Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 124 (1998)
Heft: 4

Artikel: La recherche sur les dalles mixtes
Autor: Crisinel, Michel / Hirt, Manfred A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79370

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: 15.07.2025

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

Cérémonie de clôture du Congrès de Tokyo, 1976: le professeur Naka, présente l'emblème de l'AIPC au président Cosandey.

la relève a été prise par le Danois Klaus Ostenfeld, le premier non professeur à présider l'association.

Après 1977...

Quant à toi, l'évolution de tes activités professionnelles est bien connue: après la présidence de l'EPFL et celle du conseil des Ecoles polytechniques fédérales, tu as pris une retraite active. Quittant la sphère purement technique pour te consacrer à la Fondation pour le progrès de l'Homme, tu as démontré que la pratique des sciences et la technologie ne constituent pas une finalité en elles-mêmes, mais un aspect de la contribution de l'ingénieur au service de la société.

Dans le cadre de tes activités au sein de l'AIPC, ton épouse Irène t'a accompagné chaque fois que l'occasion s'est présentée et la présence de Mme Cosandey a certainement contribué au charme de réunions où de nombreuses épouses ont lié des amitiés fidèles.

Mon Cher Maurice,

A l'occasion de ton anniversaire, je me fais le porte-parole de tous les membres de l'AIPC pour te féliciter et te remercier chaleureusement de tout ce que tu as entrepris pour notre association, en faveur de la profession d'ingénieur civil, et au bénéfice de la société en général. Je te souhaite de nombreux loisirs et de beaux moments avec ton épouse, vos enfants et leurs familles aux quatre coins du monde.

Photos Martial Doy (2), Alain Herzog, AIPC

La recherche sur les dalles mixtes

Par Michel Crisinel et Manfred A. Hirt, Institut de statique et structures ICOM-Construction métallique, DGC-EPFL 1015 Lausanne

Introduction

On peut affirmer que la recherche appliquée, dans le domaine de la construction métallique et mixte acier-béton, a pris son essor en Suisse romande à l'occasion de la fédéralisation de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne en 1969 et par la création de l'Institut de la construction métallique (ICOM) sous la direction de Jean-Claude Badoux, successeur de Maurice Cosandey comme professeur de construction métallique. Auparavant, les moyens en personnel et surtout en laboratoire limitaient fortement cette recherche, bien que les besoins existassent déjà. On en veut pour preuve et comme exemple les essais effectués dès 1955 par le Laboratoire d'essai des matériaux de l'EPUL (LEMEPUL) dans le cadre du développement de systèmes de planchers légers. Ces études ont été menées, à l'époque, par les ingénieurs Jean-Claude Piguet, Etienne Rossetti et Maurice Cosandey, alors directeur adjoint de l'entreprise *Zwahlen & Mayr* et professeur à l'EPUL, pour trouver une alternative aux planchers cellulaires américains (*Robertson*) jugés trop onéreux. Cet article a pour but de rappeler, à l'occasion de son 80e anniversaire, le rôle de pionnier qu'a joué Maurice Cosandey dans la recherche et le développement de solutions novatrices en construction mixte.

Premiers développements

Les premiers planchers comportant des tôles profilées sont apparus aux Etats-Unis dans les années 30 pour la construction des gratte-ciel en charpente métallique. Cette technique avait pour but essentiel de remplacer les dalles en béton armé traditionnelles par un système porteur plus léger afin de réduire le poids propre des planchers. Ces systèmes ont consisté d'abord en des planchers métalliques cellulaires avec une chape de remplissage (fig. 1), puis en des planchers mixtes avec collaboration du béton à la résistance (fig. 2). En Suisse, les architectes à la recherche de solutions analogues mais moins onéreuses – grâce auxquelles on pourrait diminuer le poids des planchers, donc réduire la section des poteaux et profiter de la plate-forme de travail constituée par le plancher mis en place au fur et à mesure de la construction de l'ossature – ont poussé leurs collègues ingénieurs à innover. La solution imaginée est décrite dans deux publications de la Chambre suisse de la construction métallique par Maurice Cosandey et Etienne Rossetti [1] [2][1]: *La dalle comprend une tôle ondu-*

[1] Les chiffres entre crochets renvoient aux références en fin d'article.

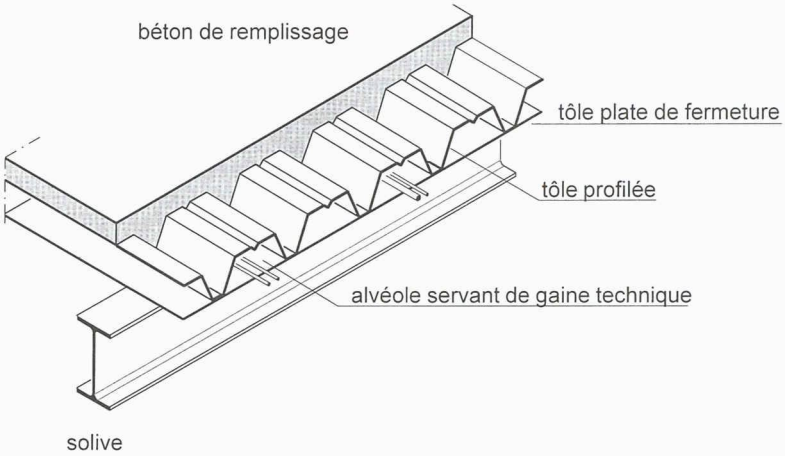

Fig. 1.- Plancher cellulaire

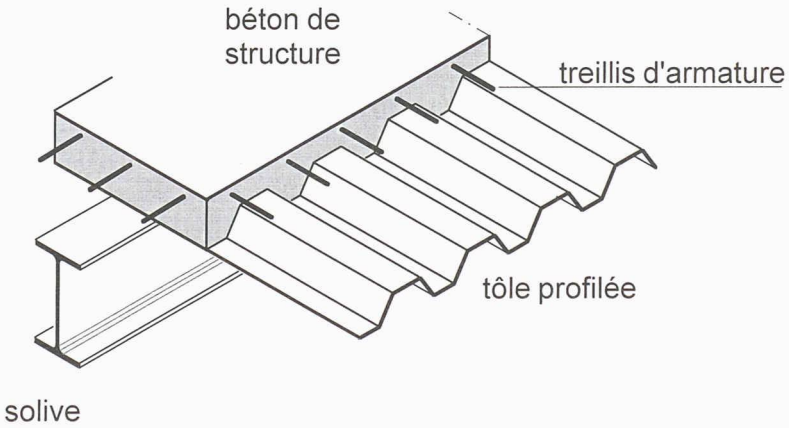

Fig. 2.- Dalle mixte

lée du commerce non zinguée, sur laquelle est coulé un béton de qualité, très légèrement armé. La mise en place doit se faire par pervibration. Cette dalle est liée en construction mixte avec les sommiers secondaires espacés de 1,5 à 2 mètres par soudure des tôles ondulées avant bétonnage. Des essais statiques et dynamiques ont permis de vérifier les points suivants:

- la liaison béton – tôle ondulée. *Bien que les efforts tangentiels par unité de surface soient très petits, il est indispensable de s'assurer d'une liaison acier-béton impeccable puisque cela est une condition du calcul. Les essais dynamiques avec une charge concentrée variant de ± 25% ont montré sans équivoque la parfaite liaison du béton à l'acier.*
- la liaison tôle ondulée – poutrelles (fig. 3). *La légitimité du calcul en construction mixte dalle-sommiers secondaires dépend de la résistance des points de soudure de la tôle sur le sommier. Par le choix d'une électrode appropriée et une méthode d'exécution rigoureusement contrôlée, il a été possible d'obtenir des points de soudure capables de résister au cisaillement avec un minimum garanti de 800 kg par point.*

Les auteurs concluent: *Tenant compte de l'expérience acquise et des résultats des études théoriques et expérimentales, nul doute que ce type de plancher ne trouve une place de choix dans le bâtiment à étages futur car il répond au désir des maîtres de l'œuvre et des architectes quant à la diminution des temps morts entre les divers corps de métiers et, en particulier, entre le gros œuvre et les travaux qui suivent.*

Le premier exemple de l'application de cette technique fut l'immeuble Gare – Centre, rue de Lausanne 18-20 à Genève, conçu par l'architecte Marc Saugey, terminé en 1958 et aujourd'hui démoli. Le plus connu est bien sûr le bâtiment administratif *Nestlé* à Vevey [3], dessiné par l'architecte Jean Tschumi, terminé en 1960 et actuellement en cours de rénovation dirigée par les architectes Jacques Richter et Ignacio Dahl Rocha (travaux d'ingénieurs: bureau Tappy Bornand Michaud, Vevey). Les sondages effectués récemment dans le cadre de cette rénovation

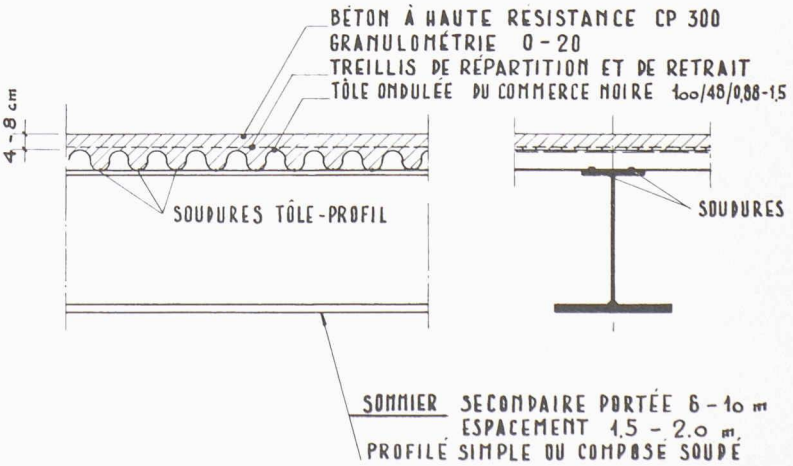

Fig. 3.- Plancher mixte avec tôle ondulée (figure tirée de [2])

ont montré la parfaite tenue des planchers mixtes de cet immeuble remarquable.

Vers le milieu des années 60, est apparue en Europe et en Suisse la première tôle profilée conçue spécialement pour les dalles mixtes, la tôle *Holorib* avec nervures en queue d'aronde (fig. 4). Ce développement industriel a mis fin à la construction plus « artisanale » qu'avaient représenté les planchers « en tôle ondulée ». Plus tard, sont apparues sur le marché d'autres types de tôles profilées, en particulier celles qui comportent des bossages sur les âmes (fig. 5). De nos jours, des profils dits « de la troisième génération » sont en développement, en vue d'être utilisés dans les planchers minces de grande portée de type « slim-floor » (fig. 6). Les prévisions de nos pionniers suisses des années 50-60 quant à l'avenir de ce type de plancher léger étaient donc justes.

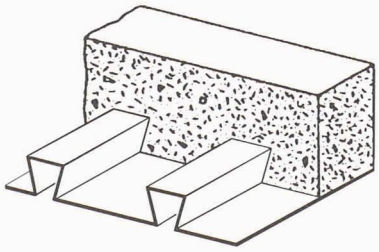

Fig. 4.- Dalle avec tôle Holorib

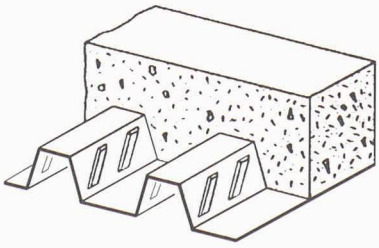

Fig. 5.- Dalle avec tôle embossée

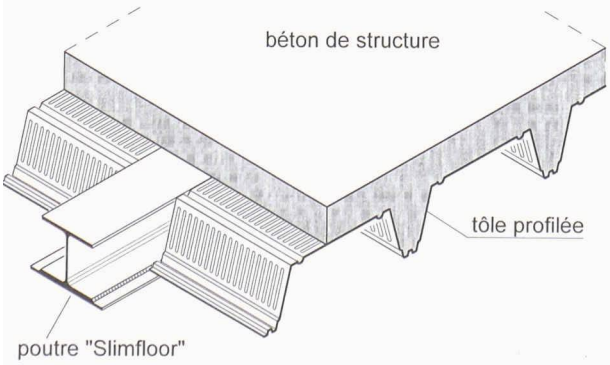

Fig. 6.- Tôle profilée pour « slim-floor »

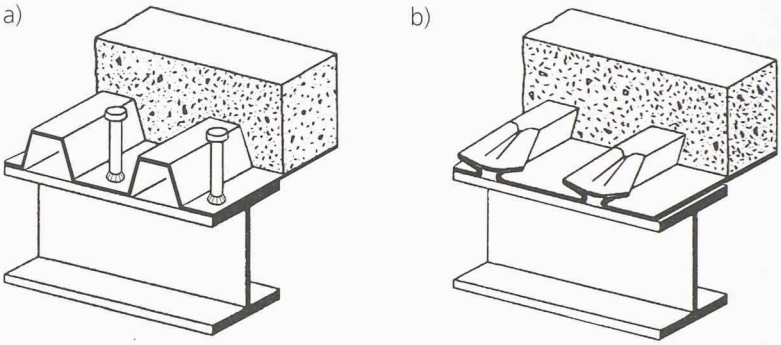

Fig. 7.- Ancrages d'extrémité
a) par goujons soudés
b) par écrasement des nervures

Méthodes de calcul

En Suisse, des essais effectués sur des tôles ondulées et à nervures en queue d'aronde par Bryl [4] [5] ont abouti à la mise au point de la première méthode de calcul connue, basée sur les contraintes admissibles. Cette méthode a été utilisée jusque dans les années 80 pour le calcul des dalles mixtes avec tôles profilées lisses, sans bossage. Elle rendait nécessaire, dans la plupart des cas, la mise en place d'ancrages aux extrémités de la dalle (fig. 7), afin d'éviter le glissement acier-béton qui provoque la ruine du système. Elle est décrite dans les *Recommandations pour l'utilisation des tôles profilées dans les planchers mixtes du bâtiment* [6], préparées en 1973 pour le Centre suisse de la construction métallique par Jean-Claude Badoux et Michel Crisinel.

Aux Etats-Unis, des raisons économiques ont conduit petit à petit à l'abandon des tôles à nervures en queue d'aronde au profit de tôles profilées à nervures trapézoïdales comportant des âmes embossées. Ces bossages 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 construits avec ce type de tôles profilées et ont abouti au développe-

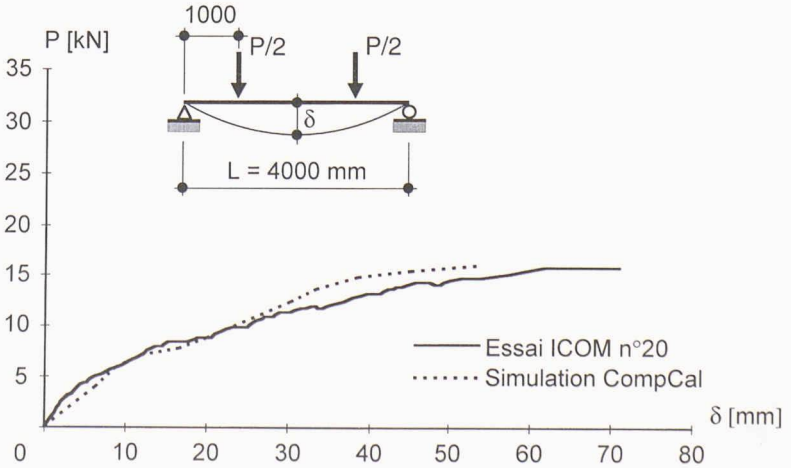

Fig. 8.- Essai et simulation du comportement charge-flèche d'une dalle mixte (tôle Hi-Bond 55, *t = 1,00 mm, ép. 140 mm)*

ment, par Porter, Ekberg et Schuster [7] [8], d'une méthode de calcul semi-empirique basée sur des critères de rupture par cisaillement longitudinal. Une méthode similaire a été proposée en France par Long Hung, Fulop et Moum [9], également sur une base expérimentale. La plupart des normes et recommandations européennes actuellement en vigueur ont adopté ces méthodes de calcul semi-empiriques [10] [11] [12].

Recherches en cours

Bien que le produit « dalle mixte » soit un élément de construction simple, économique et présentant de nombreux autres avantages, les vérifications à effectuer par le calcul (sécurité structurale, aptitude au service) peuvent s'avérer longues et compliquées. En effet, elles nécessitent la prise en compte de phénomènes secondaires difficilement saisissables par des méthodes de calcul simplifiées. Citons par exemple le voilement local des tôles minces au stade de coffrage, la connexion partielle due au glissement acier-béton, le poinçonnement dû aux charges concentrées, les effets dynamiques, l'anisotropie du comportement bidirectionnel, etc. C'est pourquoi les fabricants de tôles profilées mettent à disposition des ingénieurs et des constructeurs, des tableaux de dimensionnement pour les portées et épaisseurs courantes, basés sur des analyses théoriques et expérimentales. Cependant, l'ingénieur qui doit justifier son choix par une note de calcul ou effectuer le calcul d'une dalle aux dimensions non standard, n'est pas équipé pour effectuer les calculs cachés derrière les tableaux de charge car il n'a pas la connaissance des valeurs expérimentales. De même, le fabricant qui veut développer une nouvelle tôle profilée doit-il avoir les moyens de calculer sa capacité portante avant de la fabriquer en série.

Ces questions ont conduit de nombreux chercheurs, dont ceux de l'ICOM, à élaborer des programmes de calcul par ordinateur permettant de simuler le comportement sous charge des dalles mixtes et de diminuer le nombre d'essais en vraie grandeur, souvent coûteux et pas toujours réalisables. Ces simulations permettent d'effectuer des études paramétriques qui à leur tour pourront conduire à des méthodes de calcul simplifiées, mais prenant en compte les nombreux paramètres ignorés dans les méthodes existantes.

La thèse de Daniels [13], soutenue à l'EPFL en 1990, avait justement pour but le développement d'un modèle mathématique capable de simuler le comportement sous charge des dalles mixtes simples (fig. 8) et continues. Elle a abouti à trois résultats majeurs :

- la mise au point d'un essai de cisaillement sur petite éprouvette permettant d'établir la capacité d'adhérence acier-béton,
- le développement d'un logiciel de calcul non linéaire permettant de simuler les essais de dalles mixtes en vraie grandeur,
- la proposition d'une méthode de calcul simplifiée basée sur la même approche que celle du calcul des poutres mixtes à connexion partielle.

D'autres travaux allant dans le même sens ont été effectués à l'étranger, principalement en Australie [14], en Allemagne [15] et en Suède [16]. Ces recherches proposent également un essai de cisaillement permettant d'introduire une loi de comportement charge-glissement dans un programme de calcul par éléments finis.

La situation économique des années 90 a conduit à un certain désintérêt de la part des fabricants de tôle profilée pour ces recherches théoriques. Comme c'est malheureusement souvent le cas dans le domaine de la construction, il a été difficile de trouver en Suisse des fonds permettant de financer l'aboutissement des recherches, soit la mise en valeur des résultats pour une utilisation par les praticiens. Mais c'est grâce à la *Fondation pour la recherche scientifique et systématique dans le domaine de la construction en béton et béton armé* du Service de recherches et conseils techniques de l'industrie suisse du ciment (TFB) et à la *Commission pour la technologie et l'innovation* (CTI) de l'Office fédéral des questions conjoncturelles, que des subsides privés et fédéraux ont été octroyés à l'ICOM pour cette mise en valeur des résultats de la recherche sur les dalles mixtes. Les bénéficiaires espèrent ainsi mettre prochainement à disposition des praticiens (fabricants, ingénieurs et constructeurs), une nouvelle méthode simple et rapide pour le dimensionnement des dalles mixtes, applicable également en cas d'utilisation de nouveaux profils de tôle profilée et de nouveaux types de dalle mixte.

Conclusion

La dalle mixte acier-béton avec tôle profilée a connu en Suisse, depuis les premières réalisations de la fin des années 50 par les « pionniers », dont faisait partie le professeur Maurice Cosandey, un essor considérable. Si la conjoncture actuelle a ralenti son utilisation, ce mode de construire reste moderne et efficace, grâce à ses avantages tels que la légèreté, la facilité et la rapidité de mise en œuvre. Les développements récents, tant dans la création de nouveaux profils à haute capacité portante que dans les moyens de calcul à haute performance, devraient continuer d'en faire à l'avenir un moyen de construire de qualité, apprécié des architectes, des ingénieurs et des constructeurs.

Références

[1] Cosandey, M., Rosseti, E. : « L'ossature métallique du nouveau bâtiment administratif Nestlé à Vevey », *Bulletin de la construction métallique* N° 22, Chambre suisse de la construction métallique, Zurich, 1959

[2] Cosandey, M. : « Que répond l'ingénieur aux questions de l'architecte ? », Dritte schweizerische Stahl-

bautagung, Lausanne, 1960, *Mitteilungen der technischen Kommission*, Heft 21, Schweizer Stahlbauverband (SSV), Zurich, 1960, pp. 22-51

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

[4] 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

[5] 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

[6] Badoux, J.-C., Crisinel M. : « Recommandations pour l'utilisation de tôles profilées dans les planchers mixtes du bâtiment », Centre suisse de la construction métallique, publication B5, Zurich, 1973

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

[8] Porter, M. L., 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] Long Hung, H., Fulop, A., Moum Ch. : « Planchers à bacs collaborants, recherche expérimentale », *Annales de l'ITBTP*, Paris, vol. 31, n° 363, 1978, pp. 86-105

[10] ENV 1994-1-1 Prénorme européenne, Eurocode 4, Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments, Comité Européen de Normalisation, Bruxelles, octobre 1992

[11] BS 5950 – Part 4 : Structural Use of Steelwork in Building – Code of Practice for Design of Floors with Profiled Steel Sheetings, BSI, London, 1994

[12] ECCS N° 87, Design Manual for Composite Slabs, European Convention for Constructional Steelwork, Brussels, 1995

[13] Daniels, B. J. : « Comportement et capacité portante des dalles mixtes : modélisation mathématique et étude expérimentale », thèse N° 895, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1990

[14] Patrick, M. : « Shear Connection Performance of Profiled Steel Sheeting in Composite Slabs », thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy, School of Civil and Mining Engineering, The University of Sydney, 1994

[15] Sauerborn, I. : « Zur Grenztragfähigkeit von durchlaufenden Verbunddecken », vom Fachbereich Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern zur Verleihung des akademischen Grades Dr.-Ing. genehmigte Dissertation, Kaiserslautern, 1995

[16] Veljkovic, M. : « Behaviour and Resistance of Composite Slabs : Experiments and Finite Element Analysis », Doctoral Thesis 1996 : 207 D, Luleå University of Technology, Sweden, 1996

M. Crisinel est chef de section à l'ICOM. Il a été président du groupe de travail « Dalles mixtes » du Comité technique 7 de la Convention européenne de la construction métallique (CECM-ECCS) de 1987 à 1997.
M. A. Hirt est professeur de construction métallique et directeur de l'ICOM. Il est actuellement Chef du Département de génie civil de l'EPFL.

Le génie génétique au delà des slogans, vingt entretiens

L'Académie suisse des sciences naturelles, à travers son Forum « recherche génétique », vient de publier une brochure d'information sur le génie génétique. Les potentialités de cette technologie, ses risques, l'usage responsable que l'on peut en faire, les implications éthiques, tous ces thèmes sont abordés par vingt scientifiques et spécialistes qui prennent position de manière compétente, personnelle et indépendante. Neuf entretiens sont donnés en français, neuf en allemand et deux en italien.

Le Forum « recherche génétique » a pour but de promouvoir un débat très large sur le génie génétique, autant que possible sans parti pris, en mettant l'accent sur la diffusion d'informations factuelles. Ses membres ont d'ailleurs des points de vue très variés sur ce sujet controversé. Le Forum ne peut et ne veut pas présenter un discours unanime. Il est néanmoins logique qu'un groupe de travail émanant du monde scientifique ait à cœur de refléter toute la diversité, l'importance et les perspectives de cette nouvelle technique. La forme de l'entretien a été choisie pour donner la parole à vingt spécialistes, en laissant libre cours à des propos teintés parfois d'une note très personnelle. Si les réticences suscitées par certains domaines d'application, jusque dans les rangs des scientifiques, ne sont pas occultées, il est toutefois évident qu'il n'y a guère de chercheurs qui puissent imaginer une réglementation de leur domaine d'activité aussi limitative que le préconise l'initiative dite « Pour la protection génétique ». Autrement dit, les partenaires des entretiens sont en majeure partie des scientifiques qui ont affaire professionnellement au génie génétique, mais les domaines de l'éthique, du droit et de la sécurité sont aussi pris en considération.

Pour qui veut s'informer, et aller au-delà des réflexes de crainte, cette brochure apporte une base de réflexion.

A obtenir gratuitement à l'adresse suivante :
Académie suisse des sciences naturelles
Bärenplatz 2, 3011 Bern
Tél. 031/312 33 75, Fax 031/312 32 91
e-mail : sanw@sanw.unibe.ch