Mars, 93–110.
5. Baty, F.: Maçonnerie Armée. Rapport final 1976-1978.

NOTATIONS

- E_m = module d'élasticité de la maçonnerie
 E = module d'élasticité de la poutre
 f_m = résistance à la compression de la maçonnerie
 L = portée libre
 h = hauteur de la maçonnerie
 t = épaisseur de la maçonnerie
 I = moment d'inertie de la poutre
 p = surcharge par mètre courant appliquée en haut du mur
 W = charge totale (poids propre inclu)

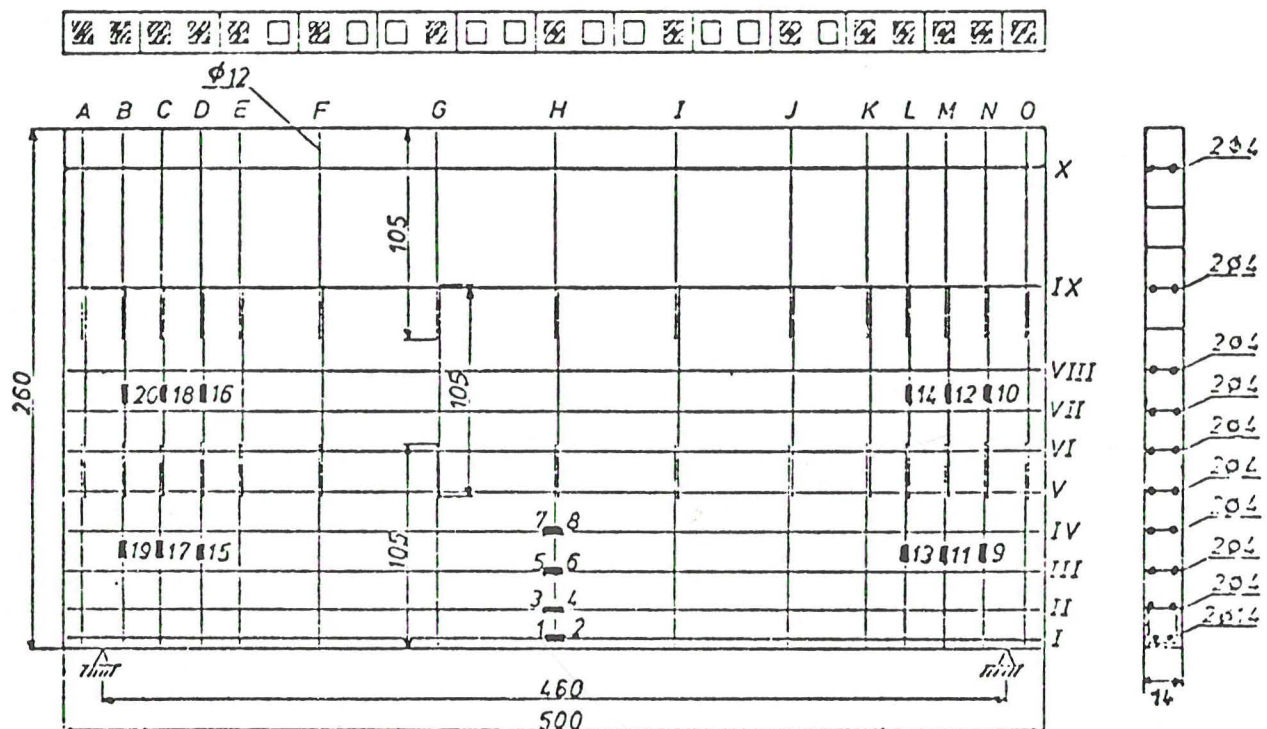


Figure 1. Emplacement des armatures et jauges électriques. Eprouvette n° 1; mur en blocs de béton.

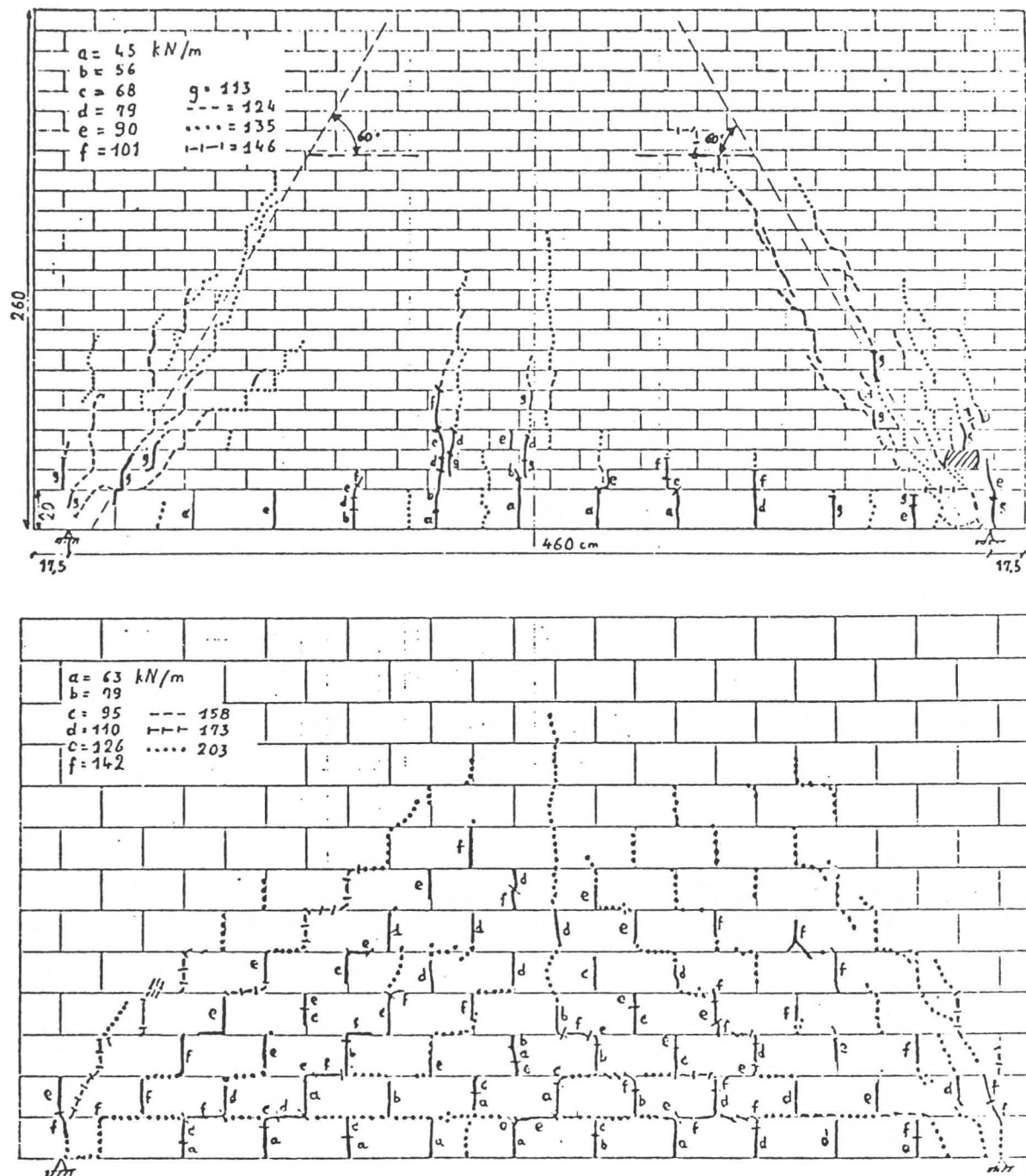


Figure 2. Naissance et propagation des fissures.

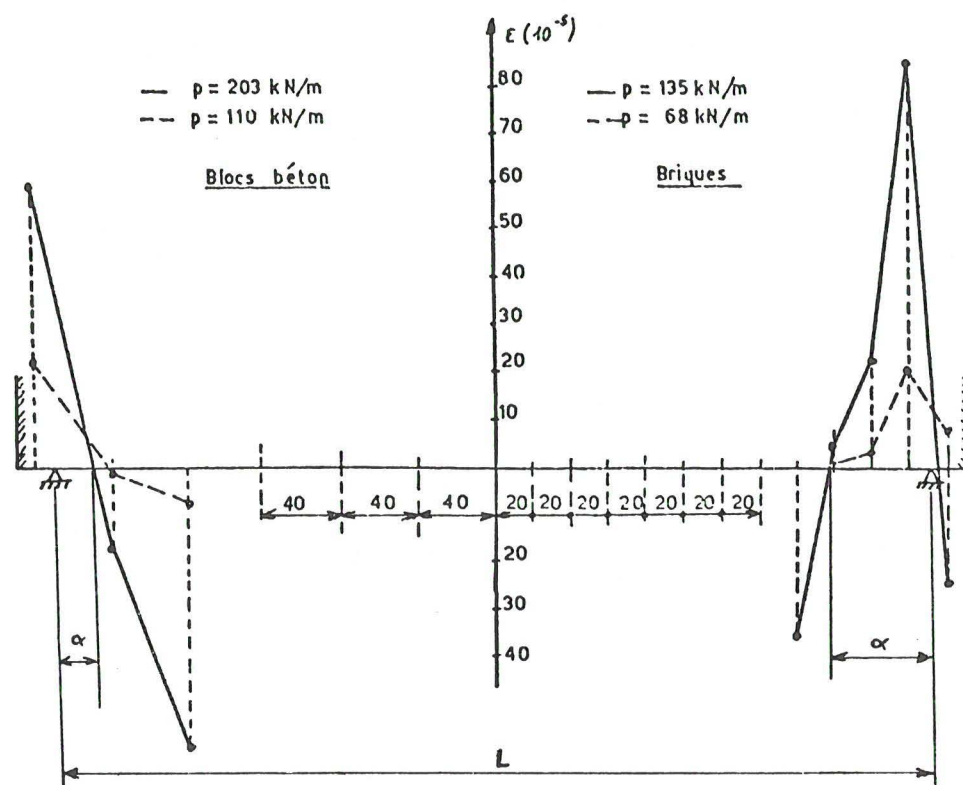


Figure 3. Déformations verticales mesurées sur la première rangée de blocs ou briques (DEMEC base 4'').

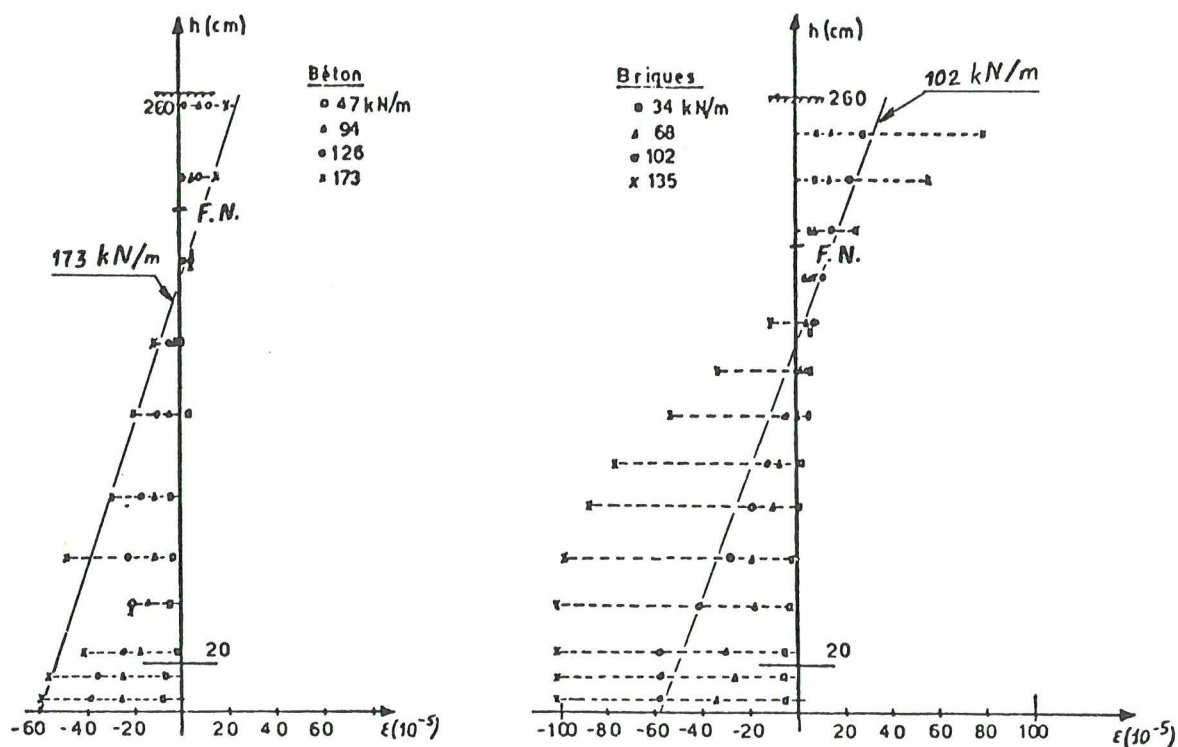


Figure 4. Déformations horizontales mesurées sur la fibre moyenne verticale (DEMEC base 8'').

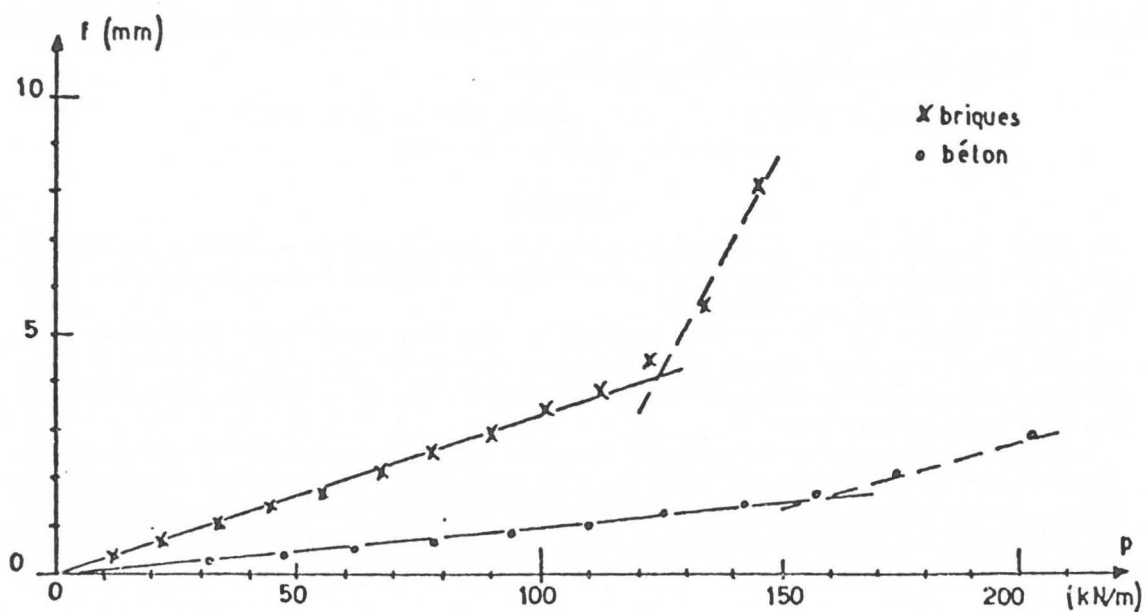


Figure 5. Déflexion au centre de la portée en fonction de la surcharge.

Tableau I—Caractéristiques des matériaux utilisés.

Caractéristique	Briques	Blocs
Dimensions (cm)	29/9/14	39/19/14
E_m (N/mm ²)	5.000	10.000
Résistance à la compression (N/mm ²)	27,1	16,6