Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 111 (1985)
Heft: 3

Artikel: Evolution et tendance actuelle des planchers mixtes acier-béton
Autor: Crisinel, Michel
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75607

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: 07.01.2026

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

Evolution et tendance actuelle des planchers mixtes acier-béton

par Michel Crisinel, Lausanne

Les planchers mixtes, composés d'une tôle d'acier profilée recouverte de béton, constituent en Suisse depuis un quart de siècle la majorité des dalles dans les bâtiments à charpente métallique. La Suisse a même jugé dans ce domaine un rôle de pionnier, d'abord en réalisant les planchers du bâtiment Nestlé à Vevey à l'aide de tôles ondulées et ensuite en abritant la Société Holorib, dont le nom, en Suisse romande du moins, est synonyme de tôle profilée pour plancher. La plupart des pays européens ont adopté ce type de plancher dont l'origine est américaine. Tel n'est pas le cas de la Suède, où les raisons de ne pas utiliser ce genre de tôles profilées sont, semble-t-il, nombreuses et complexes.
Les deux articles qui suivent donnent donc un aperçu de deux tendances qui se manifestent en Europe dans la conception, la construction et le dimensionnement des planchers mixtes acier-béton.

1. Rappel des méthodes de dimensionnement

On appelle communément plancher mixte acier-béton le système porteur plan horizontal constitué d'une tôle d'acier profilée à froid recouverte d'une dalle de béton comportant un treillis d'armature (fig. 1). Dans ces planchers, la tôle profilée a plusieurs fonctions:

- plate-forme de travail au moment du montage;
- coffrage de la dalle;
- armature inférieure de la dalle.

Il s'agit donc d'un système porteur très avantageux qui a connu un succès grandissant ces vingt dernières années. Les premiers planchers mixtes ont fait leur apparition en Suisse à la fin des années 50. Il s'agissait alors de tôles ondulées posées sur les poutrelles métalliques et recevant une dalle de béton comportant un treillis de répartition [1][1]. La liaison tôle-béton était assurée par simple adhérence, sauf dans certains cas exceptionnels où le treillis de répartition était soudé sur les ondes de la tôle. La liaison plancher-poutrelle, permettant de considérer l'ensemble comme une poutre mixte acier-béton, était réalisée par soudure de la tôle à fond d'onde. Des essais en laboratoire avaient permis de confirmer le comportement mixte d'un tel plancher, solution pionnière pour l'époque en Europe [2].

Vers le milieu des années 60 est apparue en Suisse la première tôle profilée conçue spécialement pour les planchers mixtes, la tôle *Holorib*. Une série d'essais, effectués sur ces tôles et sur des tôles ondulées par Bryl [3, 4], ont abouti à la mise au point d'une méthode de calcul qui fut appliquée par la suite à d'autres types de tôles profilées. Cette méthode sert d'ailleurs toujours de base aux tables de dimensionnement des tôles profilées valables actuellement en Suisse [5]. Elle était basée sur les contraintes admissibles et a été développée pour les tôles lisses ne comportant aucun bosselage. Les critères de dimensionnement de cette méthode étaient les suivants (fig. 2):

- résistance à la flexion (résistance admissible à la traction du béton):

$$\sigma_b = \frac{M}{I_{\text{hom}}}\, y \leq \sigma_{b,adm} = 1{,}67\sqrt{\beta_{w\,28}},$$

- résistance au cisaillement (contrainte admissible d'adhérence acier-béton):

$$\tau_H = \frac{V\, S_{\text{hom}}}{I_{\text{hom}}\, b_d} \leq \tau_{adm} = 0{,}05\ N/mm^2.$$

Si la contrainte d'adhérence dépassait cette valeur admissible, les planchers devaient être ancrés, c'est-à-dire comporter sur les appuis un dispositif mécanique qui empêcherait le glissement entre la tôle profilée et le béton (fig. 3). C'est pourquoi on trouve encore aujourd'hui de nombreux planchers comportant, sur les appuis de rive, un ancrage par goujons. Le critère de dimensionnement de cet ancrage, contrairement aux deux critères précédents, était un critère de ruine: la force D agissant sur l'ancrage était celle qui provoquait la rupture de la tôle par traction:

$$R_u = A_t\, \sigma_f = b_d\, t\, \sigma_f.$$

Ce critère a souvent été remis en question car aucun essai n'avait été effectué pour montrer que la tôle, à l'endroit de son attache sur la poutrelle par le soudage du goujon, était réellement capable de se plastifier en traction. Des essais effectués depuis lors par Profanter [6] ont effectivement montré que l'effort ultime était limité par la rupture locale de la tôle autour du goujon. Cet ancrage, bien que partiellement efficace, assure toutefois un comportement satisfaisant des planchers mixtes avec tôles profilées lisses.

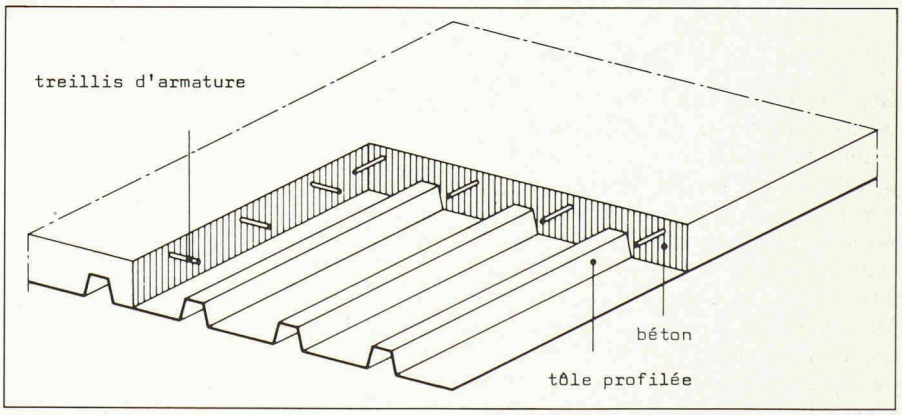

Fig. 1. — Plancher mixte.

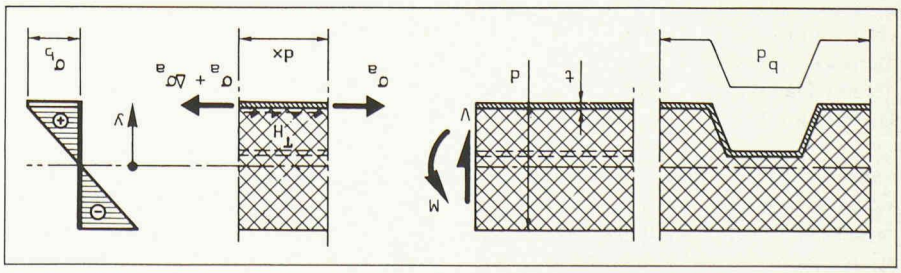

Fig. 2. — Dimensionnement aux contraintes admissibles.

$$\sigma_b = \frac{M}{I_{hom}}\, y;\ \sigma_a = n\, \sigma_b;\ \tau_H = \frac{V\, S_{hom}}{I_{hom}\, b_d}$$

I_{hom}: moment d'inertie de la section homogène,
n: coefficient d'équivalence ($n = E_a/E_b$).
S_{hom}: moment statique de la section homogène,
b_d: largeur développée de la tôle.

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

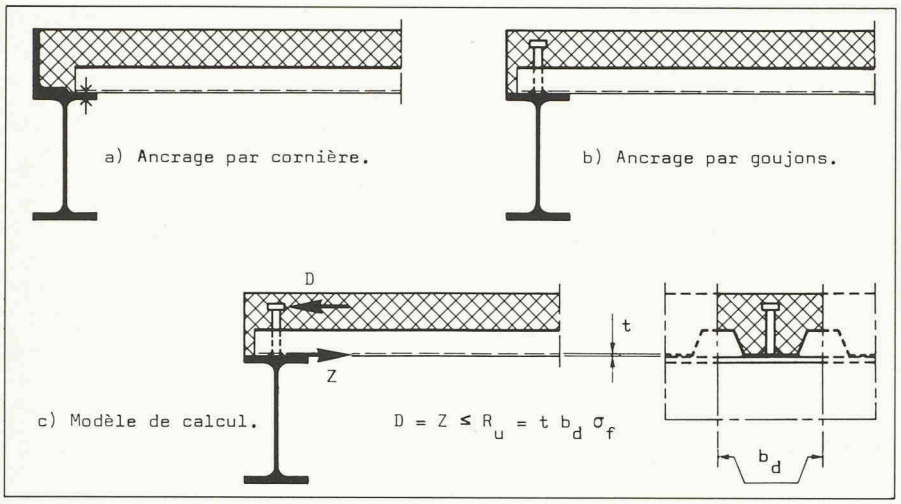

Fig. 3. — Ancrages sur appuis de rive.

Aux Etats-Unis, d'où provenaient à l'origine les premiers planchers à nervure en queue d'aronde, des raisons économiques ont conduit petit à petit à l'abandon de cette forme de tôle au profit de tôles profilées à nervures trapézoïdales comportant des âmes bosselées. Ces bosselages ont pour but d'assurer une connexion mécanique entre la tôle et le béton, par analogie aux fers d'armature utilisés dans la construction en béton armé. De nombreux essais ont été effectués sur des planchers réalisés avec ce type de tôle profilée et ont abouti au développement par Schuster et Porter d'une méthode de calcul empirique basée sur le critère de ruine par effort tranchant [7, 8]:

$$V_u = \psi \frac{b\,h}{s}\left(\frac{m\,\mu\,h}{l_v} + k\sqrt{\beta_w}\right).$$

Deux groupes d'essais sont nécessaires pour déterminer la droite de régression réduite et les facteurs m et k permettant de calculer la résistance ultime au cisaillement V_u (fig. 4). Un premier groupe A comprend les planchers de faible épaisseur et le groupe B les planchers de forte épaisseur et de faible longueur cisaillée. Le facteur ψ est une réduction de capacité tenant compte du mode de rupture ($\psi = 0{,}8$ en cas de rupture par cisaillement longitudinal). Cette valeur doit être adaptée en cas d'étayage de la dalle pour tenir compte du poids propre. Le critère de résistance à la flexion doit également être vérifié au cas où la résistance au cisaillement est telle que la rupture a lieu par flexion. Dans ce cas, le plancher mixte est assimilé à une dalle en béton armé.

Cette méthode de calcul semi-empirique a été adoptée dans les *Recommandations européennes* concernant les planchers mixtes [9] et dans le *Code modèle* relatif aux constructions mixtes [10]. Récemment, les *Normes britanniques* ont également adopté ce procédé [11]. Une méthode similaire à la méthode américaine décrite ci-dessus a été proposée en France par Fulop [12], également sur une base expérimentale.

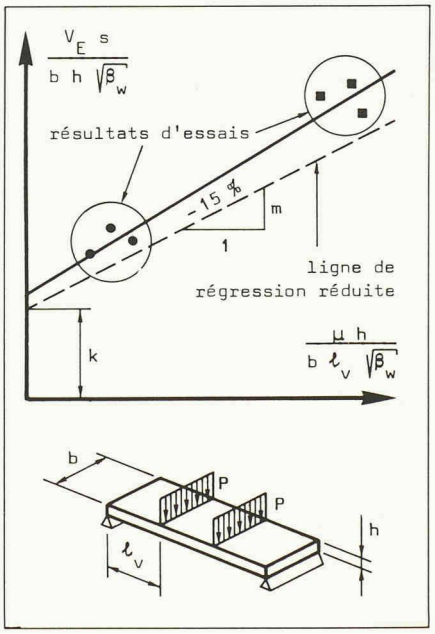

Fig. 4. — Dimensionnement selon la méthode empirique de Schuster et Porter.
V_E: effort tranchant maximal déterminé par essai [N],
s: écartement des bosselages [mm],
b: largeur du plancher d'essai [mm],
h: hauteur statique de la section mixte [mm],
β_w: résistance à la compression sur cube du béton le jour de l'essai [N/mm²],
μ: pourcentage d'armature ($\mu = A_t/b\,h$),
A_t: aire de la section de la tôle profilée [mm²].

Les connaissances actuelles rappelées ci-dessus permettent de faire le point de la situation, sous forme d'une étude du comportement jusqu'à la ruine des planchers mixtes et d'une proposition de procédure à adopter.

2. Comportement jusqu'à la ruine

Les planchers mixtes actuels qu'on rencontre en Suisse peuvent être classés en trois catégories, selon la façon dont la liaison acier-béton est réalisée:

Premier type (fig. 5a): La connexion est assurée par la forme du profil. Il s'agit en particulier des tôles comportant des nervures en queue d'aronde, en as de pique ou en toute autre forme fermée. Ces formes particulières augmentent l'adhérence acier-béton par effet de frottement dû à la déformation transversale des nervures fléchies; elles empêchent également le soulèvement de la dalle.

Deuxième type (fig. 5b): La connexion est assurée par les bosselages profilés dans les âmes de la tôle nervurée. Ces bosselages assurent une résistance mécanique acier-béton. Disposés en oblique, ils empêchent également la séparation verticale du béton.

Troisième type: La connexion est assurée par des ancrages spéciaux. Il s'agit en particulier des ancrages en extrémité de dalle (fig. 3) ou des connecteurs soudés sur la tôle (barres d'armature par exemple). Ces ancrages peuvent également être disposés pour augmenter la résistance au cisaillement longitudinal des planchers des premier et deuxième types. Actuellement, en Suisse, seul l'ancrage d'extrémité par goujon soudé à travers la tôle sur le profilé-support est pratiqué. Un nouveau type de connecteur fixé par clouage permet également de réaliser en une seule opération et sans soudage la fixation de la tôle, l'ancrage du plancher mixte et la connexion de la poutrelle métallique avec le plancher [13]. L'ancrage par armature soudée est trop cher et trop difficile à exécuter, il n'est jamais pratiqué.

Le comportement des planchers mixtes est différent de celui des autres constructions mixtes apparentées que sont les dalles en béton armé et les poutres mixtes acier-béton. Dans les éléments en béton armé, l'effet mixte est obtenu par la capacité d'adhérence des barres tendues dans le béton, due au profilage spécial de ces barres. Cette capacité, contrôlée par des essais, est telle que la résistance ultime des armatures correspond à leur résistance à la traction et que les dalles peuvent toujours développer leur pleine résistance à la flexion. Dans les poutres mixtes, la solidarisation est réalisée par les connecteurs fixés à l'aile supérieure du profilé métallique. Cette connexion est dimensionnée de façon que la poutre atteigne sa résistance ultime à la flexion (connexion totale). Si le nombre de connecteurs est inférieur, la connexion est partielle. Dans ce cas, la résistance ultime à la flexion dépend essentiellement du nombre de connecteurs, de la forme du diagramme charge-glissement des connecteurs, de la portée de la poutre et du procédé de construction.

Le plancher mixte avec tôle profilée se situe donc à mi-chemin entre ces deux systèmes. D'une part les tôles comportent des bosselages ou des ancrages permettant de les assimiler à des barres d'armature, d'autre part la tôle est un élément à rigidité flexionnelle similaire aux poutres métalliques. La différence provient du fait que la tôle profilée, de même que ses bosselages, sont déformables. Ainsi, l'effet d'imbrication est moindre que pour une barre d'armature indéfor-

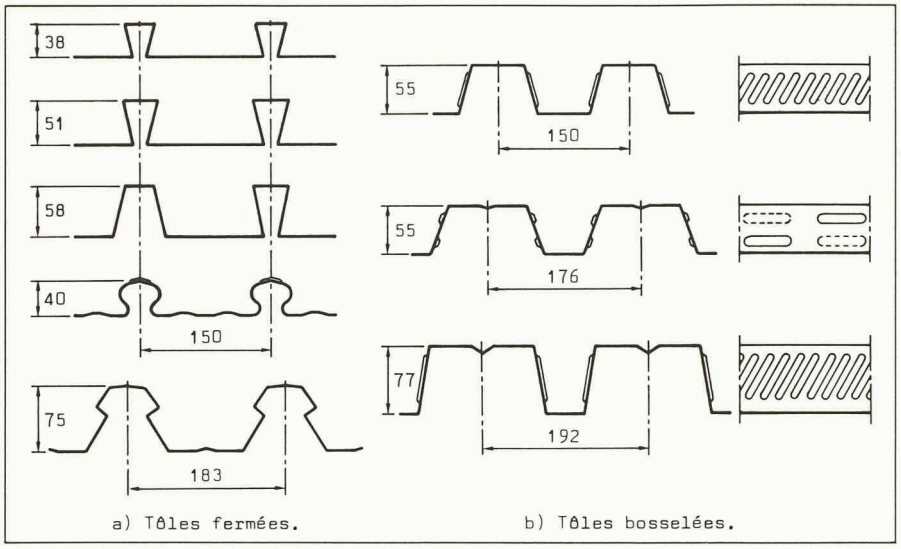

Fig. 5. — Principales tôles profilées pour planchers mixtes livrables en Suisse, classées selon le type de liaison avec le béton.

mable. Ces phénomènes de déformation de la tôle sont fonction de nombreux paramètres, ce qui rend l'analyse du comportement réel des planchers mixtes très compliquée.

Une récente étude de Luttrell [14], basée sur de nombreux essais, résume les différents paramètres entrant en jeu et met en évidence deux modes de comportement (fig. 6). Ces modes sont basés sur l'analyse des courbes charge-flèche que l'on peut relever par exemple lors d'un essai de flexion d'un plancher mixte sur deux appuis soumis à deux charges concentrées.

Mode 1

Ce mode est caractérisé par une courbe linéaire dans sa phase initiale, correspondant au comportement d'un matériau homogène solidarisé par effet de surface (adhérence chimique et frottement) et par effet mécanique (bosselages et ancrages). Aucun glissement relatif important entre l'acier et le béton n'a lieu ; au fur et à mesure que la charge augmente, la rigidité diminue à cause de la formation de fissures dans le béton tendu. Les contraintes d'adhérence augmentent dans la zone située entre la charge concentrée et l'appui. A un moment donné, le glissement relatif est tel que la liaison est rompue et la charge décroît soudainement. Tout l'effort rasant doit alors être repris par frottement et par bosselages éventuels. L'ampleur de la chute dépend donc de la qualité de cette adhérence mécanique. En continuant de déformer le plancher, la charge augmente à nouveau un peu, sans jamais atteindre le niveau de la phase initiale. Cela signifie que tous les moyens mécaniques de connexion de ce plancher ne sont pas capables d'assurer un effet mixte supérieur à celui de la simple adhérence de surface. Il faut remarquer également que la chute de la charge n'est pas due à l'ouverture brusque des fissures du béton tendu, car elle est empêchée par la tôle, mais bien au glissement relatif du béton sur la tôle.

Mode 2

Ce mode est caractérisé par une phase initiale similaire à celle du mode 1. La deuxième phase, par contre, est très différente : après la chute de la charge qui correspond à la rupture de l'adhérence et au glissement acier-béton dans la zone cisaillée, la charge augmente à nouveau jusqu'à un niveau supérieur, ce qui signifie que la connexion mécanique est alors tout à fait capable de transférer l'effort rasant jusqu'à des niveaux de flexion élevés. La rupture se produit soit par flexion, ce qui correspond à une connexion totale, soit par cisaillement longitudinal, ce qui correspond à une connexion partielle.

Les deux modes décrits ci-dessus représentent les types mêmes des comportements fragile (mode 1) et ductile (mode 2).

3. Proposition de procédure pour la Suisse

L'analyse ci-dessus a été effectuée sur la base de nombreux essais de planchers mixtes du deuxième type (fig. 5 b). Or en Europe, et particulièrement en Suisse, ce type est peu représenté, ce qui signifie qu'une telle approche, permettant de prédire la capacité portante des planchers avec tôle bosselée par identification des paramètres critiques, serait trop longue et inutile. Par contre, une étude systématique de tous les types de profils selon la méthode empirique du *Code modèle* (fig. 4), mais avec prise en compte des différents comportements décrits plus haut (fig. 6), constituerait pour notre pays la base nécessaire à une clarification de la situation actuelle. Rappelons que cette situation peu claire provient du fait que la plupart des planchers sont calculés selon la méthode des contraintes admissibles, alors que le calcul des charpentes métalliques est régi par la nouvelle norme de construction métallique préconisant la vérification à la ruine [15]. D'autre part, certaines tôles de planchers étant importées, les tableaux de charges correspondants sont calculés avec des normes étrangères. Une telle étude devrait comprendre l'essai de planchers mixtes réalisés avec toutes les tôles présentées à la figure 5. Un nombre minimal de six éprouvettes est nécessaire par type de tôle, nombre qui doit être augmenté si la dispersion des résultats l'exige (par exemple si l'épaisseur de la tôle représente un paramètre prépondérant). Les résultats devraient permettre de déterminer pour chaque type de profil les comportements charge-flèche et charge-glissement ainsi que la charge maximale et le mode de rupture. L'interprétation consisterait alors à attribuer aux différents planchers le mode correspondant (fragile ou ductile) et à établir la ligne de régression réduite permettant d'effectuer la vérification à l'effort rasant. Les planchers présentant un comportement fragile devraient faire l'objet de considérations particulières comme par exemple l'application d'une méthode de calcul élastique-élastique ou l'introduction d'ancrages nécessitant alors de nouveaux essais. Les planchers présentant un comportement ductile avec rupture par flexion pourraient être calculés à l'aide de la méthode élastique-plastique propre aux sections mixtes, la vérification à l'effort rasant restant nécessaire.

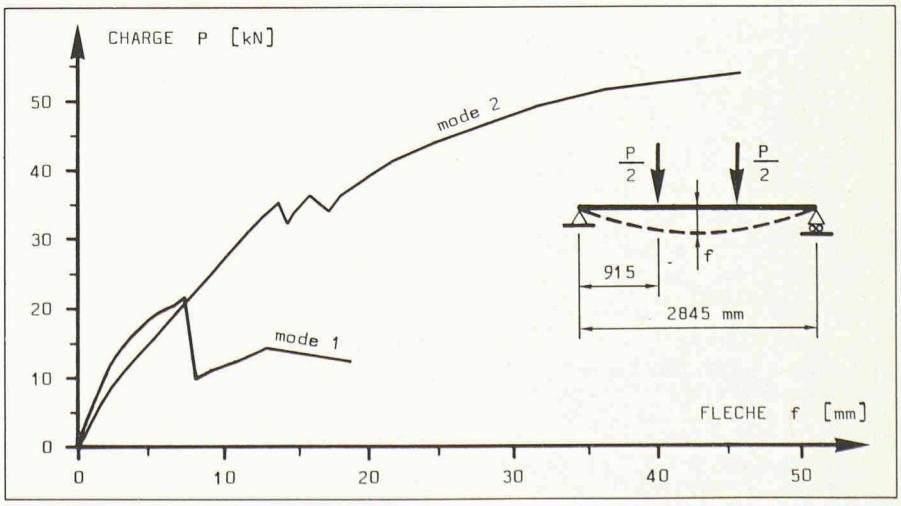

Fig. 6. — Deux modes de comportement de planchers mixtes (résultats d'essais tirés de [14]).

Bibliographie

[1] *Le nouveau bâtiment administratif de la Société Nestlé à Vevey (Suisse).* Acier-Stahl-Steel, Bruxelles, vol. 25, n° 12, 1960, pp. 513-519.

[2] Cosandey, M., *Que répond l'ingénieur aux questions de l'architecte?* Dritte schweizerische Stahlbautagung, Lausanne, 1960. Schweizer Stahlbauverband (SSV), Zürich. Mitteilungen der technischen Kommission, Heft 21, pp. 22-51.

[3] Bryl, S., *Le travail solidaire de la tôle d'acier profilée et de la dalle en béton dans les planchers de bâtiments.* Haute Autorité de la Communauté européenne du charbon et de l'acier. Congrès acier 1964: «Les progrès dans la construction en acier». Luxembourg, 29-30 octobre 1964, pp. 379-381.

[4] Bryl, S., *Effet de liaison entre les tôles d'acier et le béton dans les planchers métalliques mixtes.* Acier-Stahl-Steel, Bruxelles, vol. 32, n° 10, 1967, pp. 453-459.

[5] Badoux, J.-C. et Crisinel M., *Recommandations pour l'utilisation de tôles profilées dans les planchers mixtes du bâtiment.* Centre suisse de la construction métallique, Zurich, 1973 (publication B5).

[6] Profanter, H., *Zum Nachweis der Blechzugkrafteinleitung durch Kopfbolzendübel-Endverankerung bei Profilblechverbunddecken.* Stahlbaurundschau, Wien, Heft 59, 1982 und Heft 60, 1983.

[7] Schuster, R. M., *Composite Steel-Deck-Reinforced Concrete Systems Failing in Shear-Bond.* Neunter Kongress, Vorbericht, Amsterdam, 1972. IVBH, Zürich, pp. 185-191.

[8] Porter, M. L. and Ekberg, C. E. Jr., *Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs.* ASCE Journal of the Structural Division, New York, vol. 102, n° 11, 1976, pp. 2121-2136.

[9] European Convention for Constructional Steelwork (ECCS). *European Recommendations for the design of composite floors with profiled steel sheet.* Published by Constrado, Croydon CR9 3JH, England, 1974.

[10] European Convention for Constructional Steelwork (ECCS). *Composite Structures.* The Construction Press, London, 1981.

[11] British Standard BS 5950. *Structural use of steelwork in building. Part 4: Code of practice for design of floors with profiled steel sheeting.* British Standard Institution, London W1A 2 BS, England, 1982.

[12] Long Hung, H., Fulop, A. et Moum Ch., *Planchers à bacs collaborants. Recherche expérimentale.* Annales de l'ITBTP, Paris, vol. 31, n° 363, 1978, pp. 86-105.

[13] *The use of Hilti HVB shear connectors in composite construction*, Hilti AG, FL-9494 Schaan, Liechtenstein, 1984.

[14] Prasannan, S. and Luttrell, L. D., *Flexural strength formulations for steel-deck composite slabs.* West Virginia University, Department of civil engineering, P.O. Box 6101, Morgantown, WV 26506, 1984.

[15] *Norme SIA 161: Constructions métalliques.* Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 1979.

[16] Bucheli, P. et Crisinel, M., *Poutres mixtes dans le bâtiment.* Centre suisse de la construction métallique, Zurich, 1982 (Publication A3).

4. Conclusion

L'avantage d'une telle démarche consisterait essentiellement en une meilleure connaissance du produit «plancher mixte» en Suisse, surtout la connaissance du vrai comportement des systèmes existants. La méthode proposée permettrait à l'ingénieur de mieux appréhender la sécurité globale de sa construction, grâce à l'application de procédés de vérification similaires pour les poutres [16] et les planchers mixtes d'un même bâtiment. Pour certains planchers, l'abandon de la méthode de calcul aux contraintes admissibles constituerait certainement une augmentation de la capacité portante, puisque la contrainte admissible d'adhérence [4] était basée sur des essais avec tôle ondulée lisse. Pour d'autres planchers, la nouvelle méthode rendrait peut-être inutile les ancrages sur appuis de rive. N'oublions pas enfin que dans la plupart des cas, lorsque la tôle n'est pas étayée lors du bétonnage, c'est le stade de montage qui détermine le choix du profil et de l'épaisseur de la tôle. Les vérifications du plancher mixte au stade définitif, aussi bien le contrôle de la résistance (vérification à la ruine), que des flèches (vérification à l'état de service) sont rarement déterminantes. Une rupture par cisaillement longitudinal, par faiblesse de la liaison, telle qu'elle a souvent lieu dans les essais de planchers mixtes, serait donc tolérable, pour autant qu'elle ait un caractère ductile.

Adresse de l'auteur:
Michel Crisinel, ing. dipl. EPUL/SIA
ICOM-Construction métallique
Ecole polytechnique fédérale
GCB (Ecublens)
1015 Lausanne

Panneaux métalliques légers pour planchers mixtes[1]

Jonathan A. Ramsden, Stockholm

1. Généralités

Les raisons pour lesquelles les planchers mixtes avec tôles profilées ne sont pas utilisés en Suède sont nombreuses et complexes. Ces perspectives peu encourageantes ont fait qu'aucun fabricant de tôle mince profilée à froid n'a inscrit ce genre de produit à son programme de fabrication.

Les planchers mixtes sont souvent associés aux bâtiments à structure métallique. En Suède, ces bâtiments comportent des dalles préfabriquées en béton de 6 à 12 m de portée. Des poutres secondaires (solives) entre les sommiers des cadres principaux sont donc rarement utilisées. Un nouveau type de plancher mixte n'a une chance d'entrer en concurrence avec ce système que si sa portée dépasse les 6 m.

L'épaisseur des planchers traditionnels en béton varie entre 180 mm et 300 mm, ce qui laisse peu de liberté pour disposer une structure métallique à poutres orthogonales. Une tôle profilée trapézoïdale n'est pas le plafond le plus esthétique, ce qui nécessite souvent la présence d'un faux plafond coûteux. Un plancher mixte avec tôle profilée n'a de chance que s'il présente un aspect agréable et une portée d'au moins 6 m.

Une troisième faiblesse des planchers mixtes avec tôle profilée est leur faible résistance au feu, en particulier lorsque la charge utile et la portée sont grandes. Un plancher mixte doit satisfaire à la classe A 60 (incombustible à 60 min. avec feu standard), classe qui a été attribuée aux planchers préfabriqués en béton de 6 m de portée. En d'autres termes, la tôle mince doit être enrobée de béton de façon permanente pour qu'elle serve d'armature tendue jusque dans les hautes températures. Il est évidemment possible d'incorporer au plancher mixte des barres d'armature pour augmenter sa résistance au feu, mais cette solution constitue un pas en arrière conduisant la tôle profilée à n'être qu'un coffrage perdu trop cher pour une dalle en béton coulé sur place.

2. Prototype n° 1

Les trois exigences mentionnées ci-dessus, longue portée, plafond plat et bonne résistance au feu, doivent donc être satisfaites pour qu'un plancher mixte ait du succès en Suède.

Conception de base

Le module de construction standard en Suède est de 100 mm. La plupart des grilles sont cependant basées sur un multiple de 600 mm, ce qui implique que toute ligne visible au plafond doit également se combiner avec un multiple de 600 mm.

[1] Traduit de l'anglais par Michel Crisinel, ing. dipl. EPUL/SIA, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, ICOM-Construction métallique.