

# Dimensionnement de poutres mixtes en connexion partielle

Autor(en): **Aribert, Jean Marie**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **60 (1990)**

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-46465>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Dimensionnement de poutres mixtes en connexion partielle

Bemessung von Verbundbalken mit teilweise Verbund

Design of Composite Beams with a Partial Shear Connection

### Jean Marie ARIBERT

Prof. des Universités  
INSA  
Rennes, France



Jean-Marie Aribert, né en 1941, Ingénieur et Docteur es-Sciences, enseigne la Mécanique des Structures à l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, depuis 1970. Il dirige un laboratoire orienté principalement vers la Construction Métallique et la Construction Mixte acier-béton. Il est Conseiller Scientifique au Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (Paris).

### RÉSUMÉ

Cette communication concerne le dimensionnement de poutres mixtes en connexion partielle, principalement à l'état limite ultime mais aussi à l'état limite de service. Sur la base d'une étude paramétrique par modèle numérique, une méthode simplifiée est proposée qui tient compte de l'influence de la portée des poutres de manière plus précise et parfois plus sûre que dans les codes actuels. En outre, cette méthode permet l'utilisation de degré de connexion plus faibles. Enfin, on indique brièvement comment une généralisation peut être envisagée pour des cas de poutres plus complexes que ceux présentés ici.

### ZUSAMMENFASSUNG

Diese Veröffentlichung behandelt die Bemessung von Verbunddeckenbalken mit teilweise Verbund, speziell im Zusammenhang mit der Tragfähigkeit, aber auch im Gebrauchszustand. Eine vereinfachte Methode, abgeleitet auf Grund einer Parameterstudie mit Hilfe eines numerischen Modells wird vorgeschlagen. Sie berücksichtigt den Einfluss der Tragweite des Balkens wesentlich präziser und sicherer als die gegenwärtigen Vorschriften. Diese Methode erlaubt übrigens auch Anschlussgrade. Zum Schluss wird kurz beschrieben, wie Verallgemeinerungen für komplexere Fälle, als die hier angezeigten, vorkommen werden können.

### SUMMARY

The present paper deals with the design of composite steel and concrete beams, mainly at the ultimate limit state but also at the serviceability limit state. Based on a parameter investigation by means of a numerical model, a simplified method is proposed, which takes into account the effect of the beam's span in a way more accurate and often safer than in current codes. Moreover, this method allows use of lower connection degrees. Lastly, it is mentioned briefly how the method can be generalized for beam cases more complicated than the ones presented here.



## 1. INTRODUCTION

L'utilisation d'une connexion partielle dans les poutres mixtes de bâtiment comporte plusieurs avantages, en particulier celui d'une fabrication plus économique dans la mesure où assez souvent le dimensionnement de ces poutres est dicté, non par leur résistance flexionnelle ultime, mais par des exigences à l'état limite de service ou par d'autres critères (aspect architectural, facilité de construction dans le cas de dalles préfabriquées ou coulées dans un bac en tôle mince nervurée) ; on peut alors adopter un espacement entre connecteurs plus important et réduire parallèlement le taux d'armatures transversales de la dalle.

Dans ce domaine, l'Eurocode 4 [1] et les codes européens en général (à l'exception toutefois de [2]) proposent des méthodes de dimensionnement dont l'application n'est pas toujours réaliste (degré de connexion minimal relativement élevé, utilisation presque obligatoire de goujons soudés, etc) sans être pour autant précises et sûres; certains paramètres semblent avoir été laissés quelque peu de côté, comme la nature du chargement, le type de section de poutre, la forme de la loi de comportement des connecteurs et leur ductilité réelle, et surtout la portée des poutres.

La présente communication, basée sur les résultats d'une étude paramétrique à l'aide d'un modèle numérique déjà existant, a pour objet de mieux expliciter l'influence du paramètre "portée" mentionné précédemment et de proposer une méthode plus réaliste pour un dimensionnement simplifié tant à l'état limite ultime qu'à l'état limite de service des poutres. L'accent est mis essentiellement sur le cas des poutres isostatiques avec une dalle rectangulaire classique associée par goujons soudés, mais l'on évoque également le cas d'une dalle coulée dans un bac en tôle mince nervurée, et d'autres aspects comme la présence éventuelle de charges concentrées s'ajoutant au chargement réparti et le cas des poutres continues.

## 2. RAPPELS SUR LE MODELE DE CALCUL EXISTANT

On trouvera un exposé très détaillé du modèle numérique à la référence [3], dans le cas isostatique. La liaison acier-béton étant supposée s'effectuer de manière discontinue au droit d'un connecteur, les équations générales du modèle mécanique (équilibre en section, compatibilité des déformations à l'interface, comportement des sections) ont été traitées par le biais d'une discrétisation géométrique en intervalles suffisamment petits, suivie d'une procédure d'intégration à la manière de la méthode des Eléments Finis ; le problème a été formulé alors en termes de matrices de transfert, rendant aisées l'introduction des conditions aux limites et la résolution. Parmi les possibilités du modèle numérique, il faut signaler :

- la prise en considération du phénomène de glissement le long de la connexion et même, si on le désire, du phénomène de soulèvement ;
- l'introduction de lois de comportement des matériaux relativement élaborées (décroissance de la résistance du béton en compression au-delà d'une certaine valeur de raccourcissement, de l'ordre de 2 %<sup>o</sup> jusqu'à un raccourcissement de 10 %<sup>o</sup> si nécessaire ; légère résistance du béton en traction, écrouissage de l'acier du profilé, etc) ;
- la connaissance de la charge de ruine exacte de la poutre ainsi que de la nature de cette ruine (écrasement du béton de la dalle, rupture de connecteurs, atteinte de l'allongement de rupture de l'acier du profilé).

Enfin, il faut préciser que le modèle en question a fait l'objet de nombreuses justifications expérimentales précises (globales et locales), tant avec une dalle classique [4] qu'en présence d'un bac en tôle [5].

## 3. DIMENSIONNEMENT A L'ETAT LIMITE ULTIME

### 3.1 Rappel sur la méthode classique de dimensionnement

On considère, pour l'instant, le cas de poutres simplement appuyées à leurs extrémités et soumises à un chargement réparti, l'intensité du chargement étant caractérisée par le facteur  $W$ . Désignant par  $N$  le nombre de connecteurs dans chaque travée

de cisaillement, et par  $W_f$  et  $N_f$  les valeurs de  $W$  et de  $N$  en connexion complète, la méthode de dimensionnement en connexion partielle indiquée par l'Eurocode 4 [1] consiste à adopter comme courbe limite ( $W/W_f, N/N_f$ ) la courbe du moment ultime réduit ( $M_u^{(r)}/M_u, N/N_f$ ) de la section critique (au sens plastique) de la poutre, ceci dans l'hypothèse d'un comportement ductile des connecteurs ; il s'agit de la courbe  $\widehat{ABC}$  à la figure 1, le moment réduit  $M_u^{(r)}$  se calculant analytiquement sans difficultés à partir de l'effort réduit d'interaction entre le profilé et la dalle :

$$F_u^{(r)} = N Q_u \quad \text{avec} \quad N \leq N_f \quad (1)$$

où  $Q_u$  est la résistance ultime d'un connecteur.

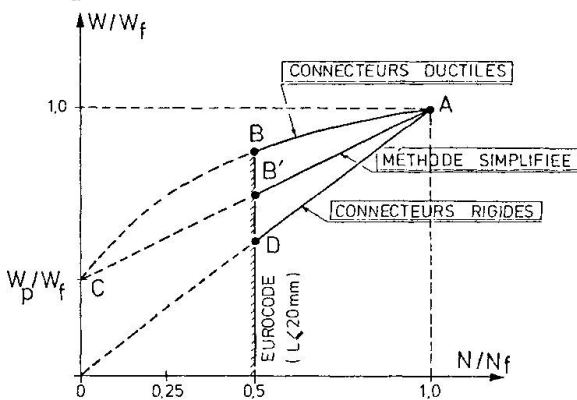


Fig. 1 - Méthode de dimensionnement classique

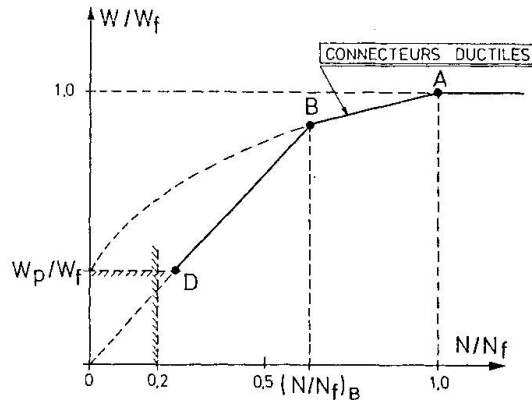


Fig. 2 - Méthode de dimensionnement proposée

Mais l'Eurocode ne permet d'utiliser que la partie  $\widehat{AB}$  de la courbe correspondant aux degrés de connexion :

$$0,5 \leq N/N_f \leq 1 \quad (2)$$

tout en autorisant une portée maximale de poutre  $L$  de 20 mètres. En outre, une simplification, qui se veut plus en sécurité, consiste à remplacer la courbe  $\widehat{ABC}$  par la simple droite  $AC$  d'équation :

$$N/N_f = (W - W_p) / (W_f - W_p) \quad (3)$$

toujours avec la condition (2),  $W_p$  étant le facteur de charge plastique de la poutre métallique seule. Il est intéressant de noter que le règlement britannique récent [2] a retenu les deux formulations précédentes de courbe ( $W/W_f, N/N_f$ ), mais en adoptant, conformément au point de vue de JOHNSON [6], une résistance de calcul  $Q_d$  par connecteur égale à :

$$Q_d = 0,8 Q_u \quad (4)$$

et en imposant un degré minimal de connexion partielle fonction de la portée  $L$  (en mètres) selon la relation :

$$(N/N_f)_B = (L - 6) / 10 \geq 0,4 \quad (5)$$

### 3.2 Méthode proposée (fig. 2)

Elle consiste à utiliser toujours la courbe  $\widehat{ABC}$  du moment ultime réduit, le degré de connexion du point  $B$  étant fixé en fonction de la portée  $L$  de la poutre selon la formule (7) donnée au paragraphe suivant. Pour les degrés de connexion inférieurs à  $(N/N_f)_B$ , le diagramme retenu est le segment de droite  $BD$  passant par l'origine des axes, la position du point inférieur  $D$  étant dictée par l'une des deux conditions :  $N \geq 0,2 N_f$  et  $W \geq W_p$ . De la sorte, le point  $B$  constitue un point de transition pour la ruine de la poutre obtenue d'une part par flexion plastique (partie  $\widehat{AB}$ ),

d'autre part par rupture des connecteurs (partie BD). L'auteur a également adopté la définition donnée en (4) afin d'éviter, en connexion complète, la ruine par rupture des connecteurs. Evidemment, la méthode permet d'envisager l'utilisation de degrés de connexion inférieurs à 0,4, sous réserve que certaines exigences soient bien satisfaites à l'état limite de service (cf. paragraphe 4). A noter que dans le cas particulier où B se trouve en A, la méthode assure la continuité avec le concept de connecteur rigide de l'Eurocode.

### 3.3 Etude paramétrique et conclusions

Tous les calculs ont été effectués avec un chargement réparti  $W$ , situation plus défavorable pour la rupture des connecteurs que le chargement concentré. Supposant la connexion réalisée par goujons soudés, la loi de comportement adoptée, pour l'effort de cisaillement  $Q$  repris par un connecteur en fonction de son glissement  $\gamma$ , a été de la forme :

$$Q = Q_{\max} (1 - e^{-\beta\gamma})^n \quad (6)$$

avec, le plus souvent,  $\beta = 0,7 \text{ mm}^{-1}$  et  $n = 0,8$ . Trois valeurs de résistance ultime  $Q_u$  ont été envisagées pour chaque cas de poutre calculé, correspondant à l'hypothèse d'un glissement ultime (à la rupture)  $\gamma_u$  égal respectivement à 3 mm, 5 mm et 7 mm. En pratique, avec des goujons de diamètre n'excédant pas 22 mm et en présence d'un béton de résistance inférieure à  $40 \text{ N/mm}^2$ , l'expérience (sous réserve qu'elle soit conduite à glissement contrôlé) montre que l'on peut compter raisonnablement sur la valeur  $\gamma_u = 5 \text{ mm}$  ; c'est cette valeur qui a été retenue ici comme référence, les deux autres étant considérées simplement à titre indicatif. L'étude paramétrique a porté sur 20 types de section de poutre, dont 8 avec un profilé métallique dissymétrique ; la portée  $L$  a été comprise entre 5 et 20 m, la largeur de dalle étant choisie au plus égale à la largeur participante selon l'Eurocode. Différentes résistances ont été considérées pour le béton ( $f_c = 20 - 30$  et  $40 \text{ N/mm}^2$ , avec un raccourcissement ultime tantôt de 4 %, tantôt de 10 %), ainsi que deux nuances d'acier pour le profilé ( $f_y = 240$  et  $360 \text{ N/mm}^2$ , en supposant tantôt un comportement plastique parfait, tantôt un durcissement par écrouissage). Pour chaque poutre ainsi définie du point de vue section et portée, au moins une dizaine de cas de degré de connexion (avec  $N/N_f$  variant de 0,2 jusqu'au voisinage de 1) ont été traités par le calcul, afin de permettre un repérage précis du point de transition B (fig. 2).

On donne tout d'abord une présentation synthétique des résultats numériques sous la forme de diagrammes  $[(N/N_f)_B, L]$ . Pour toutes les poutres considérées (profilés symétriques et dissymétriques) et dans l'hypothèse d'un glissement à la rupture  $\gamma_u$  de 5 mm, la figure 3 montre que l'on reste en sécurité si l'on adopte la courbe bi-linéaire tracée en trait continu, avec un palier  $(N/N_f)_B = 0,75$  ; pour chaque point représentatif d'une poutre, le premier chiffre porté sur la figure précise le rapport des aires de la semelle métallique inférieure à la semelle métallique supérieure, et le second chiffre le rapport entre l'effort de compression ultime de la dalle et l'effort de traction ultime du profilé. Cependant, l'utilisation de profilés métalliques dissymétriques n'est pas fréquente dans les planchers de bâtiment ; en conséquence si l'on considère uniquement les cas étudiés avec des profilés symétriques, on peut proposer un diagramme enveloppe moins pénalisant, comme le montre la figure 4. A titre comparatif, ont été tracés sur la même figure, en trait discontinu, les diagrammes enveloppes qu'il faudrait adopter dans l'hypothèse où  $\gamma_u$  serait égal à 3 mm et à 7 mm. En résumé, le degré de connexion du point de transition peut être calculé à l'aide de la relation :

$$(N/N_f)_B = 0,2 + 0,03 L \leq 0,65 \quad (7)$$

qui suppose l'utilisation d'un profilé métallique symétrique, la résistance ultime

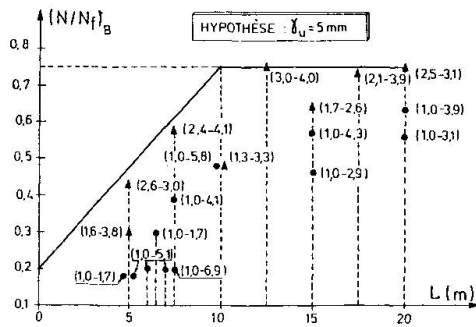


Fig. 3 - Détermination du degré de connexion du point de transition (profilés symétriques et dissymétriques)

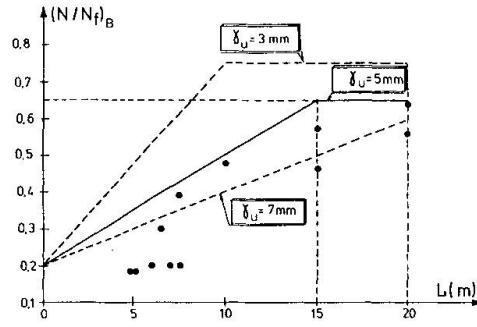


Fig. 4 - Détermination du degré de connexion du point de transition (profilés symétriques uniquement)

en compression de la dalle n'excédant pas 4 fois celle du profilé en traction. La figure 5 illustre la méthode proposée dans le cas d'une poutre de 6,5 m de portée, le calcul numérique étant effectué dans deux hypothèses : écoulement ou plasticité parfaite de l'acier, et raccourcissement ultime du béton de 4 % ou de 10 %; on constate ici, comme d'ailleurs dans tous les autres cas de l'étude, que la position du point de transition n'est pratiquement pas affectée par ces hypothèses, ce qui est logique. La figure 6 apporte une confirmation de la méthode pour deux autres poutres de portées 10 et 20 m.

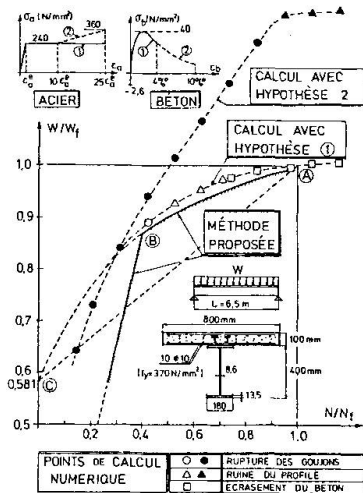


Fig. 5 - Poutre de portée 6,5 m

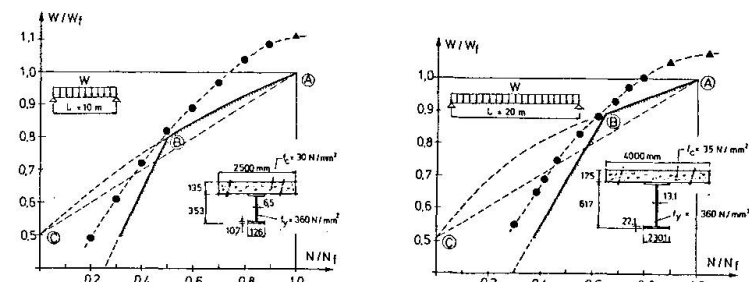


Fig. 6 - Poutres de portée 10 et 20 m

De la comparaison du résultat (7) avec les méthodes classiques de dimensionnement, il ressort que l'Eurocode (qui correspond à la droite  $(N/N_f)_B = 0,4$  pour la figure 4) peut être très insécuritaire lorsque la portée de la poutre dépasse 7 m (le calcul a montré qu'il faudrait que  $\gamma_u$  dépasse 10 mm pour que l'Eurocode reste sécuritaire pour  $L \leq 20$  m). En revanche, la relation (5) des BS.59 s'avère trop pénalisante pour des portées supérieures à 12 m, l'utilisation d'une connexion complète à partir de 16 m ne semblant pas justifiée.

#### 4. DIMENSIONNEMENT A L'ETAT LIMITE DE SERVICE

JOHNSON et MAY [6, 7] ont indiqué une méthode simplifiée de calcul de la flèche en connexion partielle, mais seulement pour les degrés de connexion satisfaisant (2). Afin de couvrir un intervalle plus large ( $0,2 \leq N/N_f \leq 1,0$  avec  $Q_d$  défini selon (4)) et d'obtenir une méthode plus précise, l'auteur propose de calculer la flèche de manière élastique classique, en utilisant un moment d'inertie équivalent  $I_e$  donné par la relation approchée :

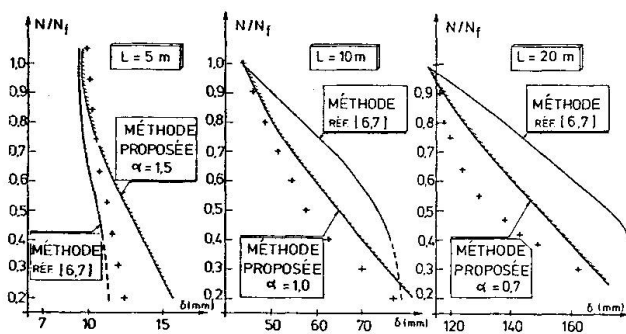
$$I_e = I_a + (N/N_f)^\alpha (I_f - I_a) \quad (8)$$

où  $I_f$  et  $I_c$  sont les moments d'inertie respectivement de la section mixte en connexion complète<sup>a</sup> et de la poutre métallique seule ; quant à l'exposant  $\alpha$ , il est fonction de la portée de la poutre  $L$ . L'étude paramétrique précédente (cf. 3.2), utilisée au stade de chargement intermédiaire défini par l'atteinte de la limite d'élasticité de l'un des matériaux (en général l'acier), a permis d'établir la correspondance suivante :

$L(m)$	5	10	15	20
$\alpha$	1,5	1,0	0,8	0,7

(9)

(ces valeurs valent pour un profilé symétrique ; elles seraient supérieures dans le cas dissymétrique). La figure 7 montre, à titre d'exemple, comment se placent les résultats de calcul numérique (croix) par rapport à la proposition précédente utilisant les relations (8) et (9) ainsi que par rapport à la méthode [6, 7], pour les trois cas de portée 5, 10 et 20 m correspondant aux sections des poutres des figures 5 et 6. Par ailleurs, pour le calcul de la contrainte sur la fibre extrême du profilé,



l'étude a montré qu'il était possible d'utiliser une relation semblable à (8) mais portant sur le module de flexion (au lieu de  $I$ ), l'exposant  $\alpha$  étant remplacé par un exposant  $\beta$  pratiquement égal à  $\alpha/2$ .

← Fig. 7 - Détermination simplifiée de la flèche médiane  $\delta$  à l'état limite de service

## 5. GENERALISATIONS

- Lorsque la dalle est coulée dans un bac en tôle mince nervurée, la méthode proposée en (3.2) reste valable, avec une résistance de connecteur  $Q_u$  éventuellement réduite [1,5]. Toutefois, certains connecteurs utilisés, comme les cornières souples clouées, peuvent présenter une courbe de comportement  $Q(\gamma)$  très ductile, mais avec une branche de déchargement importante (par exemple, pour  $3 \text{ mm} \leq \gamma \leq 15 \text{ mm}$ ). L'auteur a montré [5] qu'il était possible de tirer profit de cette branche pour le dimensionnement aux faibles degrés de connexion, revenant à adopter à la figure 2 un segment rectiligne moins déformable que BD, c'est-à-dire plus proche de  $\overline{BC}$ .
- Lorsqu'une charge concentrée est appliquée en partie courante d'une travée de cisaillement, en plus du chargement réparti  $W$ , il est nécessaire d'introduire une section intermédiaire de vérification au droit de cette charge ; le calcul du nombre total de connecteurs dans la travée peut toujours s'effectuer à l'aide du diagramme de la figure 2, mais les connecteurs doivent être répartis de part et d'autre de la section intermédiaire au prorata des valeurs du moment dans cette section et dans la section critique.
- Enfin, dans le cas de poutres continues (avec des sections de classe 1 ou 2 - réf. [1]), la méthode proposée en (3.2) est directement applicable dans les zones sous moment positif,  $L$  devenant alors la distance entre points successifs de moment nul ; en revanche, dans les zones de moment négatif, il peut être prudent de rester en connexion complète, comme le stipule [2].

## BIBLIOGRAPHIE

1. Commission des Communautés Européennes - Eurocode 4 - EUR 9886 FR. 1985.
2. BS 5950 - Part 3.1 : Code of practice for design of composite beams - 1989.
3. J.M. ARIBERT et K. ABDEL AZIZ - Revue Construction Métallique n° 4 - 1985.
4. J.M. ARIBERT - First International RILEM Congress - Paris - Chapman and Hall, vol. 2, septembre 1987.
5. J.M. ARIBERT et A. AL BITAR - Revue Construction Métallique n° 4 - 1989.
6. R.P. JOHNSON - Composite Structures of Steel and Concrete - Vol. 1 - Granada - 1982.
7. R.P. JOHNSON and I.M. MAY - The Structural Engineer - Vol. 55 - n° 8 - August 1975.