

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 111 (1985)
Heft: 22

Artikel: Connecteurs pour construction mixte acier-béton
Autor: Crisinel, Michel / Clénin, David
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75663>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.05.2025

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

Connecteurs pour construction mixte acier-béton

par Michel Crisinel et David Clénin, Lausanne

La réalisation de poutres mixtes acier-béton exige une connexion fiable entre les deux différents matériaux. La connexion usuelle par goudjons soudés sur le profilé en acier se heurte à certaines difficultés sur le chantier, particulièrement lorsque la soudure doit s'effectuer à travers la tôle profilée d'un plancher en construction mixte.

Le nouveau connecteur HVB est fixé sur le profilé métallique sans soudure, à l'aide d'un appareil de scellement à cartouches. La résistance de ce nouveau type de connexion a été déterminée à l'aide de plusieurs séries d'essais.

1. Introduction

Les poutres mixtes acier-béton sont des éléments porteurs fléchis composés d'une poutre métallique et d'une dalle en béton. Les deux matériaux sont solidarisés mécaniquement par une connexion afin que le glissement entre acier et béton soit limité. Dans le bâtiment, la connexion des poutres mixtes est assurée dans la plupart des cas par des goudjons. Ce sont des pièces cylindriques, comportant une tête, qui sont soudées sur l'aile du profilé métallique. Ce soudage s'effectue en général de façon semi-automatique à l'aide d'un pistolet. Lorsque la dalle en béton de la poutre mixte est constituée par un plancher mixte, la présence de la tôle profilée peut provoquer quelques difficultés lors de la pose des goudjons soudés sur place. En effet, il faut alors être très attentif aux éléments qui peuvent provoquer une mauvaise soudure du goudjon, tels que l'état de surface de la poutrelle (rouille, peinture, eau, souillure), le revêtement de la tôle profilée (galvanisation, prélaquage), le degré d'humidité et la température de l'air ainsi que l'alimentation électrique du pistolet de soudage (intensité et régularité du courant).

Toute tentative de pallier ces difficultés de soudage, qui conduisent parfois à renoncer à une solution mixte, est donc considérée avec intérêt par l'ingénieur et le constructeur en charpente métallique. La maison *Hilti* a récemment mis sur le marché un nouveau connecteur dont l'avantage principal est de nécessiter ni soudure ni courant électrique pour sa mise en place.

Le connecteur développé par *Hilti* (fig. 1) est une pièce métallique formée à froid, en forme de L, dont la section transversale a la forme d'un J. Ce connecteur est fixé à l'aile de la poutrelle métallique, généralement à travers la tôle profilée du plancher, à l'aide de deux clous *Hilti* mis en place par fixation directe avec un appareil de scellement à cartouches.

Le développement de ce nouveau connecteur a nécessité la réalisation de nombreux essais afin d'en déterminer le com-

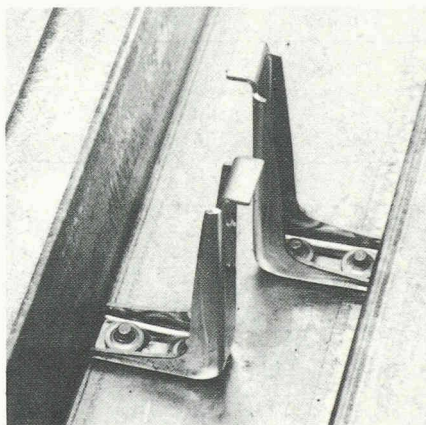


Fig. 1. — Le connecteur *Hilti* existe actuellement en deux grandeurs : 80 mm (HVB 80) et 105 mm (HVB 105).

portement sous charge et la résistance à introduire dans les calculs [1]¹.

2. Essais

Les essais effectués sur des connecteurs *Hilti* en vue de déterminer leur résistance, le glissement relatif entre l'acier et le béton ainsi que le mode de rupture de la liaison ont été faits à l'aide d'éprouvettes dites «push-out». Il s'agit d'un tronçon de profilé métallique sur les ailes duquel deux dalles en béton armé sont fixées à l'aide de 8 connecteurs. L'essai consiste à appliquer, à l'aide d'un vérin, une charge sur le profilé métallique, l'éprouvette reposant sur les dalles en béton (fig. 2). Les résultats sont constitués par la mesure, en fonction de la charge, des glissements relatifs entre le profilé et les dalles, ainsi que par l'observation des modes de rupture.

Les essais avaient pour but de déterminer la résistance caractéristique de deux grandeurs de connecteurs (HVB 80 et HVB 105) et de déterminer l'influence des tôles profilées sur le comportement et la résistance de ces connecteurs. Des essais complémentaires devaient déterminer l'influence de la disposition des

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

connecteurs, de la résistance du béton et des charges répétées.

Le tableau 1 donne un aperçu des différentes séries d'essais effectués, ainsi que de la charge ultime et du mode de rupture observé.

La courbe charge-glissement mesurée lors d'un essai «push-out» représente une bonne indication du comportement de la connexion acier-béton. Les essais effectués présentent trois comportements typiques, qui correspondent aux trois modes de rupture observés. Les figures 3 à 5 donnent ces trois comportements sous forme de courbes charge — glissement et de dessins schématisés du mode de rupture.

3. Comportement du connecteur *Hilti*

La construction mixte n'est possible que si on dispose d'une connexion à même de transmettre l'effort rasant qui agit à l'interface acier-béton. La préférence est donnée en général aux connecteurs souples qui, tout en conservant leur résistance, permettent un glissement relatif suffisant à l'état de ruine entre l'acier et le béton. Cette souplesse rend possible une redistribution des efforts rasants, ce qui permet d'effectuer un calcul plastique de la connexion [2]. Les essais de connecteurs *Hilti* avaient pour but de déterminer s'ils pouvaient être considérés comme des connecteurs souples.

3.1 Comportement des connecteurs *Hilti* utilisés avec dalle pleine

Lorsque les connecteurs *Hilti* sont fixés sur l'aile du profilé sans la présence de la tôle profilée, leur comportement sous charge est semblable à celui des goudjons. La rupture a lieu selon le mode 1 (fig. 3), par arrachement du connecteur à l'endroit des clous après un glissement relatif

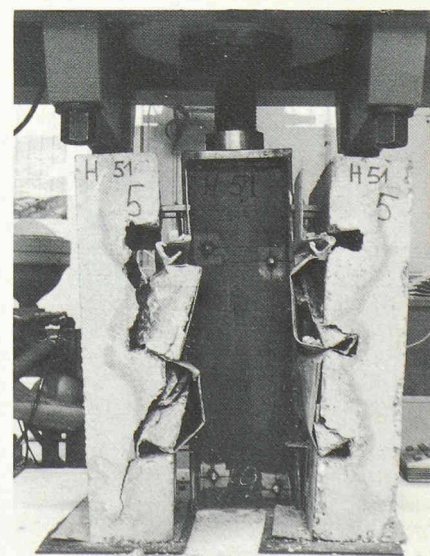


Fig. 2. — Essai «push-out». L'installation d'essais comprend un bâti de charge et un vérin hydraulique à servo-commande. L'éprouvette, qui repose sur les deux dalles en béton, est mise en charge par application d'une force sur le profilé à l'aide du vérin.

TABLEAU 1. Séries d'essais et résultats.

Série n°	Nombre d'éprouvettes	Connecteurs (8 connecteurs par éprouvette)	Profilé	Tôle profilée	Résultats d'essais		Paramètre étudié
					Mode de rupture	P_u [kN]	
1.1	3	HVB 80	IPE 180	Holorib 38	1	288	Type de tôle profilée
1.2	3	HVB 80	IPE 180	Holorib 51	2	200	
1.3	3	HVB 80	IPE 180	Montarib 58	3	140	
1.4	3	HVB 80	IPE 180	Hi-Bond 55	2-3	100	
1.5	3	HVB 80	IPE 180	—	1	232	
2.1	3	HVB 105	HEB 240	Cofrastra 70	3	154	Type de tôle profilée
2.2	3	HVB 105	HEB 240	Cobacier 80	2	226	
2.3	3	HVB 105	HEB 240	Montarib 58	2	250	
2.4	3	HVB 105	HEB 240	Hi-Bond 55	2	208	
2.5	3	HVB 105	HEB 240	—	1	284	
3.1	3	HVB 80	HEB 240	Holorib 51	2	200	Ecartement des connecteurs
3.2	3	HVB 80	HEB 240	Holorib 51	2	203	
4	3	HVB 80	IPE 180	Holorib 51	2	210	Cycles de charge
5	3	HVB 80	IPE 180	—	1	198	Charge transversale
6.1	3	HVB 80	IPE 180	Holorib 51	2	187	Résistance du béton
6.2	3	HVB 80	IPE 180	Holorib 51	3	185	

Modes de rupture:

- 1 cisaillement de la fixation des connecteurs
- 2 rupture locale du béton dans la zone des connecteurs
- 3 rupture totale du béton par cisaillement

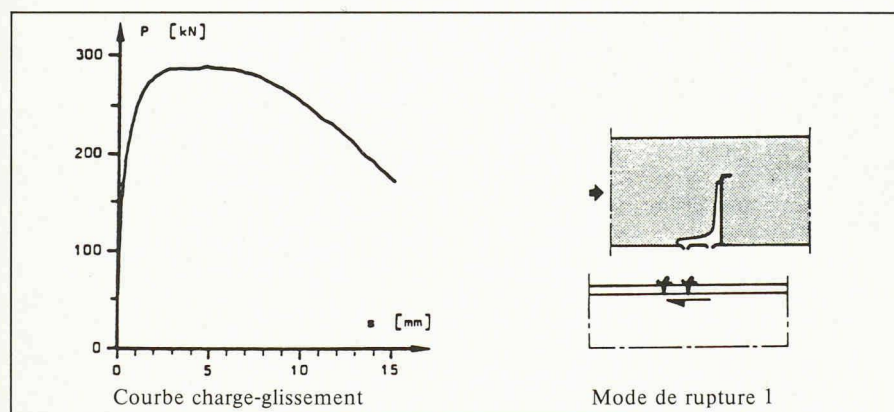


Fig. 3. — Comportement ductile.

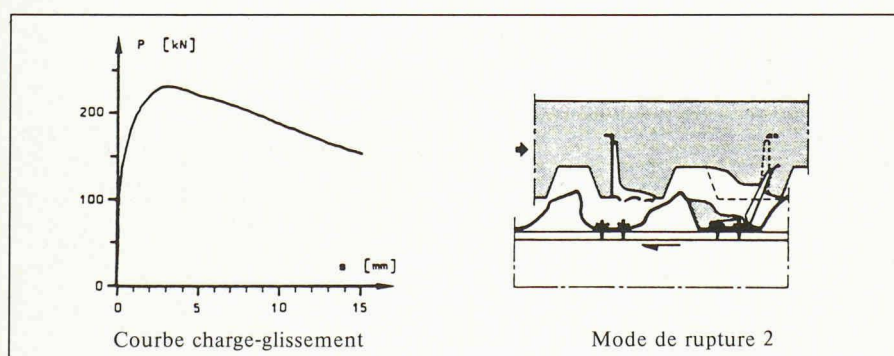


Fig. 4. — Comportement quasi-ductile.

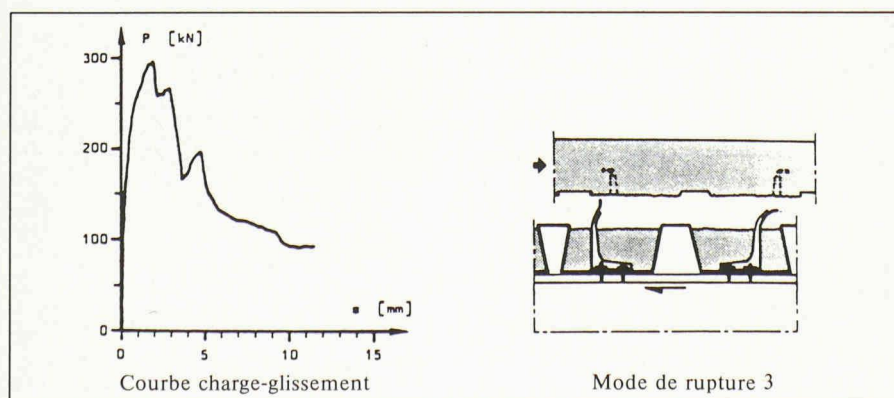


Fig. 5. — Comportement fragile.

important, supérieur à 15 mm. Ce comportement ductile, qui a été relevé dans tous les essais push-out d'éprouvettes sans tôle profilée, permet donc de considérer le connecteur *Hilti* comme un connecteur souple.

La résistance ultime à adopter dans un calcul plastique peut être tirée des essais. Après interprétation statistique, les valeurs de la résistance ultime d'un connecteur *Hilti* dans une dalle pleine en béton BH 300 sont les suivantes:

$$\text{HVB 80: } R_d = 23 \text{ kN}$$

$$\text{HVB 105: } R_d = 31 \text{ kN}$$

En cas de calcul élastique de la résistance ultime des sections mixtes, les valeurs R_d ci-dessus doivent être multipliées par 0,7 (facteur de réduction tiré des essais) pour les connecteurs *Hilti*, alors qu'elles le sont par 0,6 pour les goujons, selon la norme SIA 161 [2].

3.2 Comportement des connecteurs *Hilti* en présence de tôles profilées

La présence des nervures de la tôle profilée provoque dans la plupart des essais des amorces de rupture du béton qui font que la charge maximale ne peut pas être maintenue lorsque le glissement acier — béton augmente (fig. 4 et 5). Les essais effectués sur 24 éprouvettes avec 2 types de connecteurs et 6 types de tôles profilées ont montré que les deux paramètres les plus importants étaient:

- 1) la longueur du connecteur au-dessus des nervures ($h_D - e$) et
- 2) le rapport entre la largeur et la hauteur de la nervure en béton dans laquelle est situé le connecteur (w/e).

Selon certaines valeurs de ces paramètres, on a ainsi pu distinguer deux comportements :

- d'une part un comportement quasi-ductile (fig. 4);
- d'autre part un comportement fragile (fig. 5).

Le comportement quasi-ductile signifie qu'au-delà de la charge maximale, la résistance diminue à mesure que le glissement augmente. Ce comportement avait déjà été relevé pour les goujons, ce qui signifie que l'influence de la tôle est la même pour les connecteurs *Hilti* que pour les goujons. Il est donc possible d'utiliser une formule de réduction du même type. Les résultats des essais présentant un comportement quasi-ductile permettent de formuler la relation suivante, par analogie à la relation utilisée pour les goujons :

$$r = 0,50 \frac{w}{e} \frac{h_D - e}{e} \leq 1,0$$

où w = largeur moyenne des nervures de béton

e = hauteur des nervures de béton (= hauteur de la tôle profilée)

h_D = hauteur du connecteur (80 ou 105 mm)

Pour que ce comportement quasi-ductile ait lieu, il faut que les règles géométriques suivantes soient respectées (fig. 6) :

$$\frac{w}{e} < 1,8 \rightarrow \begin{cases} h_D - e \geq \frac{2e}{3} \\ h_D - e \geq 30 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\frac{w}{e} \geq 1,8 \rightarrow h_D - e \geq 30 \text{ mm}$$

Si ce n'est pas le cas, la connexion présente un comportement fragile, que les essais ont mis en évidence, dû à la rupture du béton par cisaillement dans un plan situé juste au-dessus des nervures. Cette situation doit être évitée à tout prix.

3.3 Influence d'autres paramètres

Une série complémentaire d'essais (série 3) a montré que l'écartement transversal, perpendiculairement au sens de l'effort, entre deux connecteurs placés dans

la même nervure, n'a pas d'influence sur la capacité portante de ces deux connecteurs. Il en est de même du sens de pose des connecteurs, qui n'influence ni leur comportement, ni leur résistance. D'autre part, on constate également que l'épaisseur de l'aile du profilé sur laquelle les connecteurs sont fixés n'a pas d'influence sur le résultat de l'essai, pour autant qu'elle soit égale ou supérieure à 8 mm.

Trois éprouvettes (série 4) ont été soumises à 10 000 cycles de charge variant entre 0 et $0,5 P_u$ avant d'être soumises à l'essai de charge statique. A la fin de ces charges répétées, aucun glissement relatif résiduel n'a été constaté. Les essais de charge statiques consécutifs n'ont pas présenté de différences significatives par rapport aux éprouvettes similaires chargées normalement.

Il est connu que plus la résistance du béton est élevée, plus la rupture de celui-ci est fragile. Les éprouvettes avec béton normal de basse résistance ($\beta_w = 22 \text{ N/mm}^2$, série 6.1) ont présenté un comportement ductile similaire à celui des éprouvettes avec béton *BH* ($\beta_w = 30 \text{ N/mm}^2$). Les éprouvettes avec béton spécial à très haute résistance ($\beta_w = 60 \text{ N/mm}^2$, série 6.2) ont par contre présenté un comportement beaucoup plus fragile, ce qui ne permet plus de considérer que la connexion est souple, et par conséquent ce qui ne permet plus le calcul d'une poutre mixte selon une méthode plastique. Ces résultats confirment la règle émise par le code-modèle sur les constructions mixtes [3] qui consiste à limiter la résistance caractéristique du béton sur cylindre à 28 jours à 30 N/mm^2 , (ce qui correspond environ à $\beta_{w28} = 40 \text{ N/mm}^2$) pour que les connecteurs puissent être considérés comme souples.

Il peut arriver dans les planchers mixtes de bâtiment, sur les poutres de bord, que les connecteurs soient sollicités selon deux directions perpendiculaires. D'une part, en tant qu'élément de liaison acier-béton de la poutre mixte, ils sont sollicités longitudinalement par un effort rasant parallèle à la poutre; d'autre part, en tant qu'élément d'ancrage du plancher mixte, tel qu'il est préconisé par la

norme SIA 161 [2], il est sollicité transversalement par un effort rasant perpendiculaire à la poutre. Une série d'essais (série 5) a montré que le comportement des connecteurs *HVB*, sollicités transversalement, était parfaitement ductile. La résistance, sans présence de tôle profilée, atteint le 85% de la résistance longitudinale, pour des glissements relatifs supérieurs à 15 mm. Les connecteurs *Hilti* sont donc à même, moyennant la connaissance plus précise de la sollicitation oblique qui agit sur eux, de jouer le rôle double de connexion de la poutre mixte et d'ancrage du plancher mixte.

4. Exemple de calcul

Le calcul ci-dessous a pour but de montrer la simplicité du calcul plastique d'une poutre mixte sur deux appuis, calcul effectué selon la brochure SZS A3 «Poutres mixtes dans le bâtiment» [4] et selon la norme SIA 161 [2].

Il s'agit d'effectuer la vérification de la capacité portante d'une solive d'un plancher mixte dont les données sont les suivantes :

Dalle :

plancher mixte avec tôle profilée
épaisseur totale $h_b = 100 \text{ mm}$
béton *BH 300* $\beta_w = 30 \text{ N/mm}^2$
tôle profilée *Holorib 38/0,91*
 $e = 38 \text{ mm}$
 $w = 120 \text{ mm}$

portée de la dalle = } $s = 2000 \text{ mm}$
écartement des solives }

Solive : *IPE 240*, *Fe 360*, $\sigma_f = 235 \text{ N/mm}^2$
poutre simple, $l = 7000 \text{ mm}$
 $Z_a = 366 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$, $g_1 = 0,31 \text{ kN/m}$

Connecteurs : *HVB 80*, $R_d = 23 \text{ kN}$

Charges :

poids propre de la dalle : $g_2 = 2,5 \text{ kN/m}^2$
charge permanente : $g_3 = 1,6 \text{ kN/m}^2$
charge utile : $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Vérification de la capacité portante de la solive mixte

La solive a été prédimensionnée pour le stade de bétonnage pour supporter le poids propre du béton frais, la tôle profilée et une charge de construction de $2,0 \text{ kN/m}$.

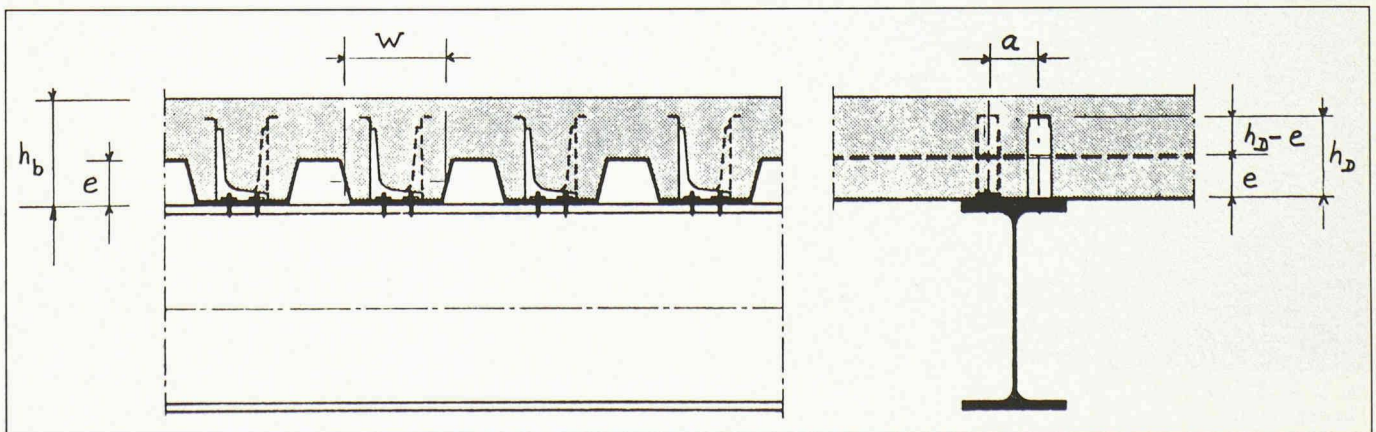


Fig. 6. — Poutre mixte acier-béton avec tôle profilée et deux rangées de connecteurs *HVB* disposés en sens opposé.

Calcul des caractéristiques
de la section mixte :

Dalle: $b = s = 2000 \text{ mm} < l/3$

$$h_b - e = 100 - 38 = 62 \text{ mm}$$

$$A_b = b (h_b - e) = 124000 \text{ mm}^2$$

$$\beta_r = 0,5 \beta_{w28} = 15 \text{ N/mm}^2$$

Poutre: $A_a = 3910 \text{ mm}^2$

$$Z_a = 366 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_f = 235 \text{ N/mm}^2$$

Mixte: $n_p = \sigma_f / \beta_r = 235/15 = 16$

$$A_b/n_p = 124000/16 =$$

$$= 7750 \text{ mm}^2 > A_a$$

→ axe neutre dans la dalle

Position de l'axe neutre:

$$x_v = n_p (A_a/A_b) (h_b - e)$$

$$x_v = 16 (3910/124000) 62 = 31 \text{ mm}$$

Module plastique:

$$Z_v = \frac{1}{2} A_a (h_a + 2h_b - x_v)$$

$$Z_v = 0,5 \cdot 3910 (240 + 200 - 31) =$$

$$= 800 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Moment plastique:

$$M_{p,v} = Z_v \cdot \sigma_f = 800 \cdot 10^3 \cdot 235 =$$

$$= 188 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 188 \text{ kNm}$$

Moment maximal dû aux charges:

$$M_{\max} = (g_1 + g_2 + g_3 + q) l^2/8 =$$

$$= [0,31 + 2,0 (2,5 + 1,6 + 5,0)]$$

$$7,02/8 = 113 \text{ kNm}$$

Vérification de la capacité portante:

$$\gamma M_{\max} \leq M_{p,v}$$

$$\gamma M_{\max} = 1,6 \cdot 113 = 181 \text{ kNm} < 188 \text{ kNm}$$

La vérification est faite.

Calcul de la connexion:

HVB 80: $R_d = 23 \text{ kN}$

Facteur de réduction dû à la tôle profilée:

$$r = 0,50 \frac{w}{e} \frac{h_b - e}{e} = 0,5 \frac{120}{38} \cdot \frac{42}{38} =$$

$$= 1,75 > 1$$

→ pas de réduction

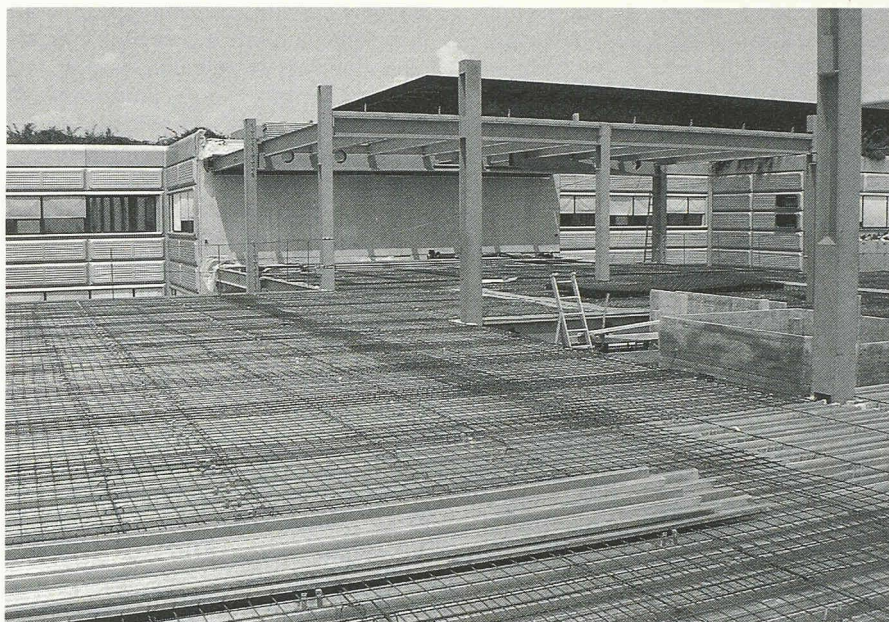


Fig. 7. — Chantier de l'extension du « Centre Midi » de l'EPFL, à Ecublens.

Effort rasant plastique:

$$N_p^+ = A_a \sigma_f = 3910 \cdot 235 = 919 \cdot 10^3 \text{ N} =$$

$$= 919 \text{ kN}$$

Nombre de connecteurs:

$$n = 2 \frac{N_p^+}{R_d} = 2 \cdot 919/23 = 80 \text{ connecteurs}$$

On disposera donc 40 paires de connecteurs HVB 80, soit environ 2 par nervure ($a = 150 \text{ mm}$).

5. Réalisation suisse

Le premier grand bâtiment en charpente métallique comportant des planchers mixtes avec connecteurs Hilti HVB 105 réalisé en suisse fait partie des bâtiments

de l'Ecole polytechnique fédérale à Ecublens près de Lausanne. Il s'agit de l'extension du bâtiment « Centre Midi » (fig. 7), soit une structure métallique de 3 niveaux comportant 3500 m² de planchers, dont 2500 m² de planchers mixtes Montarib, d'une épaisseur totale de 11 cm. Le nombre de connecteurs HVB 105 assurant la solidarisation des poutrelles et du plancher Montarib s'élève à 10000, ce qui représente 4 pièces/m² (fig. 8).

La charpente métallique, d'un poids total de 300 t, a été montée en deux étapes représentant 45 jours au total. Les connecteurs HVB ont été posés en 6 jours par 2 ouvriers. Les conditions météorologiques défavorables de la période de construction des planchers (mai-juin 1985) n'ont eu aucune influence sur le déroulement des travaux de connexion grâce à l'utilisation des connecteurs HVB, ce qui n'aurait certainement pas été le cas avec l'utilisation de goujons soudés sur place à travers la tôle.

Cette réalisation a permis à l'entreprise de charpente métallique, à l'ingénieur et



Fig. 8. — Chantier de l'EPFL à Ecublens.

Vue de la pose des connecteurs Hilti HVB 105 lors de la construction d'un bâtiment à charpente métallique avec planchers mixtes acier-béton. Entreprise: Geilinger SA, Yvonand. Bureau d'ingénieurs: Matter Ingénieurs SA, Lausanne.

Le développement du nouveau connecteur HVB a été entrepris par le Centre technique Hilti à Schaan sous la direction de M. E. Thurner, en collaboration avec l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ICOM-Construction métallique, prof. J.-C. Badoux.

Les essais ont été effectués dans les laboratoires du Centre technique Hilti à Schaan sous la surveillance de l'ICOM. Un groupe d'experts internationaux a supervisé le programme d'essais et l'interprétation des résultats. Ce groupe était formé des membres suivants:

- Ecole polytechnique fédérale de Lausanne: MM. J.-C. Badoux, professeur; M. Crisinel et U. Laederach;
- Université de Salford (GB): E. Bryan, professeur, et M. D. O'Leary;
- Université d'Innsbruck (A): F. Tschemmner, professeur;
- Institut TNO - IBBC, Delft (NL): J. Stark, professeur.

au fournisseur des connecteurs de se familiariser avec ce nouveau produit, sa mise en place, son contrôle sur place et de se rendre compte de son économie par rapport à un système traditionnel par goujons, en incluant dans la comparaison le gain de temps réalisé sur le montage de la charpente et des planchers.

6. Conclusions

Le développement et la mise sur le marché du connecteur *Hilti* constitue une nouveauté intéressante dans le domaine de la construction des poutres mixtes acier-béton dans le bâtiment. Les principaux avantages présentés par ce système de connexion sont les suivants:

- indépendance des conditions atmosphériques sur le chantier;
- mise en place simple et rapide par n'importe quel monteur;
- indépendance de l'alimentation électrique et du câblage inhérent.

Les essais de charge réalisés sur de nombreuses éprouvettes avec connecteurs HVB en vue de déterminer leur comportement et leur résistance montrent que l'on a affaire à un connecteur ductile autorisant un calcul plastique des sections mixtes et de la connexion. La présence de tôle profilée ne nuit pas à ce caractère ductile, à condition que la forme de la tôle et la hauteur du connecteur respectent des règles géométriques strictes.

Le mode de fixation du connecteur HVB, qui constitue simultanément un moyen de fixation de la tôle profilée elle-même, permet d'envisager également son utilisation comme ancrage des planchers mixtes pour augmenter la solidarisation entre la tôle et le béton.

Enfin la simplicité de l'appareil de mise en place et la facilité de pose du connecteur HVB devraient en faire rapidement un moyen de connexion acier-béton apprécié et recherché dans le domaine du bâtiment.

Bibliographie

- [1] *The use of Hilti HVB shear connectors in composite construction*, Hilti AG, Schaan (FL), 1984.
- [2] Norme SIA 161, *Constructions métalliques*, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 1979.
- [3] *Composite Structures*, European Convention for Constructional Steelwork, The Construction Press, London, 1981.
- [4] *Poutres mixtes dans le bâtiment*, Centre suisse de la construction métallique, publication A3, Zurich, 1982.

Adresse des auteurs:

Michel Crisinel
Ing. civil dipl. EPFL/SIA
David Clénin
Ing. civil dipl. EPFZ/SIA
Ecole polytechnique fédérale
de Lausanne
ICOM — Construction métallique
1015 Lausanne

Industrie et technique

Des rayons alpha pour épurer l'air

Les applications inédites de la radioactivité

Utilisées en médecine depuis plus de soixante ans, les radiations ionisantes interviennent désormais dans d'innombrables processus industriels. On les exploite pour fabriquer des objets courants, pour stériliser des instruments, pour conserver des produits alimentaires ou pour épurer des gaz toxiques. On est encore loin d'avoir mesuré tous les services que la radioactivité est susceptible de rendre à l'humanité. En voici quelques exemples.

Depuis quinze ans, le recours aux rayons comme source d'énergie industrielle augmente chaque année de 10 à 15%. On les utilise pour déclencher des réactions chimiques, ainsi que pour modifier des processus biologiques et certaines propriétés physiques des matériaux.

Prenons la *gammagraphie*. Le principe est analogue à celui de la radiographie médicale par les rayons X. La différence réside dans l'énergie de rayonnement beaucoup plus élevée, au point qu'il est possible d'observer des défauts de soudures et de pièces de fonderie dans des éléments de 25 cm d'épaisseur. C'est dire leur utilité pour le contrôle de la sécurité d'ouvrages importants: ponts, structures de grands immeubles, centrales thermiques.

Pneus et emballages «radioactifs»

Autre exemple: l'emploi d'une forte dose de rayonnement permet de stériliser 2000 instruments médicaux à l'heure, soit 15 à 20 millions par an. Il existe aujourd'hui dans le monde près de 130 installations industrielles qui pratiquent la radiostérilisation. Cette technique — ce n'est pas son moindre mérite — a puissamment contribué à améliorer le niveau des soins de santé. Elle est en outre la seule possibilité de stériliser des instruments réfractaires à la chaleur.

Autre technique aux applications multiples: la réticulation par irradiation qui vise à modifier les propriétés des polymères. Elle permet, entre autres, d'améliorer l'isolation des câbles et fils électriques, de fabriquer des produits d'emballage résistants aux agressions physiques et thermiques ou d'accroître la qualité de caoutchouc des pneumatiques.

Ce sont là quelques-unes des utilisations qui ont fait leur chemin. Il en est d'autres, particulièrement prometteuses. C'est le cas de l'irradiation des produits alimentaires pour faciliter leur conservation et améliorer les ravitaillements. Mesure-t-on les avantages de cette méthode pour l'approvisionnement de régions où la décomposition des aliments est rapide?

C'est ainsi qu'avec un kilowatt de puissance de rayonnement, il est possible de ralentir la germination des pommes de terre au point qu'en une heure d'irradiation, on peut accroître de 10 tonnes la productivité de la future récolte.

L'industrialisation de ce système se heurte toutefois aux législations des dif-

férents pays concernés. A ce jour, près de 80 produits sont traités par irradiation, à titre expérimental pour la plupart. Le procédé qui paraît avoir le plus de chance de s'imposer à court terme est la radiostérilisation des épices, d'ores et déjà appliquée aux Etats-Unis.

La santé des vaches

L'irradiation des aliments du bétail est plus avancée. Elle concurrence sérieusement, dans plusieurs pays, le classique traitement à l'acide propionique. C'est la «radication», un néologisme que nos agriculteurs seront amenés à assimiler tôt ou tard. Elle a pour objet de décontaminer les aliments contenant des salmonelles et autres micro-organismes pathogènes.

Il est une autre utilisation des rayonnements ionisants qui devrait séduire les paysans: l'irradiation des gadoues. La démonstration en a été faite avec succès dans plusieurs installations pilotes aux Etats-Unis et en Allemagne fédérale. Une fois décontaminées, ces matières fécales peuvent servir d'engrais ou d'aliments d'appoint pour les ruminants. Les recherches et travaux de mise au point se poursuivent actuellement dans plusieurs pays, notamment en Italie et en Inde.

La protection de l'environnement est aussi un domaine où la radioactivité peut faire merveille. C'est le cas de l'irradiation des fumées, technique qui conduit à éliminer simultanément les oxydes de soufre et d'azote des gaz de combustion du charbon. Ce procédé, imaginé au Japon, fait intervenir des faisceaux de rayons alpha en présence d'ammoniac.