Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 123 (1997)
Heft: 13

Artikel: Dimensionnement des assemblages mixtes semi-rigides (II)
Autor: Crisinel, Michel
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79123

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: 01.01.2026

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

Dimensionnement des assemblages mixtes semi-rigides (II)[1]

Par Michel Crisinel, ing. civil dipl. EPFL/SIA, chef de section, ICOM, EPFL, 1015 Lausanne

6. Les nœuds mixtes acier-béton

6.1 Principes

Les nœuds mixtes sont des liaisons poutre-poteau comportant des éléments en acier et des éléments en béton. Dans le présent article, nous nous bornons à traiter les nœuds composés d'une poutre mixte et d'un poteau métallique ou mixte.

Comme les nœuds métalliques, les nœuds mixtes ont longtemps été considérés comme rigides ou articulés. Dans le premier cas (fig. 11a), la continuité de la dalle est assurée par l'armature, le béton étant fissuré dans cette zone de moment négatif : le nœud est considéré comme rigide. Dans le second cas (fig. 11b), la dalle est interrompue, la continuité n'étant pas souhaitée : le nœud est alors assimilé à une articulation.

Cependant, des études récentes ont permis de montrer que, pour des nœuds métalliques simples (double cornière), une faible quantité d'armature disposée dans la dalle permet d'influencer favorablement le comportement du nœud sous deux aspects (fig. 12) :

- l'augmentation de la résistance du nœud est importante et permet de diminuer les moments et les flèches en travée,
- le gain de rigidité du nœud permet de diminuer les déplacements nécessaires à obtenir le moment résistant du nœud.

L'intérêt de telles solutions est donc important, puisqu'elles permettent de diminuer la quantité de matière (résistance et déplacements améliorés) en conservant un nœud métallique simple (assemblage par double cornière) et un mode de construction traditionnel (dalle en béton avec treillis et barres d'armature).

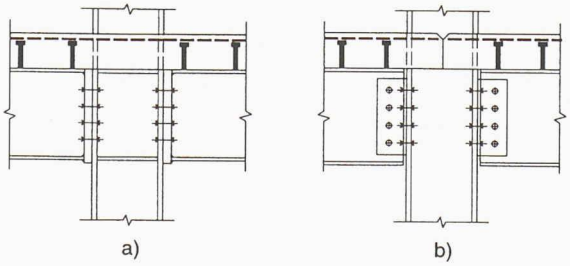

Fig. 11. – Nœuds mixtes usuels

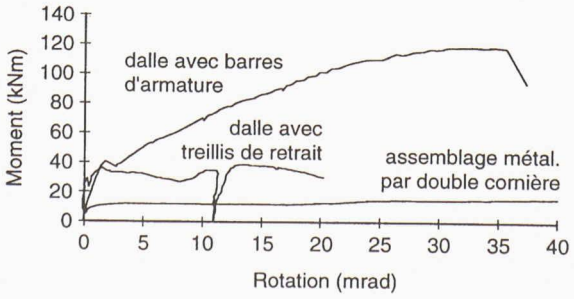

Fig. 12. – Avantages des nœuds mixtes semi-rigides

De nombreuses recherches ont été entreprises et sont en cours actuellement en vue d'établir des méthodes utilisables en pratique. En particulier, un travail de thèse effectué à l'ICOM [5] avait pour but de déterminer l'influence de la dalle en béton, connectée aux poutres métalliques, sur le comportement des nœuds usuels de type rigide ou articulé (fig. 13).

La méthode proposée permet de prédire la rigidité flexionnelle et le moment résistant des nœuds mixtes avec assemblage par double cornière. Elle est basée sur une méthode similaire développée en Angleterre pour les nœuds mixtes avec assemblage par plaque frontale [6]. Elle a été comparée avec des résultats d'essais et avec les résultats d'une simulation à l'ordinateur. Ces comparaisons ont non seulement montré que cette méthode est fiable, mais qu'elle est également simple d'emploi, car elle est analogue aux méthodes courantes utilisées en construction mixte pour la détermination des caractéristiques des sections.

Nous présentons ci-dessous les méthodes de calcul du moment résistant des nœuds mixtes avec double cornière et plaque frontale. On trouvera dans la thèse citée plus haut [5] la méthode permettant de déterminer également la rigidité flexionnelle et la capacité de rotation de ces nœuds mixtes.

6.2 Moment résistant d'un nœud mixte avec assemblage par double cornière

Il est possible de procéder au calcul plastique de la résistance ultime à la flexion d'un nœud mixte (ou son « moment résistant ») pour autant que les composants du nœud présentent un comportement ductile. Pour le calcul de la résistance sous moment négatif, on admet les hypothèses suivantes :

- le béton tendu est négligé,
- la résistance à la flexion de la dalle est négligée,
- il y a interaction complète entre la dalle et le profilé métallique,
- les boulons d'assemblage situés en zone comprimée sont négligés.

L'état d'équilibre adopté dans ce modèle de calcul plastique correspond à la plastification de l'armature située dans la dalle en béton, à la rupture par traction ou cisaillement des boulons supérieurs de l'assemblage et à la rupture par compression de la zone inférieure de l'assemblage. La figure 14 donne une représentation schématique de cet état d'équilibre.

6.2.1 Efforts à considérer

Les efforts entrant en jeu sont les suivants :

Plastification de l'armature tendue

$$F_s = f_{ys} A_s \qquad (27)$$

f_{ys} limite apparente d'élasticité de l'acier d'armature

A_s section d'armature située dans la largeur participante de la dalle sur appui, par exemple $b_{ef} = \ell/8$ [7]

[1] Voir *IAS* N° 11 du 14 mai 1997, pp. 180-187

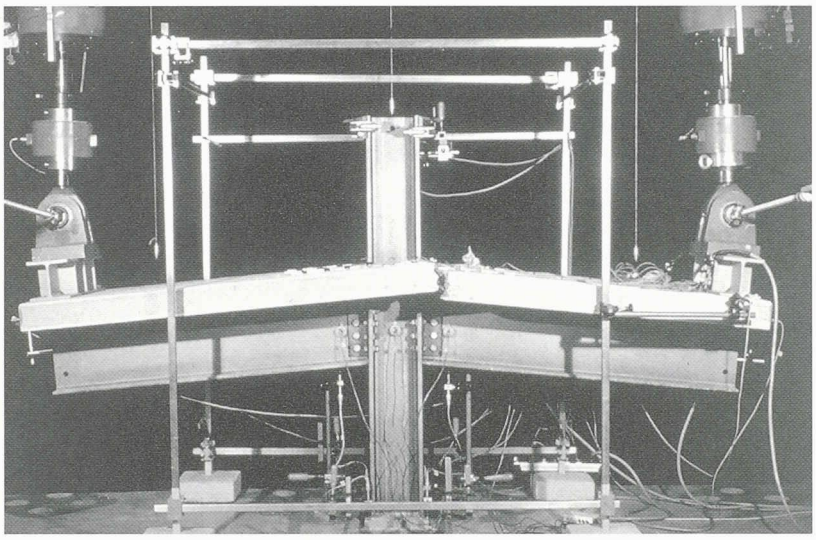

Fig. 13. – Essai de rupture en laboratoire d'un nœud mixte semi-rigide constitué d'un assemblage par double cornière et d'une dalle en béton faiblement armé

Résistance des boulons dans la zone tendue de l'assemblage par double cornière
La valeur F_t à considérer est la plus petite des trois valeurs ci-après :

- Résistance à la traction d'une paire de boulons (non précontraints) liant les cornières à l'aile du poteau :

$$2\ T_R = 2 \cdot 0.6\ f_{uB}\ A_{sB} \qquad (28)$$

f_{uB} résistance à la traction de l'acier du boulon
A_{sB} aire de la section résistante du boulon

- Résistance au cisaillement du boulon supérieur (non précontraint, deux sections cisaillées) liant les deux cornières à l'âme de la poutre :

$$V_R = 2 \cdot \frac{0.8}{\sqrt{3}}\ f_{uB}\ A_{sB} \qquad (29)$$

- Résistance à la pression latérale de l'âme de la poutre à l'endroit du boulon supérieur :

$$L_R = 0.8 \cdot \frac{e_1}{d}\ f_u\ d \leq 2.4\ f_u\ d \qquad (30)$$

e_1 pince dans la direction de l'effort
d diamètre de la tige du boulon
f_u résistance à la traction de l'acier de la poutre

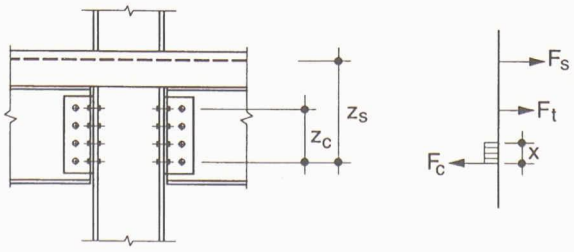

Fig. 14. – Moment résistant d'un nœud mixte avec assemblage par double cornière

t épaisseur (la plus petite valeur entre l'épaisseur de l'âme de la poutre t_{wt} et deux épaisseurs de cornière 2 t_L)

Résistance des boulons dans la zone comprimée de l'assemblage par double cornière
La valeur F_c à considérer est la plus petite des deux valeurs V_R et L_R calculée ci-dessus (L_R est alors calculée avec e_1/d = 3,0).

Résistance de la zone comprimée du poteau (introduction de la force dans l'aile et dans l'âme)
Cette résistance n'est en général pas déterminante pour les assemblages par double cornière.

6.2.2 Moment résistant
L'équilibre des efforts permet de déterminer la position de l'axe neutre et le moment résistant :

- si $F_s > F_c$, l'axe neutre est situé au-dessus de la rangée supérieure de boulons, qui n'est alors pas prise en considération dans l'équilibre.

Par contre, une partie x de l'âme de la poutre doit contribuer à cet équilibre :

$$x = \frac{F_s - F_c}{t_{wt}\ f_{yt}} \qquad (31)$$

f_{yt} limite d'élasticité de l'acier de la poutre
Le moment résistant du nœud mixte vaut donc :

$$M_{Rd} = F_s \cdot z_s - (F_s - F_c)\frac{x}{2} \qquad (32)$$

z_s bras de levier entre F_s et F_c

- Si $F_s \leq F_c$, la rangée supérieure de boulons est en traction et participe à l'équilibre. La hauteur fictive d'âme de la poutre en compression vaut alors :

$$x = \frac{F_s + F_t - F_c}{t_{wt}\ f_{yt}} \qquad (33)$$

Le moment résistant du nœud mixte est donné par :

$$M_{Rd} = F_s\ z_s + F_t\ z_c - (F_s + F_t - F_c)\frac{x}{2} \qquad (34)$$

Remarque importante
Dans ce modèle simplifié, il est admis que les cornières d'attache sont dimensionnées pour reprendre l'effort tranchant comme décrit au paragraphe 3 et qu'elles ne sont pas la cause de la ruine. D'autre part, il faut vérifier qu'une deuxième rangée de boulons est située dans la partie x de l'âme, de façon à ce que cette participation à la compression soit assurée. C'est en général le cas pour les attaches comportant au moins trois rangées de boulons.

6.3 Moment résistant d'un nœud mixte avec assemblage par plaque frontale
Dans ce cas, on retient les mêmes hypothèses que précédemment. L'état d'équilibre plastique correspond ici (fig. 15) à la plastification de l'armature de la dalle, à la rupture par traction des boulons de la rangée supérieure et à la ruine par compression de la zone inférieure de la poutre.

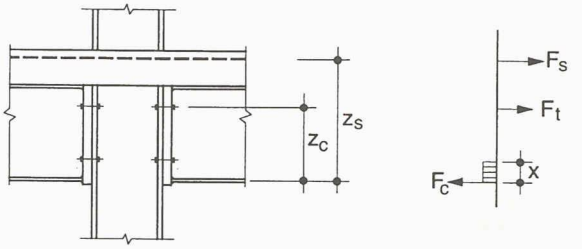

Fig. 15. – Moment résistant d'un nœud mixte avec assemblage par plaque frontale

6.3.1 Efforts à considérer
Les efforts entrant en jeu sont les suivants:

Plastification de l'armature tendue
Voir équation (27).

Résistance à la traction de chaque boulon de la rangée supérieure
boulon non précontraint: $T_R = 0{,}6\ f_{uB}\ A_{sB}$ (35)
boulon précontraint: $T_R = 0{,}8\ f_{uB}\ A_{sB}$ (36)

Résistance de la zone comprimée de l'assemblage
La valeur F_c à considérer est la plus petite des deux valeurs F_R ci-après:

- Résistance à la compression de l'aile inférieure de la poutre:

$$F_{Rt} = f_{yt}\ t_{ft} \cdot 2\ c_t \qquad (37)$$

- Résistance à la compression de l'âme du poteau F_{Rc}
  On peut utiliser pour F_{Rc} les valeurs données par les équations (18) et (19), ou alors utiliser l'équation (J.20) de l'*Eurocode 3* qui donne pratiquement les mêmes résultats.

6.3.2 Moment résistant
Deux cas à nouveau se présentent selon la position de l'axe neutre.

- Si $F_s > F_c$, l'axe neutre est situé dans l'âme de la poutre au-dessus de la rangée supérieure de boulons, qui est alors négligée car comprimée:

$$x = \frac{F_s - F_c}{t_{wt}\ f_{yt}} \qquad (38)$$

  Le moment résistant du nœud mixte vaut alors:

$$M_{Rd} = F_s\ z_s - (F_s - F_c)\left(\frac{x}{2} + \frac{t_{ft}}{2}\right) \qquad (39)$$

- Si $F_s \leq F_c$ et $(F_s + F_t) > F_c$, l'axe neutre est situé dans l'âme de la poutre, en dessous de la rangée supérieure de boulons situés dès lors en traction:

$$x = \frac{F_s + F_t - F_c}{t_{wt}\ f_{yt}} \qquad (40)$$

  Le moment résistant du nœud mixte vaut dans ce cas:

$$M_{Rd} = F_s\ z_s + F_t\ z_t - (F_s + F_t - F_c)\left(\frac{x}{2} + \frac{t_{ft}}{2}\right) \qquad (41)$$

Remarques
On a admis dans ce modèle simplifié que la plaque frontale et la soudure étaient dimensionnées de façon à ne pas être la cause de la ruine, conformément aux règles données au paragraphe 4.
En cas de réalisation de nœuds mixtes avec assemblage par plaque frontale, il est recommandé, pour des raisons pratiques de construction et d'économie, d'utiliser des plaques non débordantes (à fleur), comme dans le modèle exposé ci-dessus. En cas de plaque débordante, il est nécessaire d'adapter ce modèle. Son utilisation pour les plaques débordantes nous place cependant du côté de la sécurité.

7. Conclusions

La prise en compte de la semi-rigidité des assemblages permet une meilleure connaissance du comportement de la structure et des éventuelles économies de matière. Elle permet en particulier de diminuer les flèches des poutres dans les systèmes considérés comme articulés et de simplifier l'exécution des nœuds dans les systèmes considérés comme rigides.
Elle nécessite cependant la maîtrise des paramètres entrant en jeu (rigidité, résistance, capacité de rotation) ainsi que l'influence de ces paramètres sur la répartition des efforts intérieurs dans la structure. Les nouvelles normes européennes (*Eurocodes 3* et *4*) et les méthodes simplifiées présentées dans cette contribution fournissent les moyens de calculer les caractéristiques des nœuds semi-rigides, métalliques ou mixtes, mais il reste à développer des méthodes d'analyse des cadres et de dimensionnement des éléments abordables par les praticiens, de façon à ce que ces derniers puissent acquérir l'expérience de ce nouveau mode de construire en acier [8].

Remerciements

Cette contribution est basée sur des travaux entrepris à l'ICOM – Construction métallique dans le cadre d'une recherche sur les assemblages mixtes financée par le Fonds national de la recherche scientifique. Elle se fonde également sur les travaux de rédaction des volumes 10 et 11 du *Traité de Génie civil* consacrés à la construction métallique.
Les paragraphes 2 et 5 ont été fortement inspirés du texte du professeur René Maquoi, de l'Université de Liège, invité à l'ICOM en 1995, comme contribution au volume 11 de l'ouvrage cité ci-dessus. Les paragraphes 3 et 4 sont partiellement tirés du volume 10 rédigé par le professeur Manfred Hirt et M. Rolf Bez, chargé de cours. Enfin le paragraphe 6 est basé sur le travail de thèse de Mme Ping Ren ainsi que sur des travaux similaires effectués dans le cadre du projet européen *COST C1* concernant la maîtrise de la semi-rigidité dans les assemblages des structures de génie civil.[2]

[2]Ce travail a été présenté pour la première fois à la Journée d'étude du 5 mars 1996, organisée par le Centre romand de la Formation continue universitaire de la SIA en collaboration avec l'ICOM Construction métallique EPFL, et publié dans la collection Documentation SIA D0704: « Les structures mixtes acier-béton: Eurocode 4, dimensionnement, réalisations », pp. 25-37.

Références bibliographiques

[1] ENV 1993-1-1 (SIA V 161.001) Eurocode 3: «Calcul des structures en acier – Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments». SIA, Zurich, 1993

[2] SZS C 9.1 «La construction métallique: Assemblages par plaques frontales et boulons HR. Assemblages de poutrelles par doubles cornières». Centre suisse de la construction métallique, Zurich, 1983.

[3] ECCS N° 67: «Analysis and design of steel frames with semi-rigid joints». Convention européenne de la construction métallique, Bruxelles, 1992

[4] ECCS: «Moment-rotation characterisation for steel beam-to-column connections». Convention européenne de la construction métallique, Bruxelles, (en préparation)

[5] Ren, Ping: «Numerical modelling and experimental analysis of steel beam-to-column connections allowing for the influence of reinforced concrete slabs». EPFL, ICOM-Construction métallique, thèse EPFL N° 1369, Lausanne, 1995

[6] Xiao, R., Nethercot, D. and Choo, B.S.: «Moment resistance of composite connection in steel and concrete». Proceedings of the first conference on constructional steel design, Acapulco (Mexique), 1992

[7] ENV 1994-1-1 (SIA V 163.001) *Eurocode 4*: «Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton – Partie 1.1: Règles générales et règles pour le bâtiment». SIA, Zurich, 1994

[8] Crisinel, Michel, Ren Ping et Carretero, Alberto: «Practical design method for semi-rigid composite joints with double web cleat connections», IABSE Colloquium Istanbul 1996: «Semi-rigid structural connections». Rapport de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes, vol. 75, Zurich, 1996, pp. 185-195

Rectificatif

Dans la rubrique «Informations SIA» de notre numéro 9 du 16 avril 1997, l'article «Commission d'accompagnement BK SIA 162 – Ouvrages en béton», en pages 156 et 157, a malheureusement subi une coupure importante, en ce sens qu'une partie de la décision de la commission concernant la désignation des bétons a été amputée.

Sous «Décision de la commission d'accompagnement BK SIA 162», à la **page 156**, il faut donc lire:

«Dans la désignation des bétons, on renonce à la spécification de la classe de résistance du ciment. Les désignations complètes mentionnées en exemple sous le chiffre 5 12 4 de la norme SIA 162 sont à remplacer de la manière **suivante:**

Béton B35/25
CEM I
300 kg/m³

ou

Béton B35/25
CEM I
325 kg/m³
résistant au gel

ou

Béton B35/25
CEM I HS
325 kg/m³
étanche»

Nous prions la commission BK SIA 162, les auteurs de l'article et nos lecteurs de bien vouloir nous pardonner cette malencontreuse omission. *La rédaction*