

Comportement à la fatigue des poutres mixtes préfléchies

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **108 (1982)**

Heft 6

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74645>

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.

seulement le moment de l'apparition de dommages de fatigue, mais également le type et l'endroit des dégâts!
C'est là une situation concevable dans le cas d'un ouvrage d'art: qu'on songe aux projets de construction de nouvelles lignes de tramway ou plus simplement à l'introduction de nouveaux types de véhicules.

Conclusion

La conscience et la compréhension des problèmes de fatigue ne sont pas le seul

apanage des ingénieurs mécaniciens. La construction et l'exploitation d'ouvrages d'art toujours plus efficaces du point de vue de l'utilisation des matériaux doivent s'appuyer sur de solides connaissances dans le domaine de la fatigue.

Des travaux de recherche comme ceux conduits à l'Institut de construction métallique de l'EPFL contribuent de façon tangible à l'avancement de l'art de la construction. Le séminaire de Lausanne sur le comportement en fatigue des structures métalliques et en béton armé

apportera, notamment par l'intense échange d'information qu'il favorise, de nouvelles impulsions pour les chercheurs et des bases mieux assurées pour les constructeurs.

Jean-Pierre Weibel

Cet article a été rédigé grâce aux documents fournis par l'ICOM et la Fabrique fédérale d'avions d'Emmen.

Comportement à la fatigue des poutres mixtes préfléchies¹

par G. Firquet, Bruxelles

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 étaient l'argumentation alors que la conclusion montre l'économie obtenue par l'emploi de ce type de poutres.

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, a été créée une poutre dont la résistance en fatigue dépasse largement celle des poutres mixtes déjà connues.

Le procédé de fabrication a permis d'obtenir 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 procédé

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).

¹ Exposé présenté au colloque AIPC « Comportement à la fatigue des structures métalliques et en béton », à Lausanne.

Dans cet état chargé, la semelle tendue de la poutre est enrobée de béton 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.

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

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.

3. Comparaison des évolutions 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.

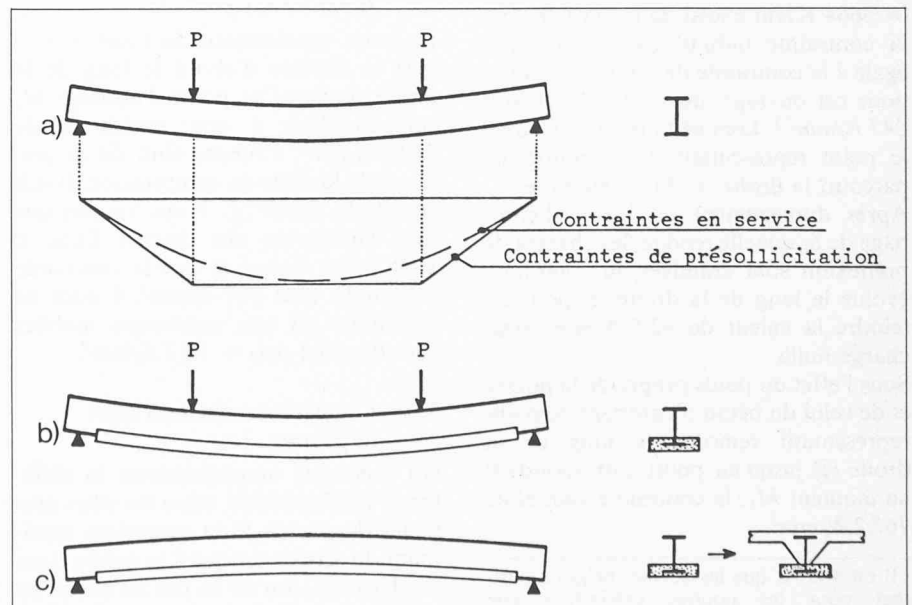


Fig. 1. — Principe de la poutre préfléchie.

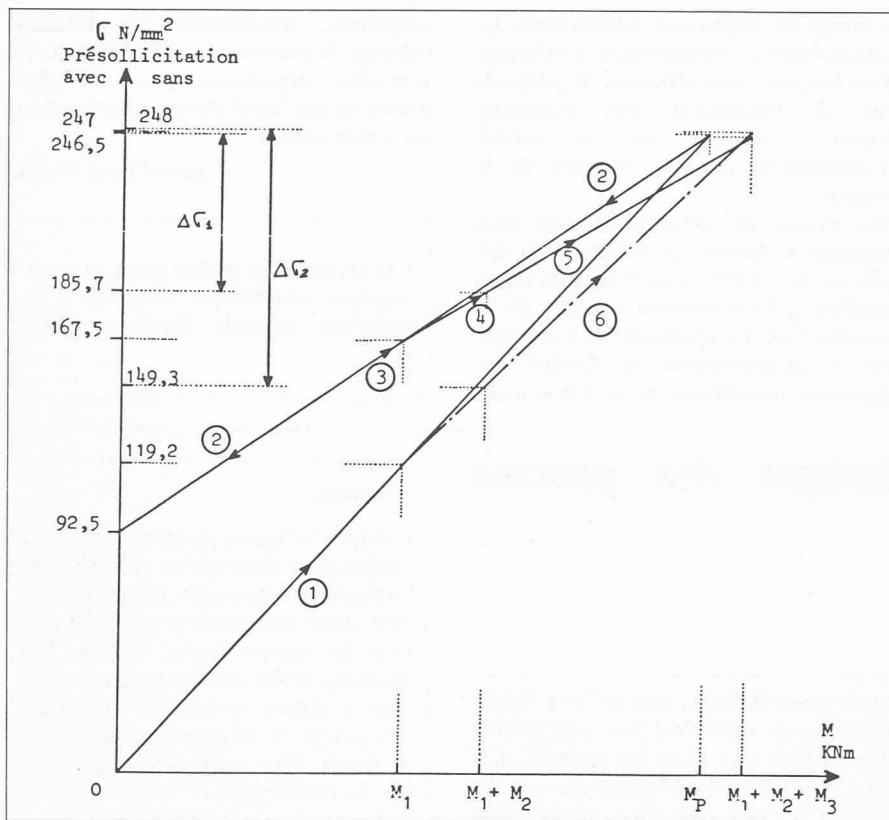


Fig. 2. — Evolution des contraintes dans la poutre préfléchie.

Les sollicitations maximales auxquelles cette poutre doit résister en service sont les suivantes:

- moment dû au poids propre du tablier: $M_1 = 2733 \text{ KNm}$
- moment dû aux surcharges fixes: $M_2 = 783 \text{ KNm}$
- moment dû aux surcharges mobiles: $M_3 = 2565 \text{ KNm}$.

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.

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 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, σ vaut $149,3 \text{ N/mm}^2$ et que la contrainte maximum vaut 248 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 $60,8$

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 préfléchie. 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 de construction

$$E: Ne = 1,6 \times 10^6$$

$D: Ne = 3,3 \times 10^6$ (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 préfléchie:

détail de construction

$$E: Ne = 0,375 \times 10^6$$

$$D: Ne = 0,700 \times 10^6$$

$$C: Ne = 1,50 \times 10^6$$

A_0, A_1, B : même conclusion que ci-dessus.

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).

² Il est à noter que les normes belges autorisent pour les poutres préfléchies une contrainte maximum de service égale à $0,8 \times Re$.

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/mm²;
- 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/mm².

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/mm². 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 réel

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/mm² de la contrainte de traction; le croisement de deux essieux sur une même poutre augmentait cette contrainte de 59,8 N/mm².

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 *Pre-flex* en 1951, plus de 300 ouvrages d'art, ponts-rail 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.

Adresse de l'auteur:

G. Firquet
Directeur technique
Preflex SA
Bruxelles, Belgique

Actualité

Le programme national de recherche «Bois» en raccourci

1. Qu'est-ce qu'un programme national de recherche?

Le Conseil fédéral charge le Fonds national pour l'encouragement de la recherche scientifique de traiter, du point de vue scientifique, un thème présentant un intérêt particulier et de le financer en versant un certain montant. Le Fonds national nomme chaque fois un groupe d'experts qui dresse un plan d'exécution. Celui-ci est approuvé par le Conseil fédéral et mis à l'enquête. Des propositions de recherches peuvent être présentées par toute personne qui peut prouver qu'elle a les capacités nécessaires pour réaliser le projet proposé. Il est ainsi possible de financer, dans le cadre du programme, non seulement des projets des hautes écoles, mais aussi des projets d'associations et d'entreprises, à condition qu'ils répondent aux objectifs du programme, qu'ils satisfassent aux exigences scientifiques et donnent, pendant la durée du programme, des résultats intéressants pour la pratique.

2. Que faut-il traiter dans le cadre du programme «Bois»?

Le programme est doté de 8 millions de francs et doit être réalisé en cinq ans. Le départ devrait être donné à la fin de 1982 ou au début de 1983, une fois que

les propositions de projets auront été mises à l'enquête et que le choix aura été fait. Le plan d'exécution n'est pas encore approuvé par le Conseil fédéral, mais l'accent sera vraisemblablement mis sur les questions concernant l'exploitation des forêts de montagne, le tri et la manutention du bois, le travail du bois (en tenant particulièrement compte de la gestion électronique des opérations), l'utilisation du bois dans la construction, de même que l'énergie tirée du bois. On traitera en outre des thèmes relatifs à la chimie du bois et à l'approvisionnement en bois en situations de pénurie.

3. Comment le programme est-il organisé?

Le professeur Th. Erismann, président de la direction du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, assurera la liaison entre le programme «Bois» et la Division IV du Fonds national, compétente en la matière. Le secrétariat scientifique sera assuré par M^{me} F. Kästli. Le groupe d'experts est dirigé par M. W. Bosshard, directeur de l'Institut fédéral de recherches forestières. Font en outre partie de ce groupe:

MM. B. Bittig, professeur, Institut de recherche sur la forêt et le bois (Economie et politique forestières), EPFZ; J.-P. Farron, Service des forêts, Delémont; U. Gasche, sous-directeur, Cellulose At-tisholz S.A.; B. Gfeller, spécialiste en technologie, Novopan S.A.; M.-A. Hou-mard, conseiller national, directeur de l'Ecole suisse du bois; H. P. Kämpf, ing.

civil dipl.; O. Wälchli, professeur, Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, et H. Wanner, professeur, Institut de phytobiologie de l'EPFZ.

La direction du programme a été confiée à M. E. P. Grieder, ing. forestier. Il préparera les décisions du groupe d'experts, veillera à la coordination entre les projets et assurera en particulier les contacts avec la pratique.

4. Comment cherchera-t-on le contact avec la pratique, dans le secteur des forêts et de l'économie du bois?

Pour donner suite à la volonté expresse du Conseil fédéral et du Fonds national, il faudra orienter le programme de manière à obtenir des résultats utilisables dans la pratique. La direction du programme cherchera par conséquent d'emblée à établir le contact avec les institutions de l'économie des forêts et du bois, afin de déterminer ce qui les intéresse, et en particulier aussi leur volonté de collaborer activement au programme. En cours de programme et lorsqu'on aura obtenu des résultats intéressants, on organisera des séminaires pour divers groupes spécifiques, où les résultats seront non seulement présentés, mais aussi soumis à la critique de la pratique. Ici également, on s'efforcera de collaborer de façon aussi étroite que possible avec des associations et des écoles professionnelles, et de fournir des informations intéressantes en premier lieu aux organes professionnels existants.

Office fédéral des forêts