Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

Band: 31 (1971)

Artikel: Essais de détermination des flèches initiales des panneaux raidies des grands ponts en caisson

Autor: Maquoi, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-24222

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: 30.12.2025

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

Essais de détermination des flèches initiales des panneaux raidis des grands ponts en caisson

Versuche zur Bestimmung der anfänglichen Pfeilhöhen an ausgesteiften Feldern grosser Kastenträger

Test Carried out for Determining the Initial Cambers of Stiffened Panels of Large Box Girders

R. MAQUOI
Ingénieur des Constructions Civiles, Chargé de Recherches du Fonds National de la Recherche Scientifique, Université de Liège (Belgique)

1. Introduction

Dans la contribution à la discussion préparée sur le dimensionnement à la ruine des poutres à âme pleine et en caisson, présentée en mars 1971 au Colloque de l'A.I.P.C. à Londres [1], le Professeur MASSONNET et l'auteur ont mis en évidence l'effet néfaste d'une déformation initiale des panneaux comprimés raidis sur la valeur de leur charge ultime.

Depuis lors, l'auteur a contribué, avec le Professeur MASSONNET, à développer une théorie de la résistance ultime des poutres en caisson [2] tenant compte du comportement postcritique des panneaux comprimés raidis. Afin que cette théorie puisse déboucher sur une méthode rationnelle de calcul, il était nécessaire de pouvoir déterminer la valeur de la flèche initiale à prendre en compte. Comme celle-ci est impossible à déterminer avant que les panneaux aient été exécutés à l'atelier et éventuellement mis en place, la seule manière de procéder consistait dès lors effectuer des mesures sur des ouvrages existants et à soumettre les résultats obtenus à une étude statistique.

Actuellement, tous les grands ponts métalliques sont réalisés par tronçons dans lesquels les assemblages des raidisseurs aux tôles d'âmes ou de semelles sont exécutés par soudure automatique.

Les divers tronçons sont alors assemblés sur chantier, soit par soudure bout à bout des tôles et raidisseurs, soit par boulons à haute résistance avec couvre-

joints. On conçoit donc que, selon le mode d'assemblage des tronçons, la valeur de la flèche initiale «statistique» soit différente puisque les contraintes de bridage sont certainement plus élevées dans le cas d'un assemblage par soudure bout à bout.

Nous avons limité notre étude au cas de l'assemblage des tronçons par boulons H. R. L'ouvrage sur lequel nous avons exécuté les mesures est le viaduc de Beez (Belgique) permettant à la future autoroute des Ardennes de franchir la Meuse.

2. Description succincte du viaduc de Beez et de l'objet des mesures

Le viaduc de Beez, construit à 3 km en aval de Namur, est constitué d'une poutre métallique continue à 6 travées, de hauteur constante (Fig. 1).

Il a 551 m de longueur totale. La cinquième travée franchissant la Meuse a 151 m de longueur; toutes les autres travées ont 80 m de longueur.

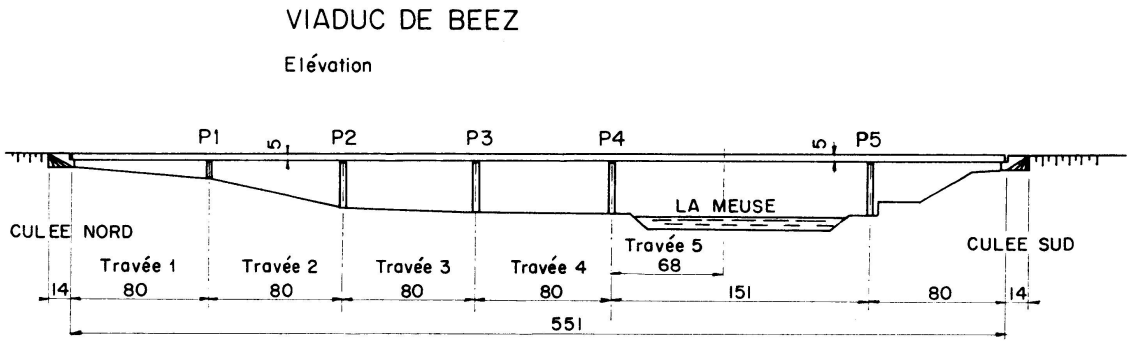

Fig. 1.

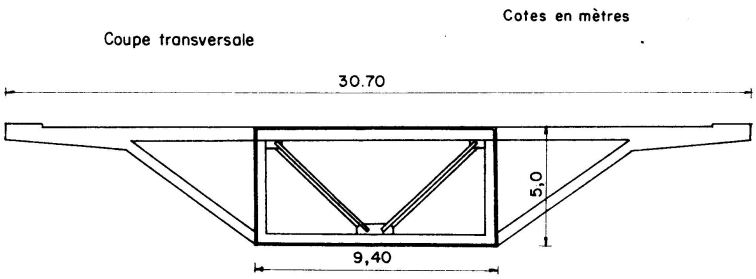

Fig. 2.

La section transversale se compose d'un caisson unique de 5 m de haut et 9,4 m de large et de deux encorbellements de 10,65 m chacun, soutenus par des bracons obliques (Fig. 2). A l'exception du platelage métallique assemblé par soudure, les assemblages au chantier sont réalisés par boulons H. R. Différents réglages d'efforts ont été prévus de manière à maintenir constante l'épaisseur de la tôle de platelage.

Nous avons procédé à la mesure des flèches au moment où toute la partie rive gauche, c'est-à-dire les travées 1, 2, 3, 4 et 68 m de la travée centrale, était terminée.

Comme le platelage orthotrope supérieur est surtout dimensionné pour résister à l'effet des charges transversales, il était peu intéressant de relever les déformations de la tôle correspondante.

Nous nous sommes attachés à l'exploration d'une soixantaine de panneaux inférieurs pour lesquels l'épaisseur de la tôle, le nombre, le type et l'entre-distance des raidisseurs étaient fort variables. Nous avons ainsi pu effectuer nos mesures à l'intérieur du caisson, ce qui nous permettait de nous soustraire en majeure partie aux désagréments des conditions atmosphériques.

Tous les panneaux avaient même largeur – 9,4 m – et des longueurs voisines de 3,64 m; une bande centrale longitudinale d'environ 1 m était inaccessible en raison de la présence d'une passerelle d'entretien.

3. Technique et appareillage de mesure

Pour connaître la flèche d'un panneau, nous avons relevé les cotes verticales de 8 points (Fig. 3) par rapport à un plan horizontal de référence (plan de visée d'un appareil de nivellement).

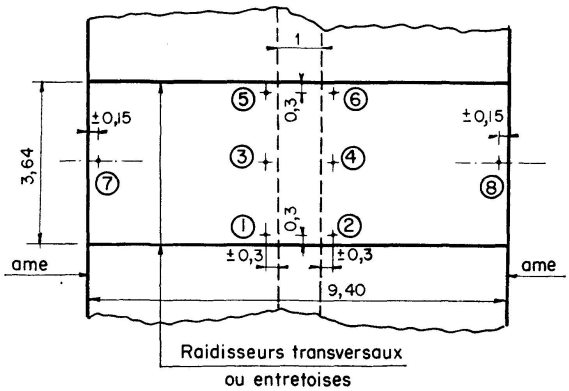

Fig. 3.

Panneau type: cotes en mètres

A cet effet, après avoir examiné les diverses techniques de mesure dont nous disposions, nous avons porté notre choix sur la méthode classique de nivellement. En raison du nombre de mesures à effectuer en un laps de temps aussi court que possible et des conditions de travail difficiles (mauvaise visibilité, odeurs de peinture fraîche,...), nous devions utiliser un appareil à manipulation aisée et rapide. D'autre part, comme nous souhaitions obtenir une bonne précision de mesure, un micromètre incorporé à l'appareil était souhaitable.

L'utilisation conjointe d'un niveau WILD N 2 et de mires standard de nivellement, hautes de 4 m et graduées en centimètres, répondait très bien aux critères ci-dessus; en effet, ce type de niveau possède un micromètre gradué au $^1/_{10}$ mm.

Chaque mire était munie d'une source lumineuse au voisinage de la zone visée. D'autre part, le réglage du niveau et la lecture des cotes visées exigeaient également un éclairage rasant disposé à la base du trépied supportant le niveau.

Afin de lui assurer un maximum de stabilité, l'appareil de nivellement avait une assise propre indépendante de celle de l'opérateur; le trépied du niveau reposait directement, par l'intermédiaire d'un épais socle en bois, sur les supports rigides de la passerelle. Nous avons constaté, dans ces conditions, que le comportement de l'appareil était très satisfaisant; nous devions toutefois interrompre toute mesure lorsqu'un convoi ferré lourd passait dans la vallée ou que des palplanches étaient battues en Meuse.

A partir d'une même mise en station, il était difficile de procéder aux mesures de plus de trois panneaux, en raison de la présence de pièces de support, d'accessoires divers et d'entretoisements. D'autre part, les mesures étaient effectuées dans l'ordre indiqué à la figure 3, de manière à réduire le temps s'écoulant entre deux mesures sensiblement égales.

4. Remarque sur les flèches mesurées

Par «flèche initiale» d'un panneau raidi, on entend généralement tout déplacement transversal du centre de ce panneau par rapport au plan supposé contenir les quatre bords, résultant de l'imperfection initiale inévitable de la tôle et d'imperfections de construction qui s'y superposent lors de la fixation du raidissage. Il s'agit donc d'une flèche initiale constructive, indépendante de l'état de charge du panneau. On conçoit dès lors que sa mesure est pratiquement impossible puisque lors du montage, on aura un panneau, soit reposant sur l'aire d'assemblage, soit soumis à son poids propre.

D'autre part, lorsqu'un tronçon est déjà mis en place, les panneaux raidis sont en plus soumis à l'action d'une partie des charges permanentes; ils subissent alors une courbure d'ensemble provenant de la compatibilité de leurs déformations avec celles des âmes fléchies et, comme pièces imparfaites, se déforment déjà en régime subcritique sous l'action des sollicitations existant à ce moment.

Désignons par

ξ_0, la flèche initiale constructive augmentée de celle due au poids propre du panneau;

ξ_1, la flèche résultant de la courbure d'ensemble du panneau, en raison de la déformée prise par la poutre;

ξ_2, la flèche engendrée en régime subcritique par les efforts de compression existant dans le panneau au moment de la mesure.

Nous avons considéré que le plan initial contenant le panneau idéal parfaitement plan, par rapport auquel nous rapporterons les valeurs des flèches, positives vers le haut, est caractérisé par la cote moyenne des points 1, 2, 5 et 6, soit

$$\bar{\xi} = \frac{f_1+f_2+f_5+f_6}{4}$$

en désignant par f_i, la mesure de la cote mesurée du point i.

Dès lors, la flèche moyenne due à la courbure de la poutre est donnée par

$$\xi_1 = \bar{\xi} - \frac{f_7+f_8}{2}.$$

A l'aide des mesures aux points 1 à 8 de la figure 3, nous avons calculé deux types de flèches:

a) une flèche totale du panneau,

$$f' = \bar{\xi} - \frac{f_3+f_4}{2},$$

b) une flèche du panneau, abstraction faite de la contribution due à la courbure de la poutre

$$f'' = f' - \xi_1 = \frac{f_7+f_8}{2} - \frac{f_3+f_4}{2}.$$

Ces deux flèches s'apparentent donc bien aux combinaisons suivantes de ξ_0, ξ_1, ξ_2

$$f' \cong \xi_0 + \xi_1 + \xi_2,$$
$$f'' \cong \xi_0 + \xi_2.$$

5. Résultats des mesures

Chaque panneau, dont la tôle a une épaisseur t, est caractérisé par deux valeurs de la flèche, f' et f'', comptées positivement vers le haut; comme c'est la coutume, nous avons alors exprimé ces valeurs en fonction de l'épaisseur de manière à ne plus avoir que des caractéristiques non dimensionnelles f'/t et f''/t. Nous donnons dans le tableau I ci-après les valeurs de f' et f'/t, f'' et f''/t pour chacun des panneaux examinés, ceux-ci étant précisés par la travée à laquelle ils appartiennent et la position qu'ils y occupent; les mesures sont groupées selon l'épaisseur de la tôle.

Le nombre de panneaux explorés est de 65 pour f'. En raison de difficultés rencontrées pour effectuer les lectures au voisinage des âmes, ce nombre s'est trouvé réduit à 52 pour f''.

Tableau I

Epaisseur tôle	Position panneau		f' (10^{-1} mm)	f'' (10^{-1} mm)	$\frac{f'}{t}$ (10^{-1})	$\frac{f''}{t}$ (10^{-1})
	N⁰ travée	N⁰ panneau				
10	1	2	18	—	1,80	—
	1	3	7	— 49	0,70	—4,9
	1	4	— 13	— 67	—1,30	—6,7
	1	15	33	—	3,30	—
	1	16	— 41	— 36	—4,10	—3,6
	1	17	— 46	— 32	—4,60	—3,2
	1	18	3	— 28	0,30	—2,8
	1	20	— 6	—	—0,60	—
	2	4	19	— 22	1,90	—2,2
	2	5	3	—	0,30	—
	2	6	— 17	— 61	—1,70	—6,1
	2	7	— 22	—	—2,20	—
	2	9	27	— 22	2,70	—2,2
	2	10	3	— 35	0,30	—3,5*)
	2	11	40	— 14	4,00*)	—1,4
	2	12	4	— 68	0,40	—6,8
	2	14	20	— 28	2,00*)	—2,8
	2	15	— 20	—	—2,00*)	—
	2	16	16	— 26	1,60	—2,6
	2	17	23	— 11	2,30	—1,1
	2	18	— 2	— 36	—0,20	—3,6
	2	20	24	—	2,40	—
	3	3	— 27	— 42	—2,70	—4,2
	3	4	39	— 30	3,90	—3,0*)
	3	5	— 32	— 49	—3,20	—4,9
	3	6	— 76	—	—7,60	—
	3	7	— 10	— 14	—1,00*)	—1,4
	3	9	8	— 35	0,80	—3,5*)
	3	10	— 13	— 22	—1,30	—2,2
	3	11	3	— 21	0,30	—2,1
	3	12	— 11	— 79	—1,10	—7,9
	3	14	11	— 50	1,10	—5,0*)
	3	15	— 27	— 59	—2,70	—5,9
	3	16	— 31	— 38	—3,10	—3,8
	3	17	— 9	— 67	—0,90	—6,7
	3	18	26	— 33	2,60	—3,3
	3	20	— 40	— 50	—4,00*)	—5,0*)
14	5	4	92	— 24	6,57	—1,72
	5	5	— 9	— 80	—0,64	—5,71
	5	6	67	— 39	4,79	—2,79
16	1	5	— 4	— 25	—0,25	—1,56
	1	6	—109	— 59	—6,81	—3,69
	1	7	— 9	— 71	—0,56	—4,44
	1	9	13	—	0,81	—
	1	11	53	21	3,31	1,31
	1	12	44	— 26	2,75	—1,62
	1	14	1	— 94	0,06	—5,87
22	1	21	63	5	2,86	0,23
	1	22	23	— 6	1,05	—0,27
	2	1	68	—	3,09	—
	2	3	— 28	—133	—1,27	—6,05
	2	21	— 6	— 9	—0,27	—0,41

Epaisseur tôle	Position panneau		f' (10^{-1} mm)	f'' (10^{-1} mm)	$\frac{f'}{t}$ (10^{-1})	$\frac{f''}{t}$ (10^{-1})
	N⁰ travée	N⁰ panneau				
22	2	22	26	41	1,18	1,86
	3	21	− 2	17	−0,10	0,77
	3	22	12	− 4	0,55	−0,19
26	5	8	− 12	−115	−0,46	−4,42
30	5	11	36	− 43	1,20	−1,43
	5	12	− 73	−174	−2,43	−5,80
	5	13	18	− 93	0,60	−3,10
	5	15	− 4	−134	−0,13	−4,45
	5	16	− 25	−192	−0,83	−6,40
	5	17	0	−153	0*)	−5,10
	5	18	25	—	0,83	—

*) Valeur dédoublée (voir § 6).

6. Etude statistique des résultats de mesures

Pour procéder à l'étude statistique des résultats de mesures, nous avons considéré des intervalles de variation de f'/t et f''/t valant $0{,}5 \cdot 10^{-1}$ et dressé les histogrammes des figures 4 et 5.

Lorsqu'un résultat de mesure coïncide avec une limite d'intervalle, il est dédoublé et est compté dans les deux intervalles adjacents à cette limite. De la sorte, le nombre total de mesures devient respectivement 69 et 57.

Pour étudier les distributions continues que l'on pourrait substituer aux histogrammes des figures 4 et 5, nous avons calculé pour chaque distribution:

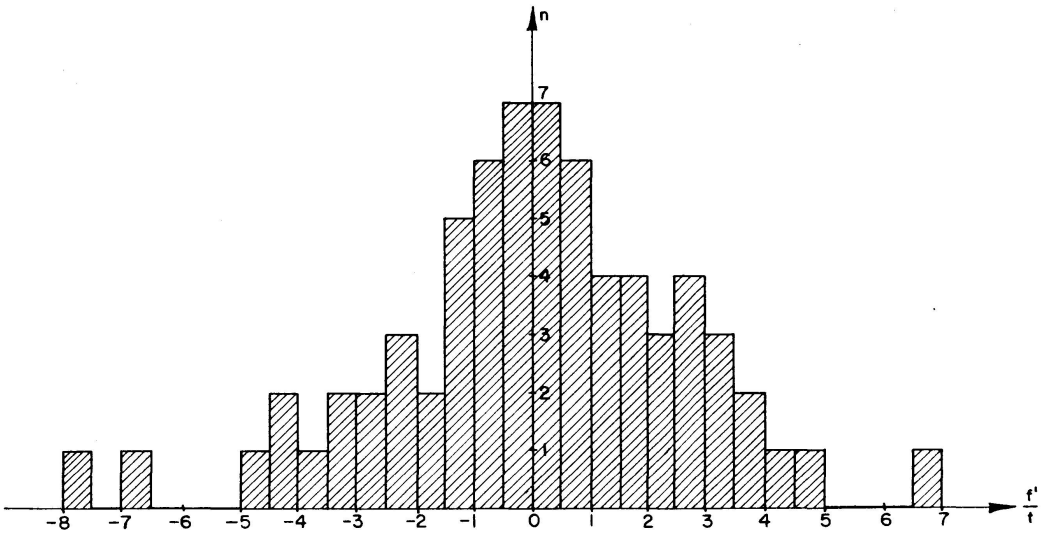

Fig. 4.

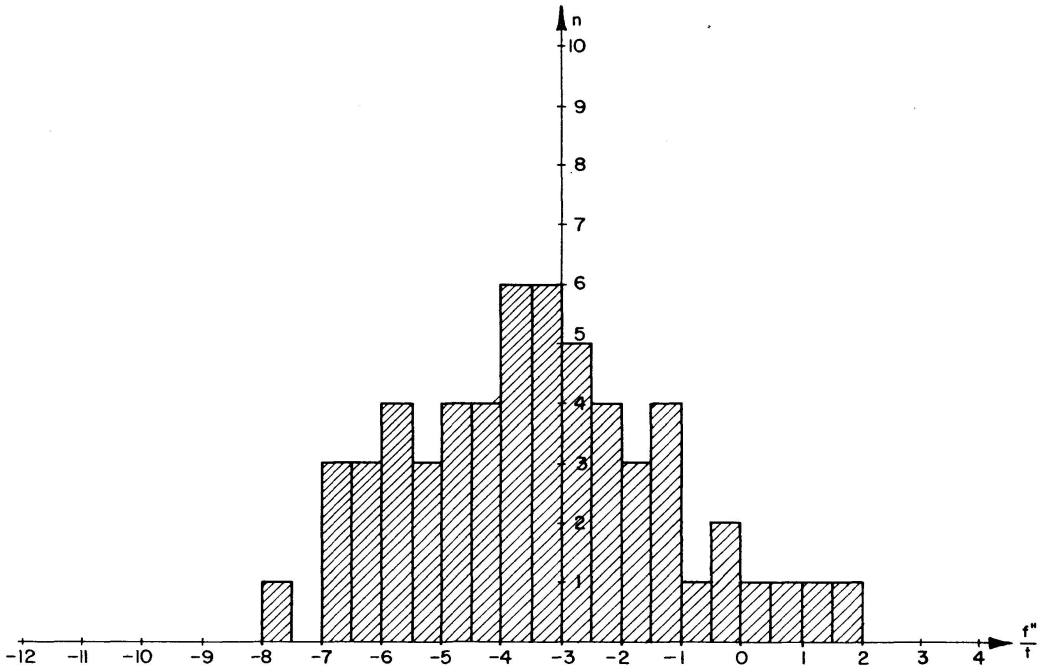

Fig. 5.

a) la fréquence relative pour chaque intervalle, égale au rapport du nombre de mesures obtenu dans cet intervalle au nombre total de mesures;
b) la fréquence cumulée, obtenue par sommation des fréquences relatives;
c) la valeur de la variable réduite x/σ correspondant à chaque valeur de la fréquence cumulée, à l'aide d'une table de la loi normale réduite.

Nous avons tracé aux figures 6 et 7, la variation de f'/t et f''/t en fonction de la variable réduite x/σ. On sait que cette variation est linéaire lorsque la distribution empirique est parfaitement normale et qu'on obtient dans ce cas une droite appelée «droite de HENRY».

Afin de juger la normalité des distributions, nous avons également tracé de part et d'autre de la droite de HENRY, les courbes définissant un fuseau tel qu'un point de la distribution ait une chance sur deux de lui être intérieur.

En nous basant sur le critère expérimental de normalité – 80% des points à l'intérieur du fuseau limite – nous observons que les deux distributions étudiées sont assimilables à des distributions normales dont les caractéristiques, déterminées à partir des droites de HENRY, sont données au tableau II.

Tableau II

	f'/t (en 10^{-1})	f''/t (en 10^{-1})
Moyenne arithmétique	+0,1	−3,4
Dispersion	2,5	2,3

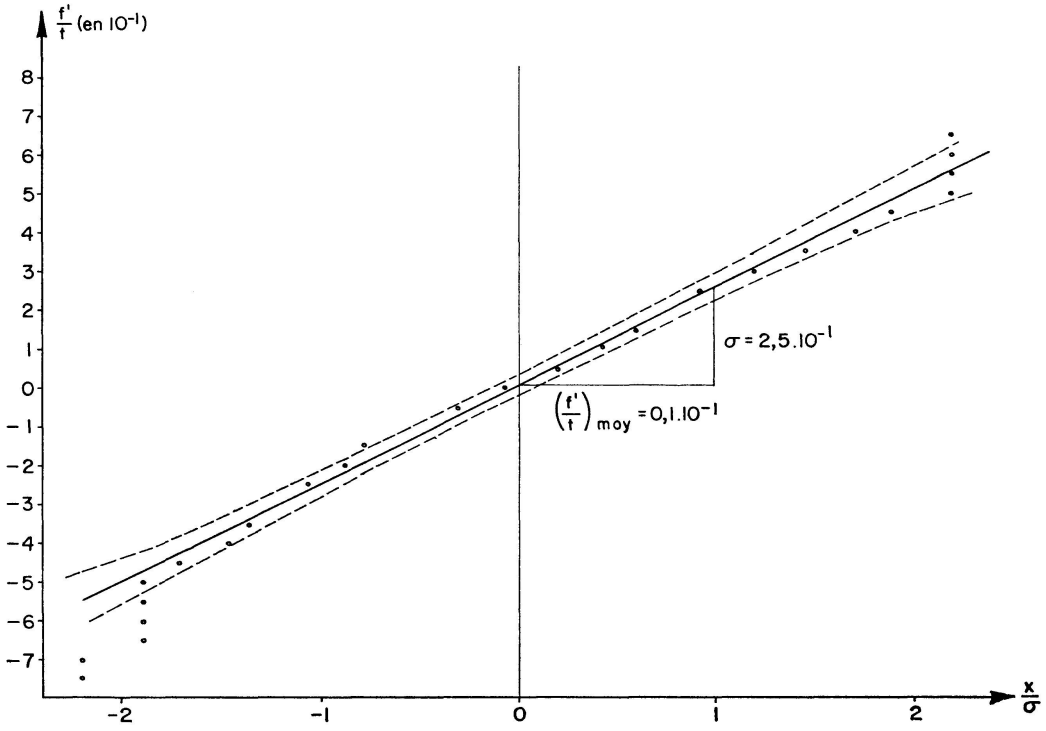

Fig. 6.

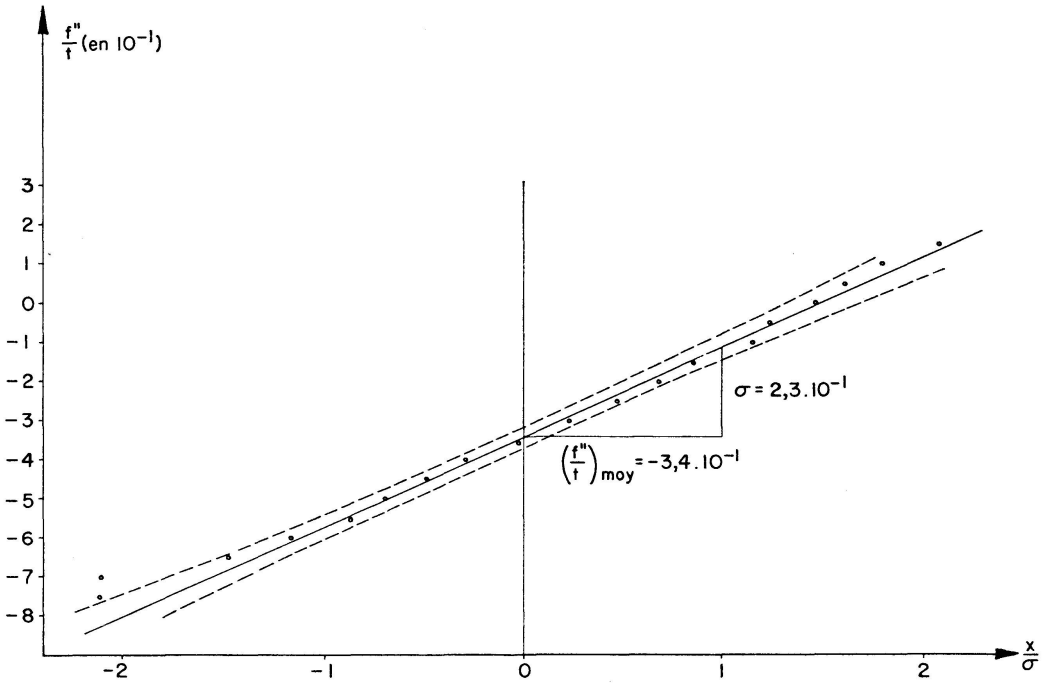

Fig. 7.

On remarquera que les points extrêmes de la distribution f'/t se disposent assez mal; cela est dû au fait qu'ils correspondent à une valeur nettement isolée dans une population restreinte.

7. Conclusions

Les flèches mesurées présentent une moyenne arithmétique nettement distincte, selon qu'on y englobe ou non les valeurs des flèches engendrées par la courbure propre des poutres.

Comme il nous paraît logique de ne pas prendre en compte ce dernier effet, il faut donc se baser sur les valeurs obtenues pour f''/t. Nous avons déjà dit que celles-ci comprenaient une contribution due à la déformée du panneau en régime subcritique.

Comme d'une part les contraintes dans les panneaux examinés étaient nettement inférieures à celles qui sont susceptibles d'y apparaître en service et que, d'autre part, les panneaux explorés étaient tantôt tendus, tantôt comprimés, nous admettons que les valeurs f''/t constituent la meilleure mesure des flèches initiales, dans le sens défini au paragraphe 4.

Pour définir la valeur à prendre en compte dans l'étude non linéaire des panneaux comprimés raidis [2], nous adopterons un seuil de probabilité de 1%, c'est-à-dire qu'on admet a priori qu'un panneau sur cent puisse présenter une flèche «initiale» supérieure à cette valeur. Dans ces conditions, l'écart à la moyenne, fourni par la table de distribution normale, est de 2,56 fois la dispersion.

En d'autres termes, on aura une seule chance sur cent d'observer une valeur f''/t supérieure à la moyenne arithmétique $\pm 2{,}56$ fois la dispersion, soit

$$\left|\frac{f''}{t}\right| = [3{,}40 + (2{,}56 \times 2{,}30)]\, 10^{-1} = 0{,}93\,.$$

Pour les panneaux comprimés des grandes poutres en caisson, constitués de tôles de forte épaisseur ($\geqq 10$ mm), nous préconisons donc de considérer une flèche initiale égale à l'épaisseur de la tôle. Cette valeur serait à majorer considérablement pour des tôles de faible épaisseur, de l'ordre de 3 à 5 mm, en raison des imperfections relatives plus grandes dont elles sont le siège, tant à la fourniture que lors de la réalisation du raidissage.

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement:

— Monsieur Fougnies, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées,
— Monsieur Warolus, Chef du Service des études des Ateliers de Construction de Jambes, firme qui a construit la partie métallique du viaduc de Beez,
— Monsieur D'Have et Monsieur Winkel, respectivement Directeur du Bureau SECO et ingénieur de ce Bureau, qui était l'organisme de contrôle de l'ouvrage,

pour nous avoir autorisé à entreprendre les mesures sur le viaduc de Beez et pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

Nous exprimons toute notre gratitude au Service de Topographie de l'Université de Liège, qui nous a aimablement prêté tout le matériel indispensable à cette recherche.

Enfin, signalons que notre campagne de mesures a bénéficié du soutien financier du Centre de Recherches de l'Industrie des Fabrications Métalliques.

Bibliographie

[1] R. Maquoi et Ch. Massonnet: Discussion of the Report by Professor P. Dubas: Essais sur le comportement post-critique de poutres en caisson raidies. Proceedings of the IABSE. Colloquium on Design of plate and box girders for ultimate strength, London, March 25–26, 1971 (à paraître).

[2] R. Maquoi et Ch. Massonnet: Théorie non linéaire de la résistance postcritique des grandes poutres en caisson raidies. Mémoires de l'A.I.P.C. Vol. 31-II.

Résumé

Le comportement postcritique des panneaux comprimés des grandes poutres en caisson raidies est fortement influencé par la flèche initiale de ces panneaux. Une campagne de mesures sur des panneaux d'un grand viaduc métallique a montré que la flèche initiale à considérer peut être prise égale à l'épaisseur de la tôle.

Zusammenfassung

Das überkritische Verhalten zusammengedrückter Felder der grossen ausgesteiften Kastenträger wird stark durch die anfängliche Pfeilhöhe dieser Felder beeinflusst. Eine Messreihe an Feldern eines grossen stählernen Viadukts hat gezeigt, dass die in Betracht zu ziehende anfängliche Pfeilhöhe der Blechdicke gleichgesetzt werden kann.

Summary

The postbuckling behaviour of compressed panels of large stiffened box girders is seriously influenced by the initial camber of the panels. A serie of measurements on panels of a large viaduct in steel construction has shown that the initial camber to be considered can be equalized to the thickness of the sheet.

Leere Seite
Blank page
Page vide