

# Comportement à la fatigue des poutres mixtes préfléchies

Autor(en): **Firquet, G.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **37 (1982)**

PDF erstellt am: **16.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28960>

## **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.



## **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.

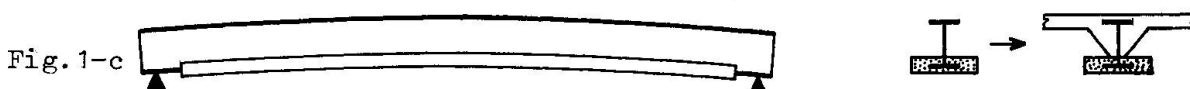
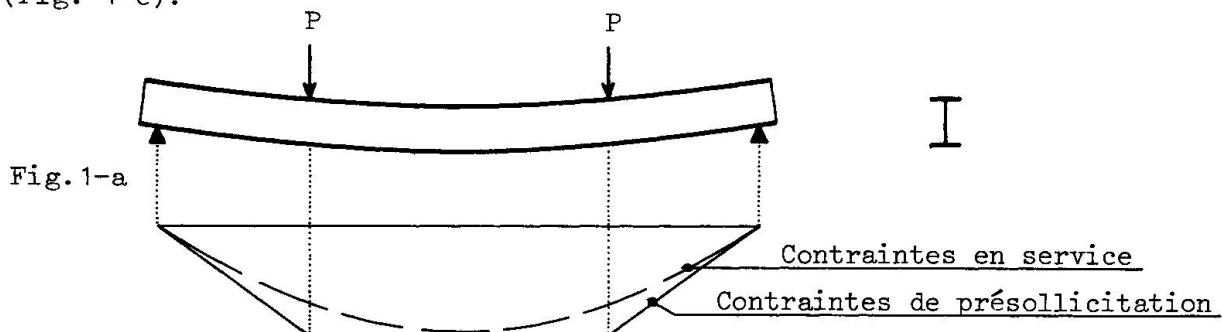
Par le procédé de fabrication lui-même, il a obtenu une réduction sensible de la variation des contraintes tout en continuant à utiliser au maximum la capacité de l'acier utilisé.

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 :  $M_1 = 2.733 \text{ KNm}$
- Moment dû aux surcharges fixes :  $M_2 = 783 \text{ KNm}$
- Moment dû aux surcharges mobiles :  $M_3 = 2.565 \text{ KNm}$

#### 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

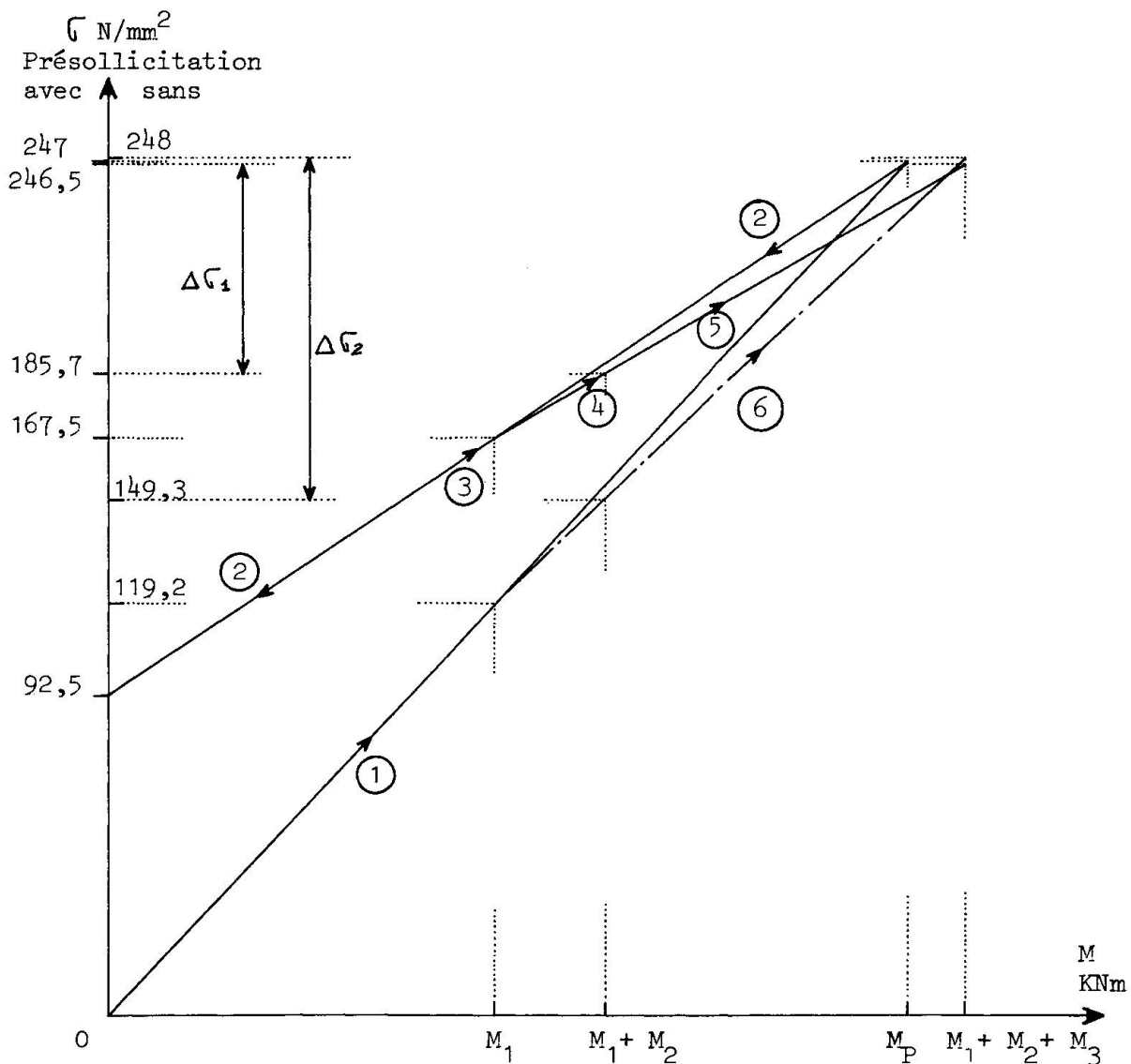


Fig. 2



La poutre non enrobée est tout d'abord soumise à un moment de préflexion  $M_p = 5664 \text{ KNm}$  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  $247 \text{ N/mm}^2$ \*. 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  $92,5 \text{ N/mm}^2$  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  $167,2 \text{ N/mm}^2$ .

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  $185,7 \text{ N/mm}^2$  puis finalement celui dû aux surcharges mobiles (Moment  $M_3$ , trajet (5)) qui nous amène à la contrainte maximum de service :  $246,5 \text{ N/mm}^2$ . L'amplitude maximum de variation des contraintes sous surcharges mobiles vaut  $\Delta\sigma_1 = 60,8 \text{ N/mm}^2$ .

### 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  $119,2 \text{ N/mm}^2$ . 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,  $\sigma$  vaut  $149,3 \text{ N/mm}^2$  et que la contrainte maximum vaut  $248 \text{ N/mm}^2$ . L'écart de contrainte dû aux surcharges mobiles vaut donc ici  $\Delta\sigma_2 = 98,7 \text{ N/mm}^2$ .

### 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  $60,8 \text{ N/mm}^2$  pour la poutre préfléchie alors qu'elle monte à  $98,7 \text{ N/mm}^2$  soit 62% de plus pour la poutre non présollicitée.

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

- Poutre préfléchie : Détail constructif E :  $N_e = 1,6 \times 10^6$   
 D :  $N_e = 3,3 \times 10^6$  (à comparer aux  $2 \times 10^6$  cycles imposés pour les routes principales)  
 A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, B, C : on se trouve sous la limite d'endurance, donc pas de problème de fatigue.
- Poutre non présollicitée : Détail constructif E :  $N_e = 0,375 \times 10^6$   
 D :  $N_e = 0,700 \times 10^6$   
 C :  $N_e = 1,50 \times 10^6$   
 A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, 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  $0,8 \times R_e$ .

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  $153 \text{ N/mm}^2$ . Ce serait là bien mal utiliser un acier ayant une limite d'élasticité de  $355 \text{ N/mm}^2$ .

#### 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  $25 \text{ KN/m}^2$ ).

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

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  $69 \text{ N/mm}^2$ .

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  $29,9 \text{ N/mm}^2$  de la contrainte de traction; le croisement de deux essieux sur une même poutre augmentait cette contrainte de  $59,8 \text{ N/mm}^2$ .



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.