
Modèle bielles-tirants pour le support d'une poutre transversale acier noyée dans une poutre principale béton

Frédéric MARIE¹, Hugues SOMJA²

¹ Ingénieur, LGCGM - INSA Rennes, 20 av. des Buttes de Coësmes, CS 70839, 35708 Rennes Cedex, frederic.marie@insa-rennes.fr

² Maître de conférences, LGCGM - INSA Rennes, 20 av. des Buttes de Coësmes, CS 70839, 35708 Rennes Cedex, hugues.somja@insa-rennes.fr

RÉSUMÉ. Traditionnellement, les bâtiments en charpentes métalliques et en béton armé sont issus de deux filières séparées. La construction mixte acier-béton reste avant tout conçue comme une charpente métallique, tirant un avantage limité de la présence des planchers en béton. Cependant, depuis quelques années, de nouvelles conceptions plus intégrées entre les deux matériaux voient le jour, essayant de les marier pour tirer avantage de leurs qualités respectives : la grande résistance de l'acier d'une part et le faible coût et la résistance à l'incendie du béton d'autre part, par exemple. Dans de telles conceptions, le béton peut aussi faire prévaloir une certaine facilité dans la réalisation des assemblages, grâce au monolithisme du béton coulé en place, là où les assemblages métalliques par boulonnage ou soudure demandent plus de technicité, et représentent une part non négligeable du coût de la structure. Il est donc assez naturel, dans une conception hybride, d'essayer de tirer bénéfice de cet avantage du béton. Cet article s'intéresse en particulier au dimensionnement de l'appui d'une poutre secondaire en acier traversant une poutre transversale en béton, par simple contact direct. Sur base d'une campagne expérimentale composée de cinq essais, un modèle bielles-tirants spécifique est développé. Il met en évidence l'effet du niveau de l'appui dans la hauteur de la poutre béton sur la typologie du modèle treillis.

ABSTRACT. Buildings in steel structures and in reinforced concrete come from two separated industrial sectors. Steel-concrete composite buildings remain designed as steel structures, with a limited benefit by the presence of concrete slabs. For some years however, a more integrated design between both materials is investigated. It tries to combine them in order to take advantage from their respective qualities: the high resistance of the steel on one hand and the weak cost and great resistance to the fire from the concrete on the other hand, for example. One of the advantages of the concrete is also the easiness in the fabrication of joints, thanks to the monolithic nature of the concrete cast in place, whereas the metallic assemblages by bolting or welding ask for more technical work, and represent a non-negligible part of the cost of a structure. It is therefore rather natural, in a hybrid conception, to try to use this advantage of the concrete. In this context, this article focuses on the design of the support of a steel secondary beam crossing a transverse beam in concrete, by simple direct contact. On the base of an experimental campaign made of five tests, a specific strut-and-tie model is developed. It highlights the effect of the level of the support in the height of the concrete beam on the shape of the mesh model.

MOTS-CLÉS : modèle bielles-tirants, angle de diffusion, appui indirect, hybride, béton, acier.

KEY WORDS: strut and tie model, angle of diffusion, indirect support, hybrid, concrete, steel.

1. Introduction

Traditionnellement, les bâtiments en charpentes métalliques et en béton armé sont issus de deux filières séparées. La construction mixte acier-béton reste avant tout conçue comme une charpente métallique, tirant un avantage limité de la présence des planchers en béton. Cependant, depuis quelques années, de nouvelles conceptions plus intégrées entre les deux matériaux voient le jour, essayant de les marier pour tirer avantage de leurs qualités respectives : la grande résistance de l'acier d'une part et le faible coût et la résistance à l'incendie du béton d'autre part, par exemple.

Dans de telles conceptions, le béton peut aussi faire prévaloir une certaine facilité dans la réalisation des assemblages, grâce au monolithisme du béton coulé en place, là où les assemblages métalliques par boulonnage ou soudure demandent plus de technicité, et représentent une part non négligeable du coût de la structure. Il est donc assez naturel, dans une conception hybride, d'essayer de tirer bénéfice de cet avantage du béton. Cet article s'intéresse en particulier au dimensionnement de l'appui d'une poutre secondaire en acier traversant une poutre transversale en béton, par simple contact direct.

Sur base d'une campagne expérimentale composée de cinq essais, un modèle bielles-tirants spécifique est développé. Il met en évidence l'effet du niveau de l'appui dans la hauteur de la poutre béton sur la typologie du modèle treillis.

2. Campagne expérimentale

Les spécimens expérimentaux sont faits d'un profil en acier traversant une simple poutre en béton armé (voir Figure 1 (a)). Deux essais, CS-H1 et CS-H2, sont réalisés avec un profil acier sans raidisseur central. Les trois autres essais, respectivement CS-H+R1, 2 et 3, sont réalisés avec un profil avec raidisseur horizontal (voir Figure 1 (b)).

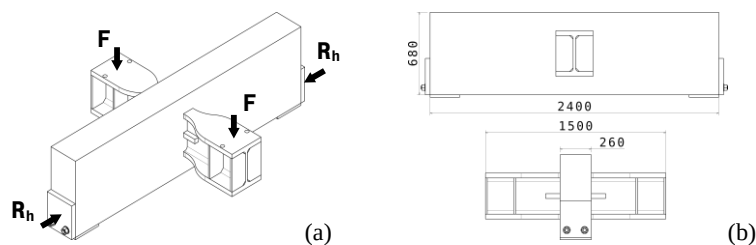


Figure 1. Vue isométrique des corps d'essai (a) et dimensions générales (b) (type CS-H+R).

L'évaluation du comportement de la connexion sous chargement statique vertical est réalisée sur un banc d'essai spécifique utilisant deux vérins verticaux pour appliquer la charge de part et d'autre du profil acier. Les spécimens sont insérés dans un cadre métallique permettant de développer un effort de compression R_h dans la partie inférieure de la poutre béton. Outre la mesure des déplacements le long du spécimen, le banc d'essai est instrumenté, entre autres, par douze jauges de déformation disposées sur les étriers (voir Figure 2). Le chargement des corps d'essai est de type monotone statique.

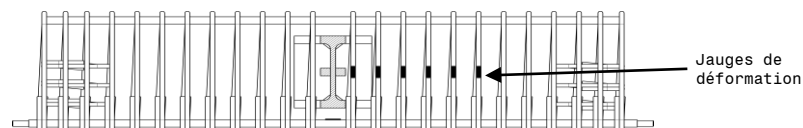


Figure 2. Ferrailage et instrumentation des corps d'essai.

Les courbes force-déplacement sont données Figure 3 (a), et l'évolution de l'effort dans les étriers Figure 3 (b) pour l'essai CS-H+R3. Durant l'essai, une fissuration diagonale, d'angle variable, apparaît, matérialisant les bielles d'appui du spécimen (voir Figure 4 (a)). La ruine débute par la formation d'un cône de poinçonnement partant de la semelle supérieure, et l'essai se termine brutalement par la rupture de l'étrier le plus proche du profil (voir Figure 4 (b)).

L'analyse des contraintes dans les étriers (voir Figure 3 (b)) montre une répartition non uniforme des efforts.

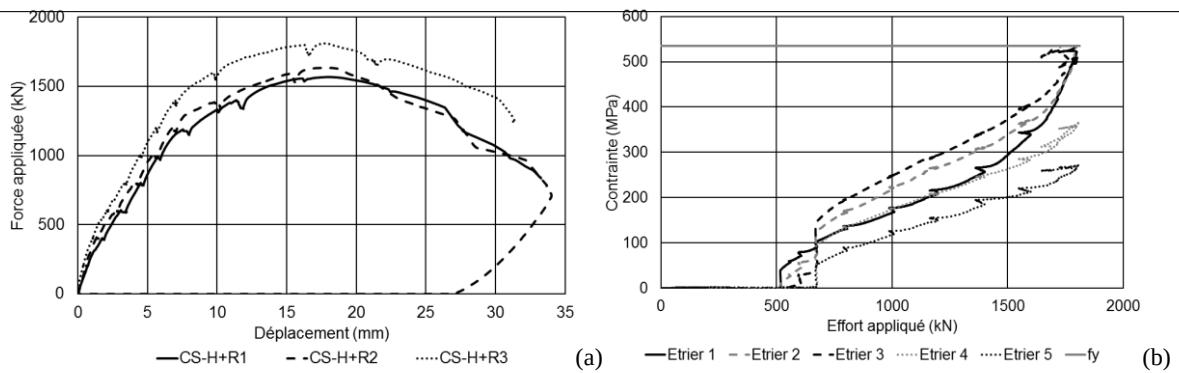


Figure 3. Courbes force-déplacement (a) et évolution de l'effort dans les étriers (b) (essai CS-H+R3).

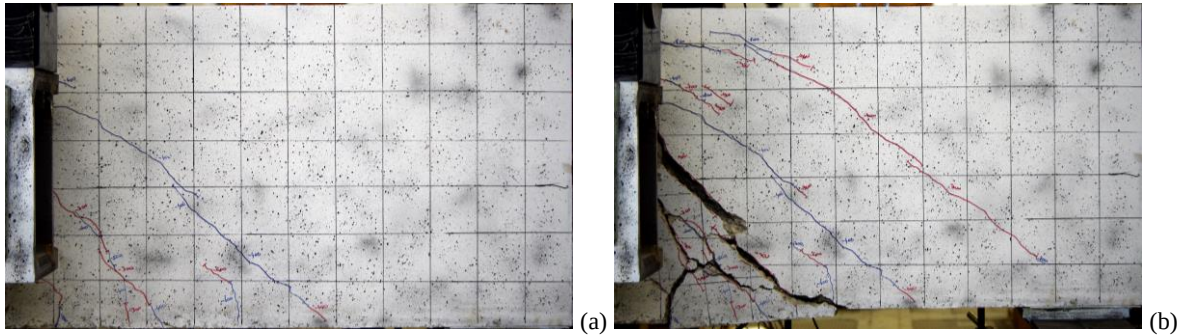


Figure 4. Fissuration en cours d'essai (a) et à la ruine (b) (essai CS-H+R3).

3. Interprétation

Il paraît naturel de dimensionner un tel appui par un modèle bielles-tirants simple, supposant un ensemble de bielles parallèles inclinées à 45° , partant des semelles et raidisseurs et s'appuyant en leur pied sur les étriers et le tirant horizontal inférieur, et de supposer une adaptation plastique du système permettant de mobiliser la résistance plastique de tous les étriers appuyant le profil (voir Figure 5 (a), étriers en rouge).

Les résultats expérimentaux montrent qu'il n'est pas possible de développer une inclinaison aussi importante des bielles, et que l'adaptation plastique n'a pas lieu. Dès lors, la définition du modèle bielles-tirants doit être réalisée de façon plus académique. Tout d'abord, la direction des bielles est déduite d'une analyse élastique réalisée avec FINELG [VIL 16] sur base des trajectoires de contraintes (voir Figure 5 (b)) [SCH 87], [FIB 99], [FIB 11] et [EC2 05].

Ensuite un modèle bielles-tirants séparant les différentes bielles est développé, voir Figure 6 (a). Il permet de restituer fidèlement la distribution des efforts dans les étriers à la charge maximale (voir Figure 6 (b)).

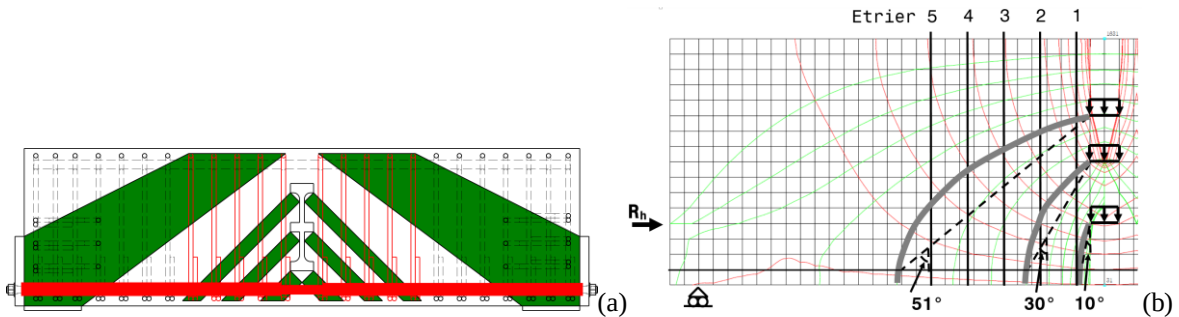


Figure 5. Modèle bielles-tirants simple (a) et trajectoires de contraintes (essai CS-H+R3) (b).

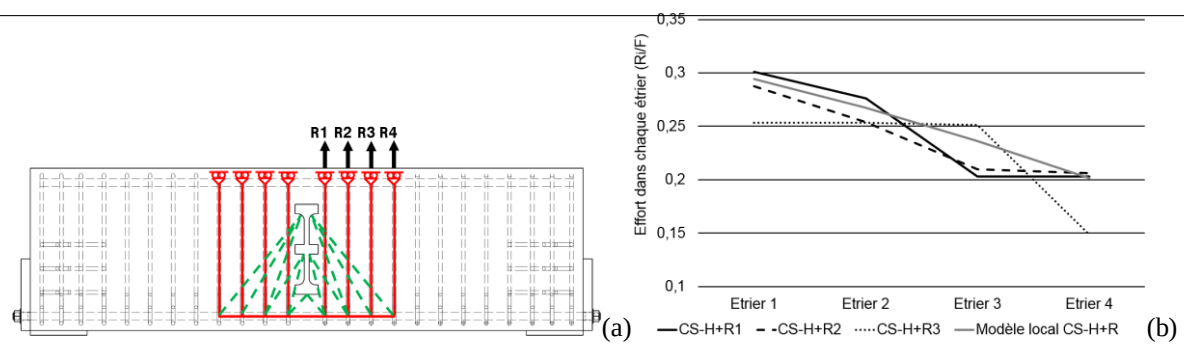


Figure 6. Modèle bielles-tirants (a), et distribution des efforts dans les étriers à la ruine (b).

4. Conclusion et recommandations de dimensionnement

Les essais ont donc montré que l'inclinaison des bielles d'appui dépendait du niveau d'application de la charge. Dès lors, une étude paramétrique a été entreprise afin de déterminer l'évolution de l'angle maximal de diffusion. Ensuite, un modèle théorique simple a été développé afin de prédire la distribution des efforts dans les étriers.

Sur cette base, des recommandations simplifiées pour le dimensionnement sont proposées. Elles sont synthétisées graphiquement sur les Figures 7 (a) et 7 (b).

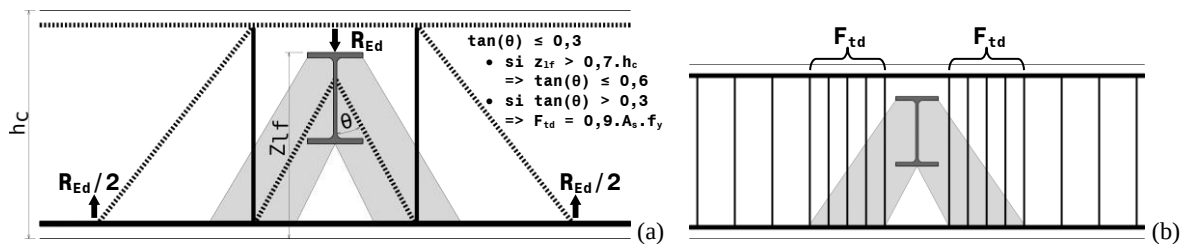


Figure 7. Modèle bielles-tirants proposé (a), et renforcement proposé (b).

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier l'Union Européenne et plus particulièrement le Fond de Recherche du Charbon et de l'Acier, qui a financé le projet SMARTCoCo dont est extraite la campagne expérimentale présentée dans cet article. Les auteurs souhaitent également remercier le Professeur André PLUMIER de l'Université de Liège pour sa grande implication dans ce projet et ses conseils.

5. Bibliographie

- [SCH 87] SCHLAICH J., SCHÄFER K., JENNEWEIN M., « Toward a consistent design of structural concrete », *PCI Journal*, vol. 32, n° 3, May-June 1987, p. 74-150.
- [FIB 99] Fib, *Structural concrete Textbook on behavior, Design and Performance. Updated knowledge of the CEB/FIP Model Code 1990*, vol. 3, Lausanne, International Federation of Structural Concrete, 1999.
- [FIB 11] Fib, *Design examples for strut-and-tie models*, bulletin 61, Lausanne, International Federation of Structural Concrete, 2011.
- [EC2 05] Eurocode 2, *Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings*, EN1992-1-1, European Committee for Standardization, 2005.
- [VIL 16] DE VILLE V., SOMJA H., HANSOULLE T., PESESSE C., *Finelg user's manual*, version 9.1, Université de Liège et Greish, Liège, 2016.