Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

Band: 37 (1982)

Artikel: Comportement à la fatigue des poutres mixtes préfléchies

Autor: Firquet, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28960

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: 09.12.2025

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

Comportement à la fatigue des poutres mixtes préfléchies

Ermüdungsverhalten vorverformter Doppelverbundträger

Fatigue Behaviour of Composite Preflexed Beams

G. FIRQUET
Directeur Technique
PREFLEX SA
Bruxelles, Belgique

RESUME
Les poutres mixtes préfléchies, judicieusement présollicitées lors de leur fabrication, présentent l'avantage que les amplitudes de variation des contraintes sous charges variables y sont beaucoup plus faibles que dans les poutres non présollicitées. Par une analyse de l'évolution des contraintes dans chacun de ces deux types de poutres, on montre l'incidence de cette réduction sur la résistance à la fatigue. La description de deux essais en laboratoire et l'analyse du comportement des poutres d'un ouvrage réel étayent l'argumentation alors que la conclusion montre l'économie obtenue par l'emploi de ce type de poutres.

ZUSAMMENFASSUNG
Vorverformte Verbundträger, sinnvoll vorbelastet während ihrer Herstellung, haben den Vorteil, dass die Spannungsdifferenz zwischen ruhender und voller Belastung im Vergleich mit dem nicht vorverformten Träger wesentlich verringert wird. Mit einer Spannungsuntersuchung beider Arten Träger wird diese Auswirkung auf den Ermüdungswiderstand dargelegt. Die Ergebnisse zweier Dauerversuche und der Bericht über das Verhalten eines ausgeführten Bauwerks untermauern die Berechnungen. Die Schlussfolgerungen zeigen die Wirtschaftlichkeit solcher Träger.

SUMMARY
Composite beams properly preflexed during their fabrication offer the advantage that the range of stress variation under live loads is much smaller than in non-preloaded beams. The resulting effect on the fatigue resistance is shown by analysis of the development of stresses in both types of beam. This analysis is supported by the description of two laboratory tests and the examination of the behaviour of real beams in situ. The conclusion shows the economies made possible by these types of beams.

1. INTRODUCTION

Dans le début des années 1950, lors des recherches en vue de la mise au point d'un nouveau type de poutres élancées associant l'acier et le béton et bien qu'à cette époque le problème de la résistance en fatigue n'était pas encore à l'ordre du jour comme il l'est aujourd'hui, Monsieur A. Lipski, Ingénieur-Conseil à Bruxelles, inventeur de la poutre PREFLEX,a créé une poutre dont la résistance en fatigue dépasse largement celle des poutres mixtes déjà connues.

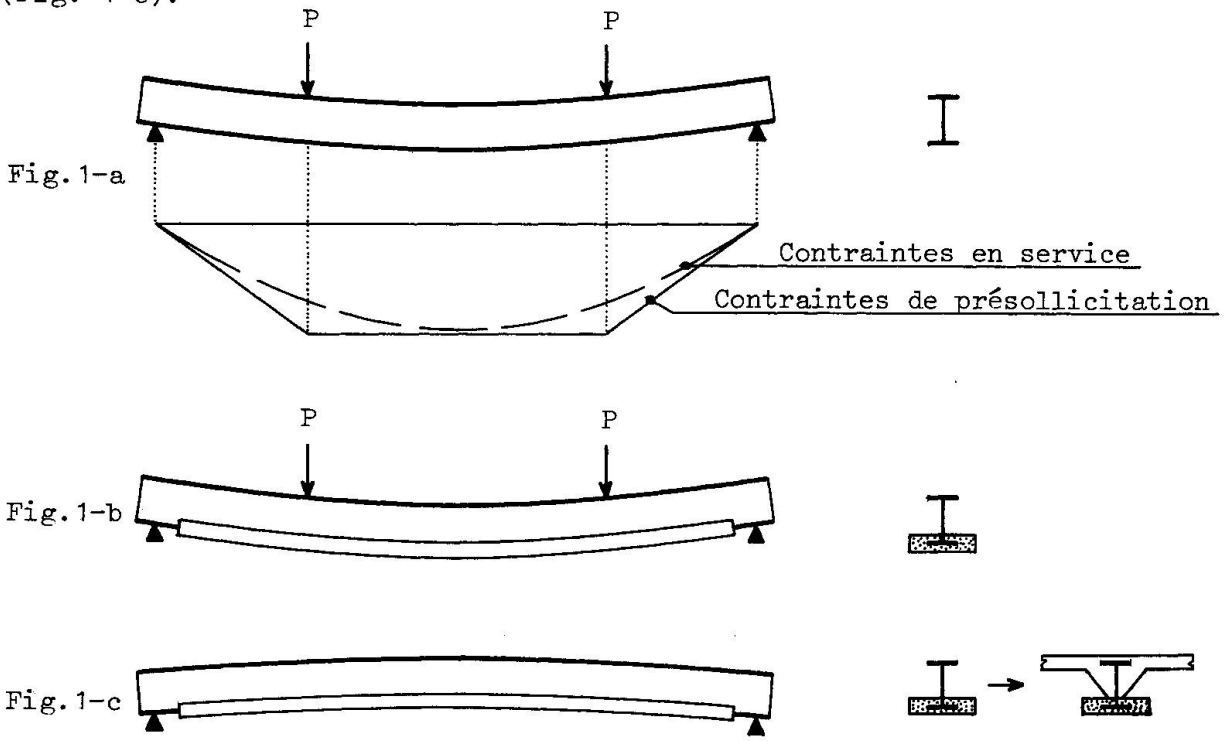
Par le procédé de fabrication lui-même, il a obtenu une réduction sensible de la variation des contraintes tout en continuant à utiliser au maximum la capacité de l'acier utilisé.

Ce procédé consiste en une mise en charge d'un profilé métallique suivie de l'exécution du béton d'enrobage de sa semelle tendue, les charges appliquées n'étant relâchées qu'après durcissement de ce béton.

2. DESCRIPTION DU PROCEDE

La poutrelle nue, posée sur ses deux appuis d'extrémité est soumise à des charges dont la position et l'intensité sont choisies de telle sorte que le diagramme des contraintes de traction à la fibre extrême tendue soit l'enveloppe de celui des contraintes de service (Fig. 1-a)

Dans cet état chargé, la semelle tendue de la poutre est enrobée de béton (Fig. 1-b) puis, lorsque le béton a atteint une résistance suffisante, les charges appliquées sont enlevées. La poutre revient partiellement vers sa position de départ tandis que le béton entourant sa semelle tendue se met en compression (Fig. 1-c).



Après la mise en place de la poutre dans l'ouvrage, son enrobage est éventuellement complété par du béton entourant l'âme et par l'exécution d'une dalle collaborante au niveau de la semelle comprimée.

3. COMPARAISON DES EVOLUTIONS DES CONTRAINTES

Dans l'exposé qui suit, nous nous référons à un cas concret : une poutre de pont route, en acier AE 355 D, qui servira à établir une comparaison au point de vue fatigue entre une poutre préfléchie et une poutre identique mais non présollicitée.

Les sollicitations maxima auxquelles cette poutre doit résister en service sont les suivantes :
- Moment dû au poids propre du tablier : M_1 = 2.733 KNm
- Moment dû aux surcharges fixes : M_2 = 783 KNm
- Moment dû aux surcharges mobiles : M_3 = 2.565 KNm

3.1 Evolution des contraintes dans la poutre préfléchie

Le diagramme de la figure 2 donne, en trait plein, l'évolution des contraintes de traction à la fibre extrême tendue à mi-portée de la poutre

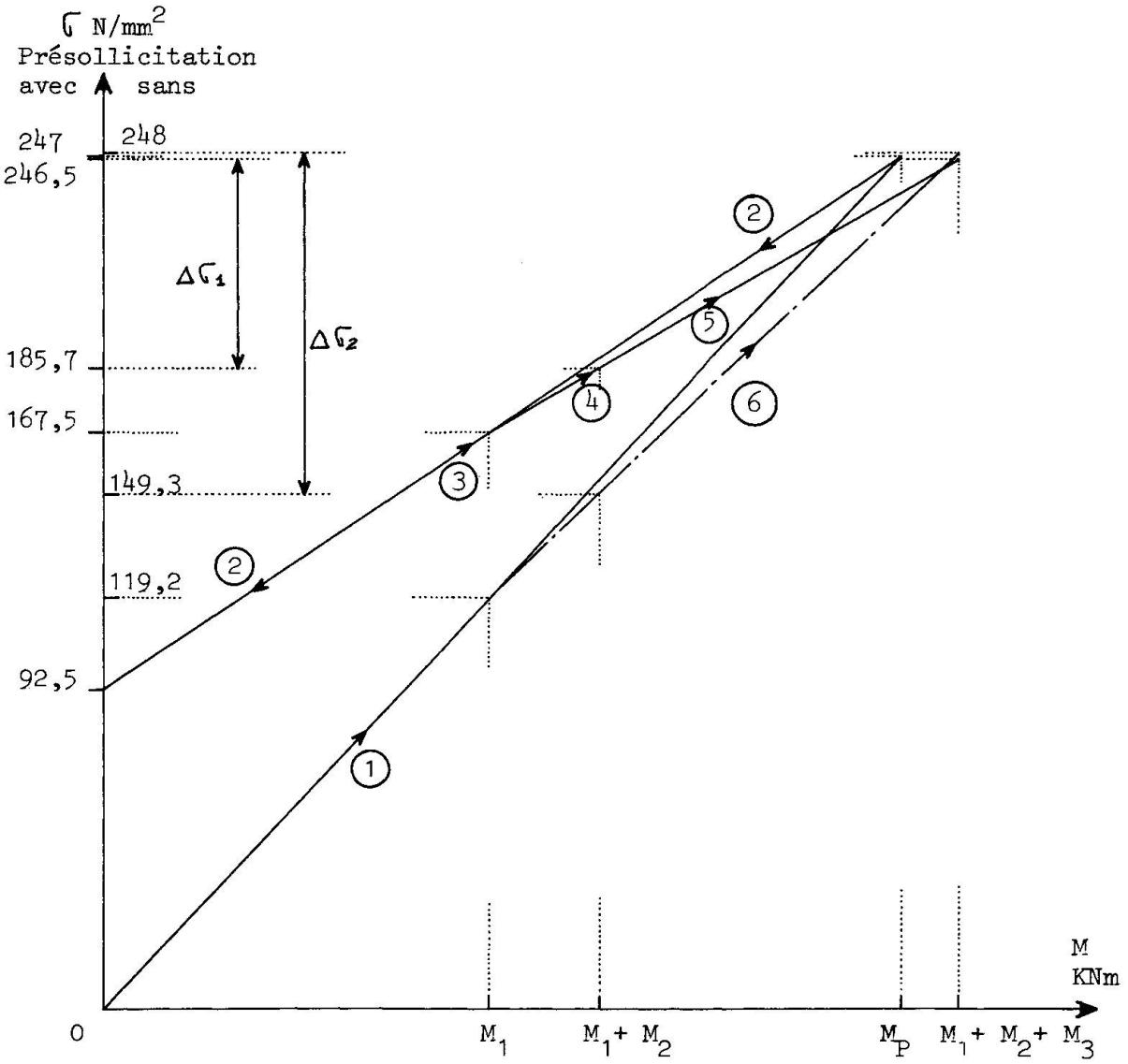


Fig. 2

La poutre non enrobée est tout d'abord soumise à un moment de préflexion M_p = 5664 KNm choisi de façon telle que la contrainte induite dans l'acier soit égale à la contrainte de service résultant, pour cet ouvrage, du profil choisi, soit 247 N/mm²*. Lors de la mise en charge, le point représentatif de la contrainte parcourt la droite (1) du diagramme.

Après durcissement du béton d'enrobage de la semelle tendue, les charges de préflexion sont annulées, la contrainte évolue le long de la droite (2) pour atteindre la valeur de 92,5 N/mm² sous charge nulle.

Sous l'effet du poids propre de la poutre et de celui du béton d'enrobage, le point représentatif remonte le long de la droite (2) jusqu'au point correspondant au moment M_1; la contrainte vaut alors 167,2 N/mm²

A partir de ce point, la droite $\sigma = f(M)$ s'écarte de la droite (2) puisque la présence de la dalle collaborante a modifié les caractéristiques de la section. Aux sollicitations précédentes s'ajoutent d'abord l'effet des surcharges fixes (Moment M_2, trajet (4)) faisant passer la contrainte à 185,7 N/mm² puis finalement celui dû aux surcharges mobiles (Moment M_3, trajet (5)) qui nous amène à la contrainte maximum de service : 246,5 N/mm². L'amplitude maximum de variation des contraintes sous surcharges mobiles vaut $\Delta\sigma_1$ = 60,8 N/mm².

3.2 Evolution des contraintes dans la poutre non préfléchie

Le point représentatif de l'état $\sigma = f(M)$ se déplace d'abord le long de la droite (1) jusqu'au point d'abscisse M_1 correspondant à une contrainte de 119,2 N/mm². Compte tenu de la présence de la dalle de compression, il suit ensuite la droite (6) . Nous voyons que sous l'ensemble des charges fixes, σ vaut 149,3 N/mm² et que la contrainte maximum vaut 248 N/mm². L'écart de contrainte dû aux surcharges mobiles vaut donc ici $\Delta\sigma_2$ = 98,7 N/mm².

3.3 Comparaison des deux types de poutres

On remarque immédiatement la différence fondamentale entre les deux systèmes de poutre. Si la contrainte maximum de service est quasi la même dans les deux cas, il n'en va pas de même en ce qui concerne l'amplitude de la variation de contrainte qui n'atteint que 60,8 N/mm² pour la poutre préfléchie alors qu'elle monte à 98,7 N/mm² soit 62% de plus pour la poutre non présollicitée.

Si on reporte ces valeurs sur les courbes $\Delta\sigma$ – N telles qu'elles apparaissent dans les normes suisses par exemple, on trouve les nombres de cycles maxima suivants :

- Poutre préfléchie : Détail constructif E : Ne = $1,6 \times 10^6$
  D : Ne = $3,3 \times 10^6$ (à comparer aux 2×10^6 cycles imposés pour les routes principales)
  A_0, A_1, B, C : on se trouve sous la limite d'endurance, donc pas de problème de fatigue.
- Poutre non présollicitée : Détail constructif E : Ne = $0,375 \times 10^6$
  D : Ne = $0,700 \times 10^6$
  C : Ne = $1,50 \times 10^6$
  A_0, A_1, B : même conclusion que ci-dessus.

*N.B. Il est à noter que les normes belges autorisent pour les poutres préfléchies une contrainte maximum de service égale à 0,8 x Re.

La démonstration est nette, si besoin en était, du meilleur comportement en fatigue des poutres préfléchies.

Pour obtenir, avec une poutre non préfléchie, la même résistance en fatigue, il faudrait diviser toutes ses contraintes de traction dans le rapport 98,7/60,8 = 1,62.
C'est-à-dire qu'il faudrait renforcer sa section de façon telle que son module de résistance soit multiplié par ce même facteur, ce qui abaisserait sa contrainte maximum de service à 153 N/mm^2. Ce serait là bien mal utiliser un acier ayant une limite d'élasticité de 355 N/mm^2.

4. ESSAIS EN LABORATOIRE

Plusieurs essais de résistance à la fatigue ont été faits par divers laboratoires officiels pour confirmer le bien-fondé des conclusions tirées de la comparaison de l'évolution des contraintes dans chaque type de poutre.

4.1 Essai de Bruxelles

Une poutre HE 750, préfléchie, d'une portée de 14,50 m, complètement enrobée de béton et munie de butées d'adhérence soudées sur les semelles tendues et comprimées résiste aux sollicitations suivantes :

- 2.000.000 cycles de sollicitations entre 0,4 et 1 fois la charge de service.
- 1.180.000 cycles de sollicitations entre 0,85 et 1,5 fois la charge de service.

Aucune altération des qualités de résistance et d'élasticité de la poutre n'a été relevée au cours de l'essai.

Il est utile d'ajouter qu'il s'agissait d'une poutre en grandeur réelle analogue à celles devant servir à la couverture d'un tunnel destiné à supporter un trafic lourd (surcharge utile 25 KN/m^2).

4.2 Essai de Stuttgart

Une poutre HE 260 A complètement enrobée a subi sans dommage significatif les mises en charge suivantes :

- 2.030.000 cycles de mises en charge à la charge de service avec une amplitude de variation des contraintes de 46 N/mm^2.
- 2.053.000 cycles de mises en charge à 1,25 fois la charge de service avec une amplitude de variation des contraintes de 57,5 N/mm^2.

Elle fut ensuite soumise à une nouvelle mise en charge dynamique poussée jusqu'à 1,5 fois la charge de service avec un écart des contraintes de 69 N/mm^2.

La rupture due à 4 cratères de soudage situés dans la même section transversale (les détails de soudage ont été modifiés suite à cet essai) est intervenue après 1.277.000 cycles supplémentaires de mise en charge.

5. EXAMEN D'UN OUVRAGE REEL

Une série de poutres préfléchies ont été utilisées dans la construction d'une rampe pour tramways. Elles n'ont reçu aucun enrobage de béton à l'exception du béton précomprimé entourant leur aile tendue. Chaque passage d'un essieu sur une poutre y provoquait un accroissement de 29,9 N/mm^2 de la contrainte de traction; le croisement de deux essieux sur une même poutre augmentait cette contrainte de 59,8 N/mm^2.

Le décompte du nombre de passages de véhicules sur la rampe permet d'affirmer qu'au moment de sa mise hors service, suite à des transformations de l'ouvrage dont elle faisait partie, chaque poutre avait subi environ 13.000.000 de mises en charge totales (deux essieux) et 26.000.000 de mises en charge partielles (un essieu).
Après démontage de la rampe, les poutres ont été réutilisées comme éléments porteurs couvrant un tunnel construit à cet endroit en-dessous de la voirie.

6. CONCLUSIONS

Les considérations théoriques, les constatations faites lors des essais en laboratoire et les observations sur des ouvrages réels, en service depuis de nombreuses années montrent l'intérêt au point de vue comportement à la fatigue du recours à des procédés de fabrication qui réduisent l'amplitude des variations de contraintes en service.

Depuis la mise au point du procédé PREFLEX en 1951, plus de 300 ouvrages d'art, ponts-rails et ponts-route, ont été construits rien qu'en Belgique avec ce type de poutres, sans qu'aucun désordre ne se soit jamais produit. Il est d'ailleurs à souligner que dans les colloques consacrés à l'entretien et à la gestion des ouvrages d'art, il n'a jamais été question de ponts construits avec des poutres préfléchies.

La comparaison établie dans le paragraphe 3 montre clairement que le procédé de préflexion confère aux poutres une résistance en fatigue beaucoup plus grande par rapport à celle des poutres non préfléchies et, dans la plupart des cas, l'auteur de projet peut ignorer les réductions de contrainte imposées par la considération des phénomènes de fatigue. Il est libre d'utiliser des aciers de meilleure qualité au maximum de leur résistance, avec toute l'incidence que cela a sur l'économie du projet.