Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 57/1/57/2 (1989)

Artikel: Renforcements de structures par la technique des tôles collées
Autor: Theillout, Jean-Noël
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-44298

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: 09.07.2025

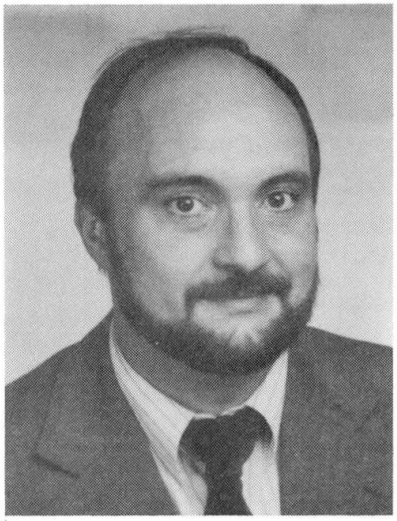
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Renforcements de structures par la technique des tôles collées

Verstärkung von Tragwerken durch geklebte Stahllamellen

Checking Bonded-Plate Structural Reinforced Reinforcements

Jean-Noël THEILLOUT
Docteur Ingénieur
Lab. Central des
Ponts et Chaussées
Paris, France



Jean-Noël Theillout, né en 1951, obtient son diplôme d'ingénieur des Travaux Publics de l'Etat en 1975. Entré au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en 1979 il s'occupe pendant dix ans de pathologie des ouvrages d'art. M Theillout est actuellement responsable de la plate forme d'essais des structures du LCPC.

RÉSUMÉ

Une méthode de renforcement des structures en béton a connu depuis près de vingt-cinq ans un développement important. Il s'agit de la technique des tôles collées qui consiste à pallier le manque d'armatures passives par des tôles collées en surface du béton. Bien que s'apparentant au béton armé, le renforcement des structures par tôles collées présente des différences importantes de comportement. Cet article présente les résultats des études sur trois aspects particuliers et les recommandations qui en ont été déduites pour la vérification des renforcements réalisés par cette technique.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Verstärkungsmethode für Betonbauelemente hat seit fast zwanzig Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Es handelt sich dabei um das auf geklebten Stahllamellen beruhende Verfahren, bei dem ein Mangel an schlaffer Bewehrung durch oberflächig auf den Beton geklebte Bleche ausgeglichen wird. Obwohl mit dem Stahlbeton verwandt, weichen Elemente mit Verstärkungen durch geklebte Stahllamellen in ihrem Verhalten stark davon ab. Dieser Artikel beschreibt die Ergebnisse der Untersuchungen zu drei speziellen Fragen und stellt die sich daraus ergebenden Empfehlungen für die Ueberprüfung der mit dieser Technik ausgeführten Verstärkungen vor.

SUMMARY

For nearly twenty-five years, the bonded-plate technique, one of the many ways of reinforcing concrete structures, has undergone considerable development. Plates bonded to the surface of the concrete are used instead of passive reinforcements inside. The technique is related to reinforced concrete, but there are significant differences in behaviour. This article describes the results of researches on these three particular points and the resulting recommendations for the checking of reinforcements using this technique.

INTRODUCTION

Devant une structure en béton qui présente des insuffisances vis-à-vis des charges d'exploitation diverses solutions de renforcement peuvent être envisagées. On peut, par exemple, ajouter ou rajouter de la précontrainte si les conditions et l'état global le permettent. C'est une solution coûteuse qui n'est mise en oeuvre que pour le renforcement global d'une structure. Dans bien des cas on préfèrera s'en tenir à un renforcement passif qui consiste à augmenter l'inertie des sections "faibles". Cette augmentation peut se faire de deux façons : par ajout de matière dans la partie comprimée ou par ajout d'armatures dans la partie tendue. Dans ce dernier cas les armatures , sous forme de barres, sont noyées dans du béton banché ou du béton projeté ou bien lorsqu'elles se présentent sous forme de tôles, elles sont collées sur la surface du béton.

Cette dernière forme de renforcement, connue depuis près de vingt-cinq ans [1.à.3], a vu son emploi connaître un développement particulièrement important durant ces dernières années surtout dans le domaine du bâtiment. Par suite de certains déboires survenus en 1978, sur le viaduc d'accès au Pont de Gennevilliers, renforcé par des tôles dans les zones de couplage, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a étudié cette technique sur le plan du fonctionnement. Les travaux entrepris ont mis en évidence trois problèmes de fonctionnement qui forment l'une des spécificités de cette technique.

Après avoir présenté les résultats des études menées sur chacun de ces trois problèmes, on présentera dans la quatrième partie la traduction qui en a été faite dans l'annexe I du document du STRRES, fascicule n° 6 "Tôles collées".

FLEXION LOCALE

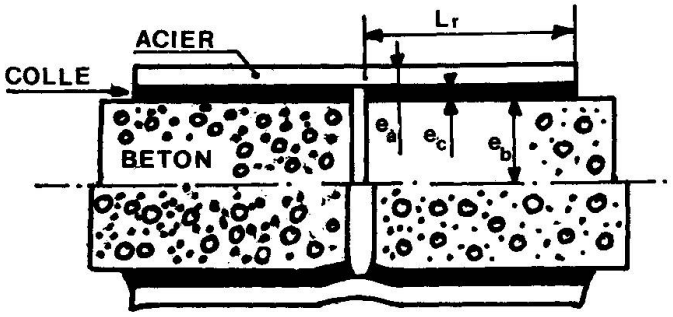


Figure 1 - Joint à double recouvrement

Qualitativement, la flexion locale des tôles a été mise en évidence à l'aide des mesures réalisées sur le renforcement du viaduc d'accès au Pont de Gennevilliers. Pour en quantifier les effets on peut utiliser un modèle simple qui, depuis la fin de la seconde guerre mondiale, a fait l'objet de nombreuses études. Il s'agit du joint à double recouvrement (cf. figure n° 1).

L'étude d'une telle structure est complexe si l'on s'intéresse aux valeurs exactes du champ des contraintes dans chacun des constituants du modèle. Par contre, comme l'on fait les auteurs qui se sont préoccupés des collages, des hypothèses simplificatrices permettent d'obtenir une bonne approximation du champ.

Les hypothèses retenues ici sont les suivantes :

- les matériaux constitutifs de l'assemblage (acier-colle-béton) présentent un comportement élastique linéaire;
- le comportement de la tôle dans la tôle sera assimilé à celui d'une poutre si le système est étudié en contraintes plane ou à celui d'une plaque si on l'étudie en déformation plane [4] ;
- la couche de colle ne reprend pas de contraintes longitudinales [4] et [5] ;
- les déformations longitudinales sont constantes dans l'épaisseur du béton.

Avec ces hypothèses on peut écrire les équations d'équilibre, de comportement et de compatibilité d'une tranche dx de l'assemblage. En résolvant ces équations par rapport au cisaillement dans le joint de colle (τ_c) et au déplacement vertical de la fibre moyenne de la tôle (w_a) on obtient le système suivant :

$$\frac{E_a e_a^3}{12} \cdot w''''_a + \frac{1}{e_c + e_b} w_a = \frac{1}{2} \cdot (e_a + e_c) \cdot \tau'_c$$

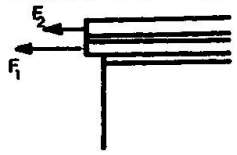
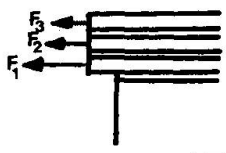
$$\tau'''_c = \frac{G_c}{e_c} \cdot \left[\frac{1}{E_a e_b} + \frac{1}{E_a e_b} \right] \cdot \tau_c' + \frac{G_c}{2} \cdot \frac{e_a}{e_c} \cdot w''_c$$

où e_a, e_b, e_c désignent les épaisseurs d'acier, de béton et de colle.

La résolution de ce système d'équation permet de calculer le moment fléchissant qui est appliqué à la tôle au voisinage de la fissure. L'analyse de ces résultats montre que l'on obtiendrait la plastification de la tôle pour des valeurs de 30 % inférieures à celles que l'on obtient si la tôle était soumise à la traction simple. Ce résultat a été déterminé pour des tôles dont l'épaisseur est comprise entre 3 et 5 mm et pour des colles de type époxydique dont l'épaisseur est voisine du millimètre. Les essais réalisés sur des poutres renforcées [6]-[7] ont confirmé ce résultat.

On peut également démontrer, à partir de ces résultats, que l'intensité du champ des contraintes au voisinage de la fissure ne dépend pas de la longueur de recouvrement (L_r) à condition que celle-ci soit au moins égale à deux fois l'épaisseur du béton (e_b).

Deux possibilités existent quand il est nécessaire de mettre en oeuvre des sections de tôles importantes. Une tôle de forte épaisseur peut être utilisée ou bien plusieurs tôles de faible épaisseur peuvent être collées l'une sur l'autre. Le tableau suivant indique les efforts repris par chacune des tôles dans les cas de superposition de 2 et 3 tôles (les tôles ont une même section).

$F = F_1 + F_2$		$F = F_1 + F_2 + F_3$	
$F_1 = 0{,}66 \cdot F$ $F_2 = 0{,}34 \cdot F$		$F_1 = 0{,}5 \cdot F$ $F_2 = 0{,}25 \cdot F$ $F_3 = 0{,}25 \cdot F$	

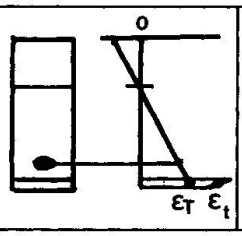
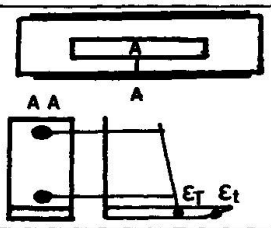
Toutes les tôles d'un assemblage de ce type subissent la même flexion locale.

REPARTITION DES DEFORMATIONS

La tenue des barres d'acier dans du béton se fait par "adhérence" c'est-à-dire en fait par mise en compression de petites bielles de béton s'arc-boutant sur les crénelures des barres. La résistance des barres de béton d'acier ne peut donc se faire qu'avec un certain déplacement de l'extrémité libre. Les tôles par contre ont un mode de liaison avec le béton tout à fait différent, le transfert des efforts se fait par l'intermédiaire de la colle qui, si elle est de bonne qualité, assure la continuité des déplacements.

Si l'on examine ce qui se passe au voisinage d'une fissure d'une section renforcée les suppositions suivantes peuvent être faites : la tôle et les aciers subissent les mêmes déplacements dans leur partie libre, les déformations de chacun des constituants dépendra du mode de liaison. Ainsi l'hypothèse couramment admise des sections planes se trouve mise en défaut.

Une étude sur modèle numérique, puis sur modèle physique [7] a permis de chiffrer cet écart. Le tableau suivant résume les résultats obtenus sur les sept poutres testées durant cette étude.

Tôle de 3 mm $\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_T}$		Tôle de 3 mm		
			Tract. $\varepsilon_t/\varepsilon_T$	Compr. $\varepsilon_t/\varepsilon_T$
	1,4 1,4 1,5		1,06 1,05 1,11 1,21	1,05 1,03 0,99 1,22
		Tôle de 5 mm	1,10	

Ces résultats montrent que la déformation moyenne de la tôle est supérieure à la déformation qu'il subirait dans l'hypothèse des déformations planes, l'écart étant compris entre 0 et 50 %.

RUPTURE PAR DECOLLEMENT

La partie sensible d'un renforcement de poutres en béton par ajout de matière est la partie de béton située au voisinage immédiat du renforcement. Dans le cas de renforcement par tôles collées la ruine se produit la plupart du temps par propagation d'une fissure dans le béton parallèlement au plan de collage. Cette fissuration est initiée depuis l'une des extrémités du collage.

L'utilisation des concepts de la mécanique de la rupture [8]-[9] permet de déterminer, à partir de quelles sollicitations appliquées à l'un quelconque des constituants de l'assemblage, quand une fissure d'interface progresse.

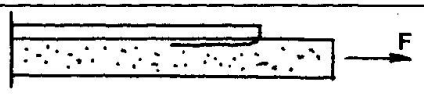
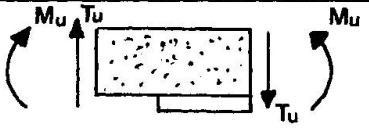
Dans sa progression la fissure sépare l'ensemble poutre-tôle, une certaine quantité d'énergie est libérée.

Si l'on désigne par G l'énergie libérée par unité de surface on a alors :

$$G = \frac{\partial}{\partial a} (W_{ext}\ W_{el})_Q = cst$$

W_{ext} : travail des forces extérieures
W_{el} : énergie élastique
a : aire de la fissure
A : charge extérieure

Le tableau suivant donne les valeurs de G pour un tirant et pour une poutre rectangulaire renforcée sur sa face inférieure.

	$G = \frac{F^2}{2b^2}\left[\frac{1}{E_b e_b} - \frac{1}{E_a e_a + E_b e_b}\right]$
	$G = \frac{1}{2b}\left(M_u^2\left[\frac{1}{E_b I_b} - \frac{1}{(EI)^*}\right] + T_u^2\left[\frac{k_1}{G_b A_b} - \frac{k_2}{(GA)^*}\right]\right)$

* Valeurs calculées sur les sections homogénéisées

La matière dans laquelle se propage la fissure oppose une certaine résistance. Celle-ci est traduite par la quantité R que l'on appelle le taux de restitution critique. Ainsi la fissure se propagera si G > R et ne se propagera pas dans le cas contraire. La quantité R est une propriété intrinsèque du matériau dans lequel se propage la fissure, sa valeur n'est accessible que par l'expérience. Dans le cas du béton au voisinage de l'interface cette valeur est de 50 J/m^2.

JUSTIFICATION D'UN RENFORCEMENT

Le fonctionnement particulier des tôles collées a nécessité l'introduction de nouvelles règles de vérification d'un renforcement. Ces règles portent sur les points suivants :

- section d'acier à prendre en compte aux états limites de service :
  la répartition des déformations n'étant pas plane dans une section on applique, suivant que les aciers internes se déforment plus que les tôles ou le contraire, un coefficient minorateur aux sections d'aciers externes (K_e) ou aux sections d'aciers internes (K_i). Ces coefficients sont donnés par les formules :

  $K_e = 1{,}2 - 0{,}08\ e_a$ — e_a épaisseur de la tôle
  $K_i = 0{,}46 + 0{,}08\ e_a$ — exprimée en millimètres
  ($3 < e_a < 5$)

Deux calculs sont nécessaires.

Ces formules sont déduites des expériences et de la modélisation numérique faite pour interpréter les expériences.

A l'état limite ultime aucun coefficient n'est à appliquer aux sections d'acier.

- Contrainte limite des aciers de renforcement aux états limites de service.
  Après avoir déterminer les efforts appliqués aux aciers d'après ce qui précède et d'après la règle de répartition énoncée au paragraphe 2 dans le cas d'empilement de tôle, on calcule les contraintes moyennes dans les tôles.

Ces contraintes sont comparées à la contrainte limite σ_{et} donné par la formule :

$$\sigma_{et} = 0{,}7 \times \frac{2}{3} f_e \ ;$$

le coefficient 0,7 résulte de la réduction de résistance des tôles du renfort qui est due à la flexion locale au voisinage des fissures.

- A l'état limite ultime, outre les vérifications classiques on s'assurera que la condition de non décollement est vérifiée. C'est-à-dire que dans les sections d'arrêt des tôles on calcule le taux de restitution de l'énergie (G) suivant la méthode précédemment exposée et l'on vérifie que :

$$G < 50\ J/m^2$$

CONCLUSIONS

L'étude systématique de cette technique de renforcement a mis en évidence certains écarts de comportement avec ce qui est habituellement admis pour le comportement du béton armé. Les règles qui en ont été déduites permettent de prendre en compte les phénomènes physiques particuliers propres à cette technique dès l'élaboration du projet.

L'utilisation de ces règles dans des cas réels de renforcement n'ont pas conduit à des écarts très importants avec les méthodes classiques telles que préconisées par M L'HERMITE et M BRESSON, elles conduisent, en général, à augmenter de 10 à 20 % les sections d'acier de renfort.

NOTATIONS

E : module d'élasticité
V : coefficient de Poisson
G : module de cisaillement - taux de restitution de l'énergie
σ : contrainte normale
: contrainte de cisaillement
R : taux de restitution critique
e : épaisseur
b : largeur de la tôle
w : déplacement vertical de la fibre moyenne de la tôle

a, b, c en indice font référence à l'acier, le béton et la colle.

BIBLIOGRAPHIE

[1] R L'HERMITE, "L'application des colles et résines dans la construction", Amn. ITBTP - série béton et béton armé, n° 239, nov. 1967

[2] R L'HERMITE et J BRESSON, "Béton armé d'armatures collées", colloque RILEM, 4-6 sept. 1967, Paris, pp. 175-203

[3] J BRESSON, "Nouvelles recherches et applications concernant l'utilisation des collages dans les structures béton plaque", Ann. ITBTP, -série béton et béton armé-, n° 278, fév. 1971

[4] M GOLAND et E REISSNER, "The Stress in Cement Joint", J. of appl. mech., Vol 11, 1944, pp. A-17 - A-27

[5] O VOLKERSEN, "Recherches sur la théorie des assemblages collés", Constr. Metal., n° 4, déc. 1969, pp. 3-13

[6] J.N THEILLOUT, "Renforcement et réparation des ouvrages d'art par la technique des tôles collées", Thèse ENPC, Déc. 1983

[7] J.N THEILLOUT, "Dimensionnement et vérification du renforcement par la technique des tôles collées", US-Européan Workshop on Bridge Evaluation, Repair and Rehabilitation - ed. Nowak - Absi - Saint Rémy les Chevreuse, June. 1987, pp.

[8] M.D BUI , "Mécanique de la rupture fragile, Masson, Paris 1978

[9] D MAUGIS et M BARQUINS, "Adhésion collage et mécanique de la rupture", ISAP'86, Aix en Provence, ed. Chapman et Hall, 16-19 sept. 1986, pp. 41-64