

Utilisation des colles dans le béton armé

Autor(en): **L'Hermite, Robert**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **9 (1972)**

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-9557>

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.

**Utilisation des colles dans le béton armé
Le béton plaqué**

Verwendung von Kunststoff-Klebstoffen im Stahlbetonbau
Mit Stahlblech beklebter Beton

The Use of Bonding Agents in Reinforced Concrete
Plated Concrete

ROBERT L'HERMITE

Directeur Général Scientifique et Technique de l'U.T.I.
(Union Technique Interprofessionnelle des
Fédérations Nationales du Bâtiment et des Travaux Publics)
Secrétaire Général de la R.I.L.E.M.
(Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Re-
cherches sur les Matériaux et les Constructions)
Paris, France

Les colles peuvent constituer des moyens d'assemblages efficaces et économiques. Elles ont, dans le bâtiment, de multiples emplois dès à présent, et leurs applications ne feront que prendre plus d'importance. Les collages métal sur métal ont fait l'objet de plusieurs de nos études mais la direction dans laquelle j'ai plus spécialement travaillé est le collage béton-métal et, plus particulièrement, béton-acier.

Au préalable, il a été nécessaire de reconnaître les qualités des colles : résistances, vitesses de durcissement, liaisons avec les matériaux, fluage, durée, sensibilité à l'eau et à la température. Ceci a été fait grâce à de nombreux essais effectués aussi soigneusement que possible. Finalement, les résines choisies sont de la famille des époxydes, contenant des catalyseurs appropriés et des charges inertes. Les résistances obtenues atteignent, dans le couple acier-acier, 100 bars au cisaillement et 150 bars à la traction normale. Ce qui nous donna le meilleur espoir quant à l'utilisation en béton armé vu que ces résistances étaient largement supérieures à celles d'un béton courant, et c'est ainsi que je suis arrivé au procédé du *BETON PLAQUÉ*.

On voit alors s'ouvrir deux possibilités, deux portes si j'ose dire.

La première possibilité est celle du *béton à coffrage portant* qui consiste à couler dans un coffrage servant d'armature le béton nécessaire pour assurer la résistance à la compression (fig. 1). Dans son principe, cette idée conduit à une économie de coffrage mais à condition que la liaison acier-béton soit normalement assurée sans risque de décollage et de glissement puisque les joues latérales sont destinées à résister à l'effort tranchant. Il a donc fallu sélectionner une colle propre à durcir en présence du béton frais, ce qui a été fait. Ensuite, il a été nécessaire de mettre au point le procédé de collage qui consiste, en premier lieu, à dégager de toute oxydation la surface des tôles ; ceci se fait par sablage, grenailage ou meulage. Aussitôt, il est indispensable, pour éviter toute réoxydation rapide (on sait que l'acier s'oxyde très vite) de répandre, immédiatement après nettoyage, une couche de peinture primaire à base d'époxy qui protège la tôle d'acier pendant quelques jours. Mis en place,

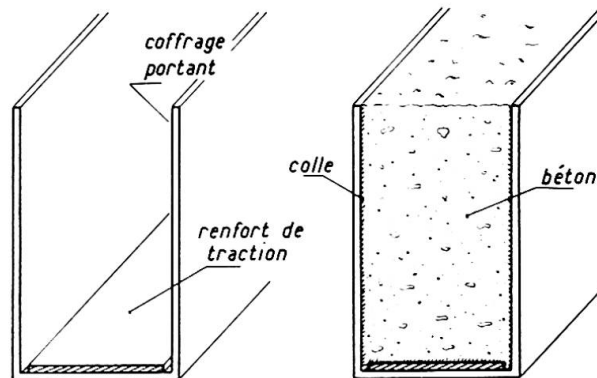


Fig. 1

le coffrage portant dont on peut maintenir provisoirement la position par des cavaliers munis d'aimants permanents est alors enduit de colle sur les surfaces destinées à entrer en contact avec le béton. Cette colle est appliquée par un moyen approprié sur une épaisseur de un à deux millimètres. Le béton coulé peut durcir naturellement ou peut être soumis à un traitement thermique, à condition que la température ne dépasse pas 80 °C. Le chauffage favorise également le durcissement de la colle et la rend moins sensible par la suite aux variations de température.

Ceci fournit une application type aux planchers de bâtiment, prise comme exemple le plus simple. Elle peut être associée aux armatures internes par exemple pour les moments négatifs ou complétée par des tôles collées après coup pour supporter des cisaillements supplémentaires, des moments négatifs et autres sollicitations.

Sans chercher à épuiser le sujet, je signale l'exécution de dalles porteuses suivant le schéma de la figure 2, réalisées en béton d'argile expansée. Le gain de poids très net provient de l'augmentation du bras de levier relatif par suppression de l'épaisseur de protection par le béton des armatures habituelles de traction. La protection contre la corrosion est faite par de la peinture généralement de même nature que la couche primaire interne.

Ultérieurement, j'ai étendu l'affaire aux coques dans lesquelles la tôle porteuse de coffrage peut être courbée à l'avance suivant la forme désirée, avec un minimum de support (fig. 3). Le béton est projeté ou coulé sur la surface courbe moyennant certaines sujétions dont j'ai étudié les principes. Il faut, pour que ce soit économique, obtenir des surfaces développables (partant d'un plan), mais les collages entre tôles, les brisures et les bordures ne sont pas exclus. J'ai, dès à présent, réalisé quelques couvertures de ce genre.

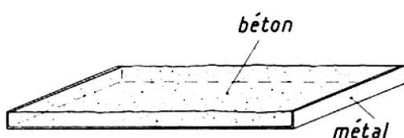


Fig. 2

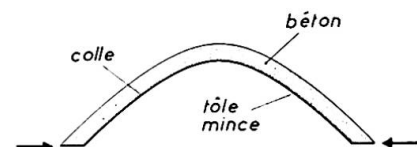


Fig. 3

Voici une illustration (fig. 4) : l'essai d'une voûte en béton plaqué sur une tôle de base circulaire.

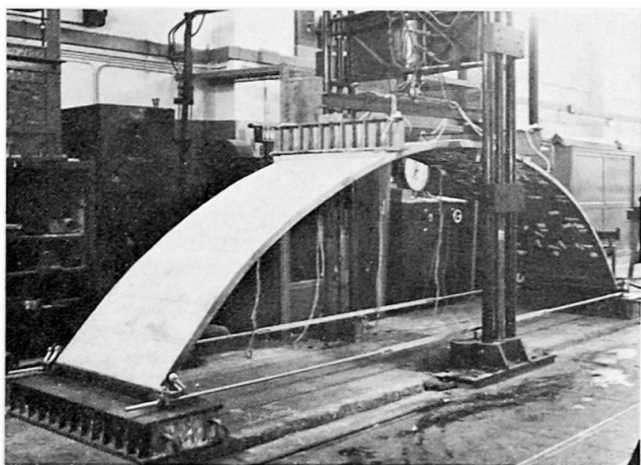


Fig. 4 - Essai d'une coque en béton plaqué. Portée 5,20 m. Flèche 1,30 m. Epaisseur 40 mm. Tôle de 2 mm.

Le *renforcement par acier plaqué* est une autre application fort intéressante du collage. Examinons le cas d'une poutre en béton armé amenée à supporter une surcharge supérieure à celle pour laquelle elle a été prévue et calculée, ou une poutre qui, par suite d'une négligence, paraît être insuffisamment armée ; lorsque l'insuffisance provient des armatures de traction, il est possible de coller sur la partie tendue de la poutre une ou plusieurs tôles de renfort (fig. 5). Lorsque la faiblesse vient d'un manque d'armature à l'effort tranchant, on vient coller des tôles sur les joues latérales que l'on retourne sur les renforcements longitudinaux. Il est souvent nécessaire d'ailleurs d'opérer un double renforcement, comme l'indique la figure 5.

La difficulté que l'on rencontre souvent se trouve dans la région des appuis, là où les barres déjà existantes supportent l'adhérence. Différents palliatifs sont possibles mais il faut porter son attention sur ce point.

Notons que pour obtenir une bonne adhérence, il faut tout d'abord que le béton soit de bonne qualité ; on peut s'en rendre compte par l'essai d'arrachement d'une pastille métallique collée (2 cm de diamètre environ). Les enduits superficiels doivent être détruits, les surfaces doivent être sablées ou meulées (la couche superficielle étant généralement de moindre résistance) afin de faire apparaître les granulats ; elle doit être dépoussiérée à la brosse et à l'aspirateur. Les surfaces dégagées doivent être aussi planes que possible pour que la tôle puisse être appliquée sans que l'épaisseur de colle dépasse 2 mm. En cas de manque de planéité, il est possible de rectifier la surface à la truelle et à la règle, à l'aide d'une couche de mortier d'époxy au sable fin.

Afin de permettre au placage de se prêter aux défauts de planéité, il est recommandé de ne pas utiliser des épaisseurs de tôle supérieures à 3 mm, quitte à coller plusieurs épaisseurs successives si nécessaire. J'ai vu des cas de décollement, dans des opérations effectuées sans mon intervention où l'on avait collé des tôles de 10 mm. La courbure qu'il avait fallu produire

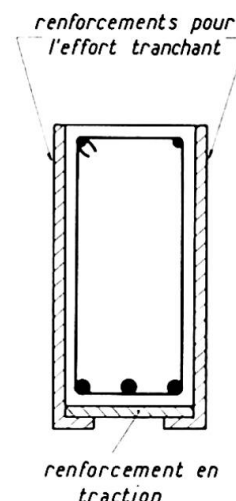


Fig. 5

pour l'application avait provoqué des tensions permanentes de flexion et des réactions de traction normales à la surface de séparation suffisantes pour dépasser la résistance de la colle. Il en est résulté un décollage sur les bordures, lequel s'est propagé sur une grande partie de la surface, rendant le renforcement illusoire. Ceci est un exemple à ne pas suivre.

Après dégagement et nettoyage de la surface de béton, il est bon d'appliquer au pistolet ou au pinceau une couche de primaire qui sert d'accrochage à la colle proprement dite, on améliore ainsi la résistance.

Une autre application du béton plaqué est celle des poutres en I élégies, à âme mince, l'âme de la poutre étant généralement armée d'étriers ou de barres relevées, surtout aux alentours des appuis. J'ai pensé remplacer l'armature de l'âme par une tôle d'épaisseur appropriée sur laquelle on colle latéralement du béton. L'essai s'est révélé très satisfaisant, c'est-à-dire que le même poids d'acier que celui des armatures d'effort tranchant mais sous forme de tôle d'acier a donné un résultat équivalent à la rupture mais le début de fissuration a été retardé. En plus, la mise en place de la tôle centrale a été plus économique que l'armature classique. Je pense même que le remplacement des armatures longitudinales hautes et basses peut être fait grâce à des profilés en cornière collés à l'âme. Je n'ai pas encore pu effectuer les essais correspondants faute de temps et de moyens. Nous retombons alors sur la charpente métallique collée et enrobée de béton.

Une autre application qui se rapproche de la charpente métallique associée au béton (construction mixte acier-béton) est le cas de planchers en béton portés par des profilés métalliques (fig. 6a). Le problème est couramment résolu en assurant la liaison acier-béton par des connecteurs soudés sur la poutre métallique. L'adhérence acier-béton étant négligeable, les liaisons devant résister au cisaillement et à la traction sont données uniquement par les connecteurs.

Dans le cas où l'on interpose entre la table supérieure des profilés et le béton une couche de colle, l'adhérence n'est plus négligeable et l'on obtient une liaison acier-béton qui est à la fois capable de résister au glissement et à la traction normale. L'avantage du collage est que les contraintes sont réparties sur toute la surface et non pas concentrées en autant de points durs qu'il y a de connecteurs. L'effort de glissement par unité de longueur est d'autant plus faible que la table supérieure est plus large. Il est possible que pour des profilés étroits la résistance au cisaillement ne donne pas un coefficient de sécurité suffisant. D'où l'idée d'interposer entre la tôle et le profilé une contre-tôle de largeur $L > \ell$ collée d'une part sur le profilé et d'autre part sur le béton (fig. 6b) qui permet de tenir compte d'une résistance au glissement plus importante.

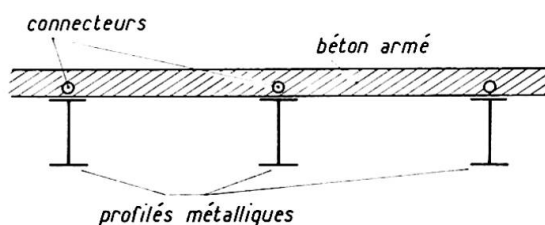


Fig. 6a

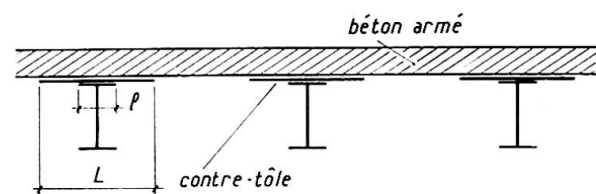


Fig. 6b

Comme application des colles au renforcement, bien que ce ne soit pas à proprement parler du béton plaqué, je citerai encore le renforcement des planchers par dalles contrecollées. Il arrive que sous l'augmentation des surcharges les dalles deviennent trop minces pour supporter les charges concentrées, ou que l'on ait besoin d'augmenter la section de la table de compression des poutres. Il faut alors dégrader la surface supérieure au jet de sable ou à la meule. On nettoie la surface nouvellement dégagée par brossage et aspiration des poussières. Une couche de colle appropriée est

alors répandue (le plus souvent au pistolet) et peu de temps après le nouveau béton est coulé sur 5 à 10 cm d'épaisseur. On dispose pour effectuer ce travail de 1 à 2 heures selon la température et la résine employée. La surcouche de béton doit être armée d'un grillage ou d'un treillis soudé

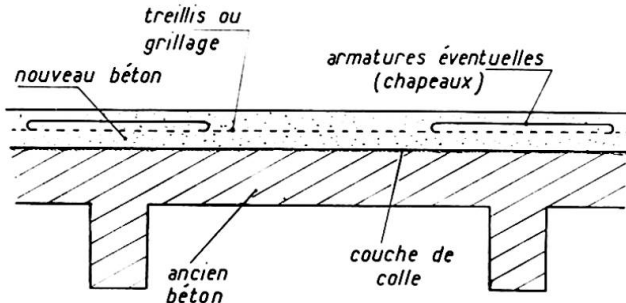


Fig. 7

renforcement continus étant susceptibles de supporter des moments négatifs, il est souvent utile de placer dans la contre-couche des armatures correspondantes (chapeaux) comme l'indique la figure 7. Il ne faut surtout pas employer de béton liquide pour éviter que la laitance ait tendance à se répandre devant l'avancement du coulage et à salir la surface de colle qui n'aurait qu'une adhérence réduite. En général, on utilise un béton assez sec et une lame vibrante.

On peut aussi effectuer un chauffage léger par rayonnement infrarouge pour accélérer le durcissement en ayant soin cependant de protéger le béton contre l'évaporation grâce à une membrane de plastique développée ou projetée au pistolet.

Les techniques de renforcement ne se limitent pas au béton ; elles peuvent s'étendre au bois, à la charpente et aux échafaudages pour réduire les flèches et accroître la résistance à la rupture. Elles s'appliquent même à la maçonnerie. Sur la figure 8, on voit la coupe d'un linteau en maçonnerie de briques creuses de 7 x 22 cm, collées latéralement sur une tôle de 2 mm. Sur une portée de 1,80 m, la poutre s'est rompue sous une charge de 3 800 kg tandis que sans cette armature la résistance était négligeable. On peut en faire autant avec de la pierre de taille. Ceci ouvre des possibilités de pré-fabrication en maçonnerie.

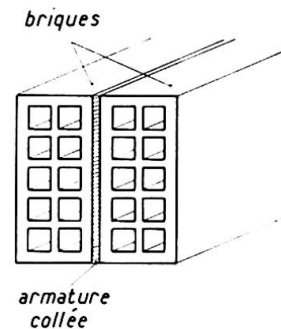


Fig. 8

Le seul inconvénient du collage est que les résines dont nous disposons actuellement s'amollissent vers 80 °C. Cependant, on peut disposer une protection efficace grâce à un isolant qui a pour effet, en cas d'incendie par exemple, de retarder le temps d'amollissement. Une protection obtenue par des plaquettes de vermiculite ou de plâtre de 5 à 6 cm d'épaisseur retarde de 1 h 30 l'apparition de la température atteignant 80 °C sous une atmosphère extérieure portée à 600 °C.

On trouvera ci-après en annexe des compléments sur le calcul et le résultat des expériences.

ANNEXES

1 - MESURE DE L'ADHERENCE DU COLLAGE

Deux tôles T sont collées sur les deux faces opposées d'un prisme de béton de 7 x 7 x 28 cm (fig. A.1). Ces tôles sont mises en traction à leurs extrémités libres à l'aide d'une tige de traction A₁ terminée en rotule et s'appuyant sur la pièce P. Ces tôles transmettent leur effort au béton E par l'intermédiaire du collage ; la fixation à la pièce P est faite par boulonnage. Elles travaillent en traction et le prisme de béton est comprimé à l'aide de la tige A₂ et de l'étrier S qui transmet une compression par l'intermédiaire de l'appui M. Les tôles sont munies d'extensomètres à résistance de manière à mesurer la répartition de contraintes de traction sur leur longueur. On constate, ce qui correspond à l'évidence, que la répartition des contraintes dans l'acier n'est pas uniforme. Ceci peut être prévu théoriquement (d'après BRESSON) moyennant les hypothèses suivantes évidemment simplifiées :

- l'acier, le béton et la colle sont élastiques,
- la colle ne supporte que des efforts de cisaillement,
- le système est considéré comme symétrique.

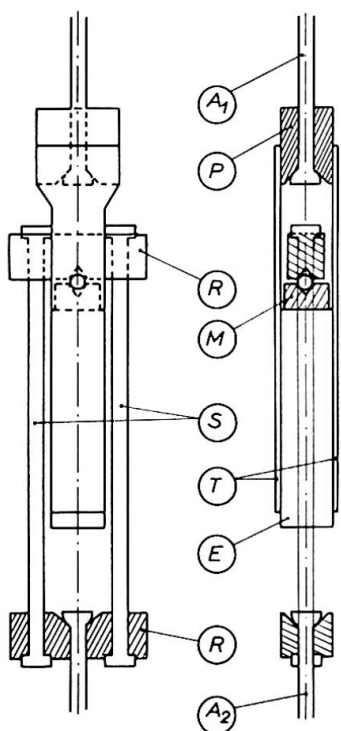


Fig. A.1

On obtient une équation :

$$\frac{d^2\tau}{dx^2} - w^2\tau = 0$$

où τ est la contrainte de cisaillement dans la résine, x la distance depuis l'origine non chargée de la tôle, $w^2 = c\left(\frac{1}{E_1e_1} + \frac{1}{E_2e_2}\right)$, E_1 et E_2

les modules d'élasticité du béton et du métal, e_1 la demi épaisseur du prisme de béton et e_2 l'épaisseur de la tôle, $c = \frac{G}{d}$, G module de cisaillement de la colle d'épaisseur d .

La solution générale est alors :

$$\tau_x = P w \frac{ch wx}{sh w l}$$

Si l est la longueur du collage :

$$\tau(x_0) = 0 \quad \tau_l = P w \frac{1}{tgh w l}$$

où P est la charge appliquée par unité de largeur de l'élément essayé.

La figure A.2 montre l'allure de cette courbe qui représente la variation du cisaillement dans la colle. Elle est nulle pour $x = 0$, extrémité libre de la tôle collée, et passe par un maximum à l'autre extrémité.

On peut encore écrire, moyennant une simplification, que la force longitudinale supportée par la tôle suit approximativement une fonction

$$P(x) = P \frac{sh wx}{sh w l}$$

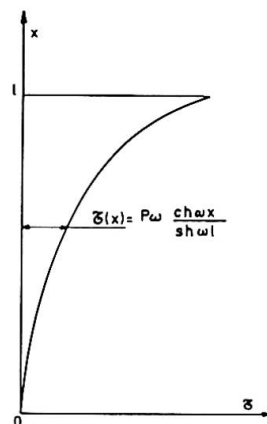


Fig. A.2

Un certain nombre d'expériences ont été faites sur des collages conformément au schéma de la figure A.1. De la mesure de tension dans les lames d'acier, on tire la valeur des cisaillements $\tau_x = \frac{dPx}{dx}$.

Pour une longueur de collage de 26 cm, la figure A.3 montre les résultats de l'essai sur une tôle de 1 mm et la figure A.4 pour une épaisseur de 4 mm. On voit que dans le premier cas une longueur de collage de 10 cm absorbe la tension appliquée tandis que dans le deuxième cas une longueur de collage de 15 cm est nécessaire. La figure A.5 montre l'élément d'essai après rupture. L'ensemble des essais est résumé dans le tableau suivant :

Numéro de l'essai	Épaisseur de la tôle (mm)	Charge de rupture (t)	Moyenne des charges de rupture (t)	τ_T moyen (bars)	σ_a (bars)
5 6 17 18	1	3,6 4,1 4,5 4	4	11	2 860
1 2 3 19	2	4,1 5 7,5 6,5	5,8	16	2 080
10 11 15 16	3	5,5 6,5 6,5 6,5	6,25	17,1	1 485
8 9 12 20	4	8 8,5 7,5 7,5	7,9	21,8	1 400
4 7 13 14	5	8,7 8,5 6 7,5	8,2	22,5	1 170

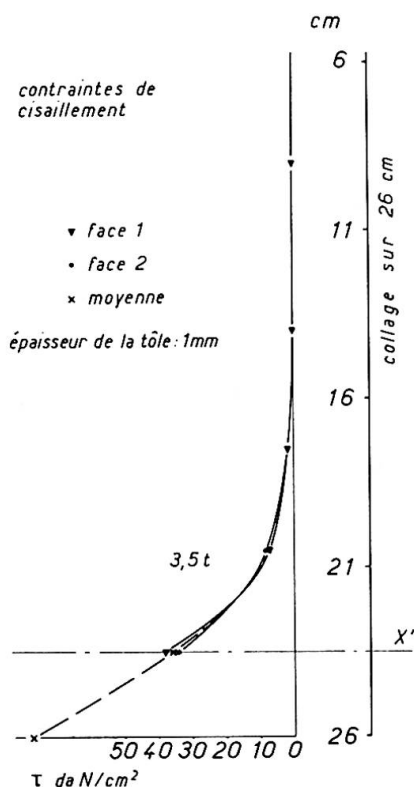


Fig. A.3

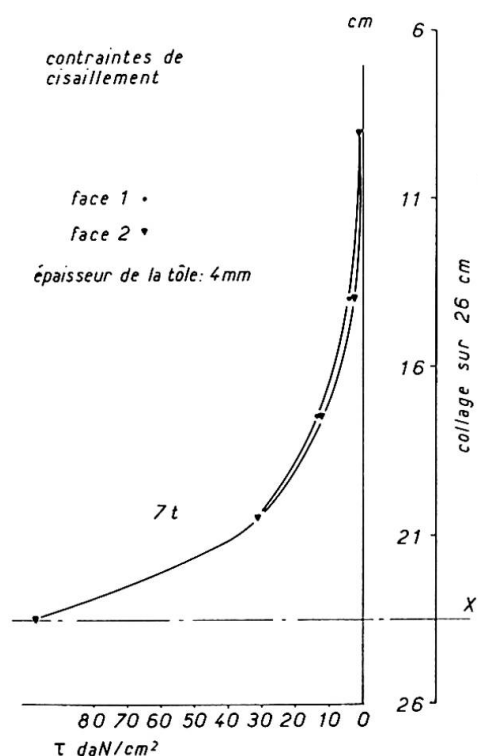


Fig. A.4

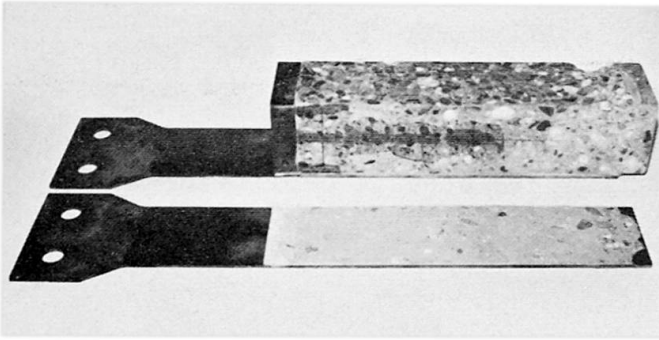


Fig. A.5

On voit que le taux de cisaillement moyen à la rupture croît avec l'épaisseur du collage tandis que le taux de travail de l'acier diminue. L'expérience montre encore que lorsque la longueur de collage dépasse 17 cm (épaisseur du collage 0,6 mm) la résistance cesse d'augmenter. Ce résultat est fort important pour les applications. On constate encore que pour des collages correctement réalisés la rupture a toujours lieu entre le béton et la colle.

2 - LIAISON ACIER-BÉTON DANS LA CONSTRUCTION MIXTE

J'ai parlé dans le cours du mémoire de la liaison acier-béton dans la construction mixte. Suivant la figure 6b, le cisaillement à l'interface colle-acier est, par unité de section :

$$\tau = \frac{T}{a} \frac{S}{I}$$

où T est l'effort tranchant, S le moment statique, I le moment d'inertie et a la largeur du contact. En accroissant a, comme l'indique la figure, par interposition d'une contre-tôle de largeur plus grande que la table, τ diminue pour atteindre une valeur admissible (fig. A.6).

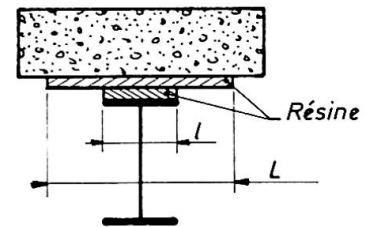


Fig. A.6

Afin de vérifier le principe théorique émis ci-dessus, J. BRESSON a effectué l'expérience définie par la figure A.7 dans laquelle les deux profilés ont été chargés en tête dans une machine de compression (fig. A.8) (la traction a été éliminée car elle aurait provoqué une rupture en traction entre BB et DD).

Sans interposition de tôle, la rupture a eu lieu à 24,7 tonnes entre la table du profilé et le béton, soit en moyenne à 20 bars (maximum 55 bars). Avec une interposition d'une tôle de 3 mm sur 0,50 m, la rupture a eu lieu à 66 tonnes entre le profilé et la tôle pour un taux de travail moyen au cisaillement de 66 bars, avec un maximum de 160 bars. C'est ce qu'il fallait démontrer (on consultera le mémoire de J. BRESSON).

La figure A.9 donne d'autres applications possibles du système.

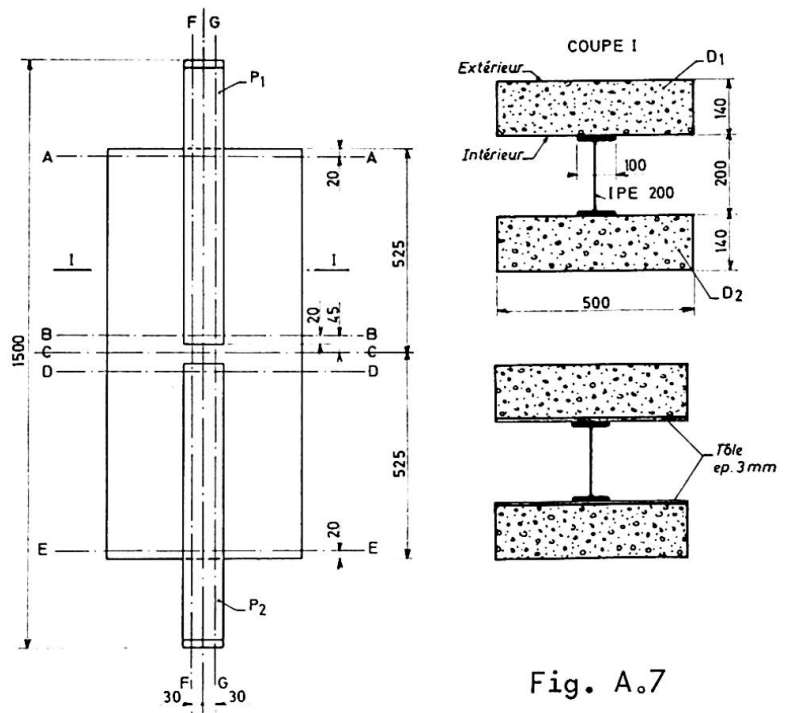


Fig. A.7

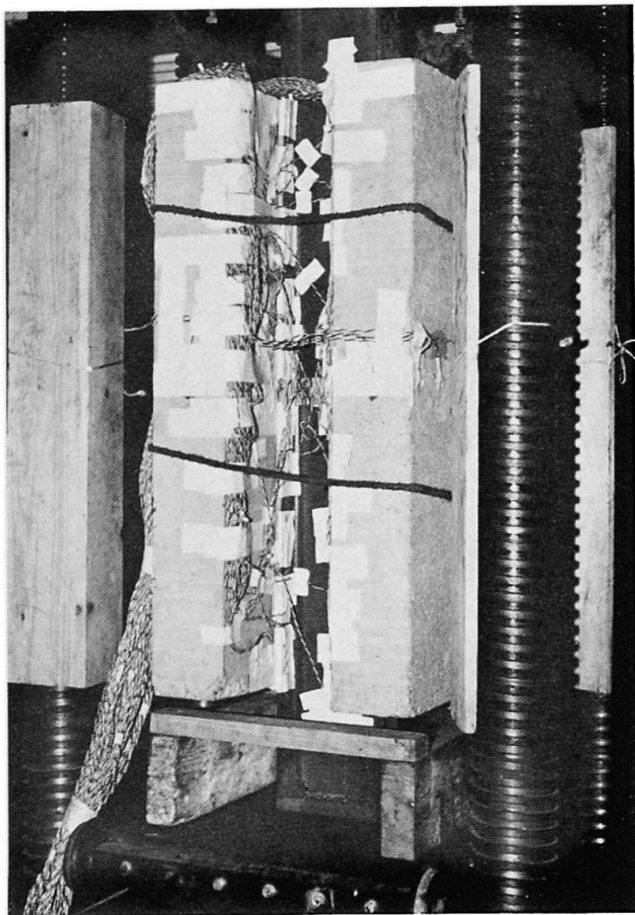


Fig. A.8

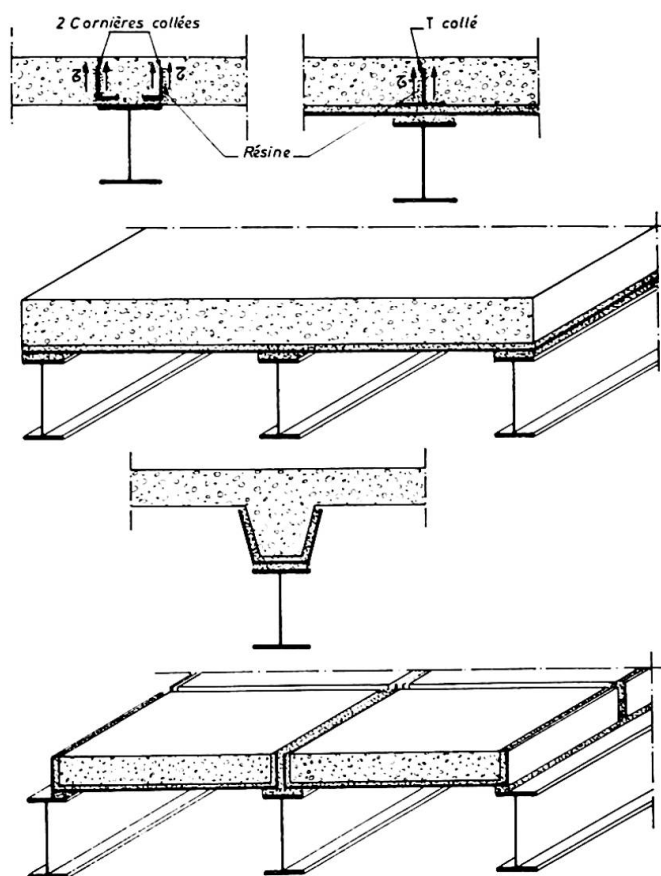


Fig. A.9

3 - VOILE MINCE

Je donne ici, sur la figure A.10, les contraintes calculées et mesurées au cours de l'essai de voûte mince illustré par la figure 4. C'est délibérément que, dans cette série d'expériences, nous n'avons pas armé les reins en traction et la rupture s'est produite dans la région correspondante. Au moment de la rupture, le béton supportait un taux de travail de - 24 bars. Cependant il est possible, et ceci a été fait, de renforcer la partie supportant un moment négatif par collage de bandes de tôle disposées suivant les directrices d'extrados, bandes qui peuvent être appliquées sur le béton encore frais ou durci. Ce renforcement permet de faire supporter à la voûte une surcharge bien plus élevée.

o
o o

Les premiers essais de collage acier-béton ont eu lieu en 1964-1965. La première application industrielle a été réalisée au début de 1966 et les suivantes sont de plus en plus nombreuses.

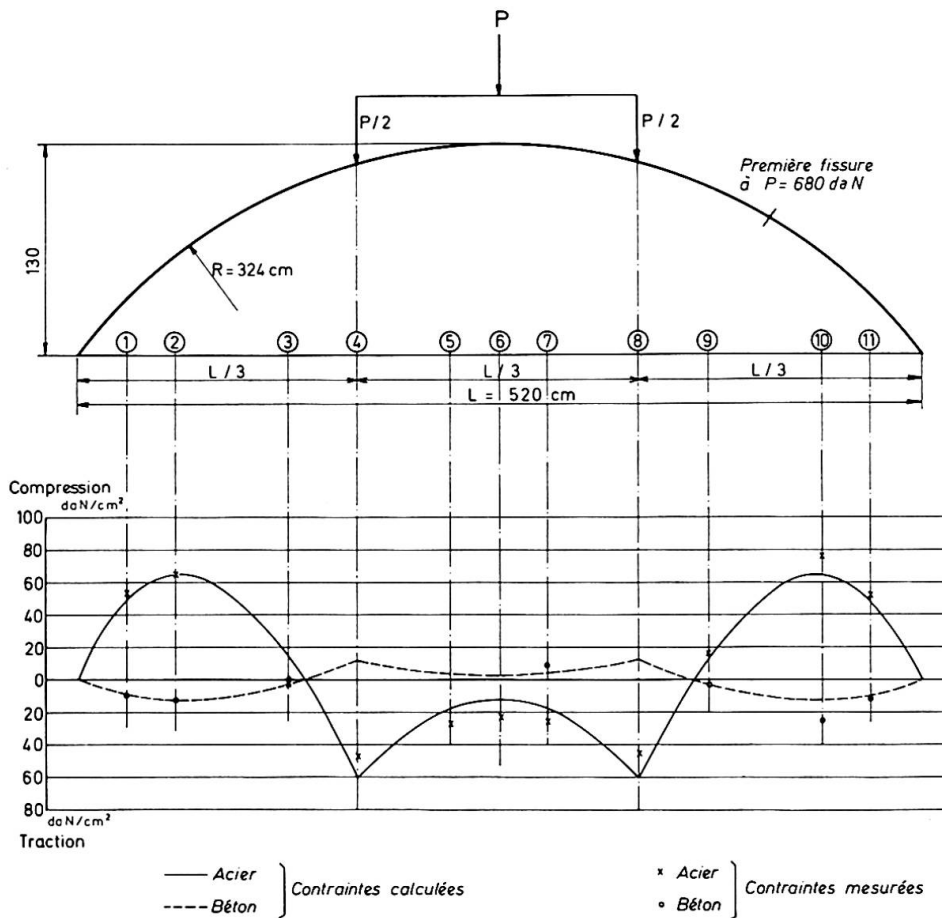


Fig. A.10

BIBLIOGRAPHIE

BRESSON (J.). - Nouvelles recherches et applications concernant l'utilisation des collages dans les structures, *Annales Inst. Techn. Bât. et T.P.*, Paris, février 1971, p. 21.

CIRODDE (R.). - Techniques d'assemblage par collage, in : Les résines de synthèse dans la construction, Colloque RILEM, septembre 1967, Eyrolles, Paris, 1971, p. 47.

L'HERMITE (R.). - L'application des colles et résines dans la construction. Le béton à coffrage portant, *Annales Inst. Techn. Bât. et T.P.*, Paris, novembre 1967, p. 1. - Les résines synthétiques dans la structure, *L'Architecture d'Aujourd'hui*, Paris, décembre 1968-janvier 1969, n° 141.

L'HERMITE (R.) et BRESSON (J.). - Béton armé par collage des armatures, in : Les résines de synthèse dans la construction, Colloque RILEM, septembre 1967, Eyrolles, Paris, 1971, p. 175.

RESUME

La mise au point, ces dernières années, de colles possédant certaines performances a rendu possible leur utilisation dans les travaux de génie civil. Ainsi a été conçu le procédé du béton plaqué qui offre deux types d'applications : le béton à coffrage portant et le renforcement par acier plaqué de structures en béton armé en particulier. On donne en annexe des compléments sur le calcul de l'adhérence acier-béton et les résultats d'expériences de laboratoire.