Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 111 (1985)

Heft: 1-2

Artikel: Panneaux à âme mince plissée comportement et résistance à des forces de cisaillement

Autor: Gachon, Hervé / Zoratti, Jean-Carlos

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75604

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: 15.07.2025

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

Panneaux à âme mince plissée comportement et résistance à des forces de cisaillement

par Hervé Gachon et Jean-Carlos Zoratti, Paris

Résumé

Cette étude porte sur l'analyse du comportement et de la résistance mécanique de panneaux rectangulaires à âme mince plissée en acier.
Elle examine les aspects mécaniques du flambage des parois minces profilées, plissées ou ondulées, comparés à ceux d'une paroi plane.
Elle présente une analyse expérimentale portant sur trois modèles, chacun constitué de deux panneaux identiques à âmes mince plissée, sollicités au cisaillement.
Elle montre, sur les modèles essayés, l'existence de deux familles de modes de flambage :
- une instabilité « interplis » suivie d'un comportement postflambage stable faiblement non linéaire,
- une instabilité « transplis » suivie d'un claquage, avec un comportement postflambage instable et une formation de charnière plastique.
  Le mécanisme de ruine reste difficile à analyser.

Introduction

Dans cette étude, nous nous proposons de caractériser le comportement et la résistance mécanique de panneaux rectangulaires à âme mince plissée en acier. Nous illustrons ce propos par une analyse expérimentale en laboratoire portant sur trois modèles identiques soumis à des forces de cisaillement.
Cette analyse doit nous permettre de valider un modèle de simulation numérique du comportement par « Eléments Finis », adapté à ce type de structure.
Cette recherche est développée au sein du Laboratoire de Mécanique des Structures de l'Ensam-Paris en collaboration avec les Laminoirs de Strasbourg.

1. Définition — conception

Nous nous intéressons ici aux structures à paroi mince porteuse, utilisées dans différents secteurs de l'industrie, en construction métallique, se présentant sous l'aspect de panneaux rectangulaires à plan moyen.
Un tel panneau est généralement constitué d'une âme plane mince, parfois nervurée par des raidisseurs intermédiaires soudés, et délimitée par un cadre raidisseur peu déformable.
L'utilisation d'une âme profilée, plissée ou ondulée, permet de mettre en œuvre des parois d'épaisseur plus faible et d'éviter les inconvénients du soudage, tels que défauts géométriques et contraintes résiduelles.
Par rapport à une âme plane nervurée et pour une même rigidité en mode transversal, on peut ainsi réduire notablement l'épaisseur de l'âme et le poids du panneau.

La surface moyenne d'une âme plissée ou ondulée est engendrée par une génératrice rectiligne en translation, s'appuyant sur un profil transversal type de caractère répétitif, défini le long d'un axe rectiligne de référence. Le profil est caractérisé le long de l'axe de référence par des paramètres de forme (courbure), d'amplitude et de pas.
De tels panneaux constituent des parois de structure pouvant remplir les fonctions mécaniques d'une cloison porteuse ou de contreventement ou celles d'une dalle de plancher ou de couverture.

2. Aspects mécaniques

Comme nous l'avons laissé entendre précédemment, de tels panneaux sont soumis à des charges pouvant aussi bien être des sollicitations s'exerçant dans le plan moyen de l'âme, que des pressions ou des forces localisées s'exerçant transversalement.
Nous nous intéressons ici aux sollicitations, s'exerçant dans le plan moyen de l'âme, génératrices d'instabilités géométriques de type flambage avec claquage.
Dans le cas d'un panneau à âme mince élancée parfaitement plane, le seuil de flambage est un point de bifurcation sur un trajet secondaire à branches symétriques stables. La transformation géométrique, accompagnant le flambage, est contrôlée par la rigidité de membrane de la plaque. Le comportement postflambage est stable jusqu'à un seuil limite de chargement auquel correspond un changement de stabilité du système suivi d'une divergence de l'équilibre. Cet état limite est consécutif à l'apparition et au développement d'une zone de déformation plastique non contenue dans l'âme, définissant un mécanisme de ruine.

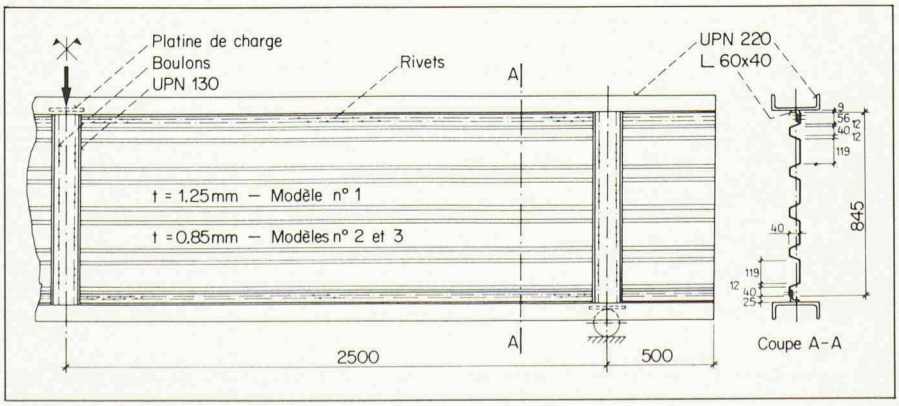

Figure 1. — Poutres d'essais ayant différentes épaisseurs d'âme.

Dans le cas d'une coque cylindrique ouverte ou fermée, le comportement postflambage est instable. Le seuil de flambage est un point de bifurcation sur la branche instable d'un trajet secondaire non symétrique. La rigidité de membrane ne peut se manifester pour contenir la transformation géométrique accompagnant le flambage. A force imposée, la ruine se produit par effondrement.
Dans le cas d'une âme profilée, plissée ou ondulée, le comportement postflambage, au voisinage du seuil critique, s'apparente à celui d'une coque mince cylindrique ouverte. Il bifurque sur la branche instable d'un trajet secondaire non symétrique. En s'écartant du point de bifurcation, cette branche du trajet secondaire change de stabilité et les équilibres deviennent stables. Une certaine rigidité de membrane se manifeste et contient le mode de déformation postcritique. Pour un chargement à force imposée, l'instabilité au seuil de flambage se manifeste par un claquage introduisant une transformation géométrique finie avec formation de charnières plastiques et libération d'une fraction du potentiel élastique de la structure. A l'issue d'un claquage, la configuration d'équilibre est de nouveau stable.
Pour un chargement à force imposée croissante, le comportement postcritique d'une âme profilée, plissée ou ondulée, est marquée par une succession de claquages jusqu'à un point limite de chargement auquel correspond un changement de stabilité du système suivi de l'apparition d'un mécanisme de ruine complexe.
Le mode d'instabilité au flambage dépend évidemment du profil de l'âme et du chargement. Il peut être soit simple, local ou global, soit complexe combinant deux modes, local et global. Le premier cas peut être traité, soit par une analyse locale, en plaque ou en coque, soit par une analyse globale en plaque orthotrope. Le second cas nécessite une analyse explicite non linéaire du comportement avec recherche des seuils critiques.

3. Comportement et résistance à des forces de cisaillement d'une âme mince plissée. Analyse expérimentale

3.1 *Définition des modèles expérimentaux (fig. 1)*

L'analyse expérimentale a porté sur trois modèles, chacun constitué de deux panneaux identiques. L'âme mince plissée est un profilé de type LS40-845 (amplitude: 40 mm, largeur: 845 mm) produit par les Laminoirs de Strasbourg, d'une épaisseur de 1,25 mm pour le modèle nº 1 et de 0,85 mm pour les modèles nº 2 et nº 3. Les deux panneaux sont constitués par le même profilé. Les génératrices du profilé sont disposées longitudinalement. Le cadre des panneaux est réalisé par deux membrures longitudinales, supérieure et inférieure, et par des raidisseurs transversaux disposés respectivement dans la section droite médiane et dans les sections droites de rive du profilé. La force transmise par le vérin est appliquée dans la section droite médiane dans le plan moyen de l'âme. Les appuis sont disposés sous les raidisseurs de rive. Etant donné la rigidité du cadre, l'âme est essentiellement sollicitée par des forces de cisaillement. Les conditions d'appuis lui imposent un déplacement transversal nul sur son contour.

La limite d'élasticité de l'âme est de 290 MPa dans le sens longitudinal et de 310 MPa dans le sens transversal. Le module de Young est en moyenne de 200 GPa et le coefficient de Poisson de 0,275.

3.2 *Analyse du comportement avant flambage*

La mesure de la flèche au centre dans le plan de la section droite médiane du modèle montre une évolution monotone du trajet d'équilibre jusqu'au point critique de flambage à 210 kN pour le modèle nº 1 (fig. 2, courbes a) et 100 kN pour les modèles nº 2 et nº 3 (fig. 2, courbes b). La mesure du déplacement transversal montre en certains points de l'âme, notamment au voisinage de l'appui et au voisinage du point d'application de la charge, l'apparition d'une instabilité locale «interplis» de type flambage de plaque-membrane à environ 150 kN pour le modèle nº 1, 60 kN pour le modèle nº 2 et seulement 30 kN pour le modèle nº 3.

Ces instabilités se traduisent par des points d'inflexion plus ou moins perceptibles sur les projections du trajet d'équilibre de chaque modèle (fig. 4). Elles ne nuisent pas à la stabilité globale de la structure. La figure 4 définit la déformée transversale du modèle nº 1.

L'observation de la déformée transversale de l'âme fait apparaître une extension progressive de l'instabilité locale dans un domaine contenu dans les larges bandes planes du profil. Cette extension se dessine sous la forme d'ondulations, faiblement prononcées, régulièrement espacées et inclinées à 45° sur les génératrices du profil. Le mode d'instabilité locale observé est bien celui d'une plaque soumise à un état plan de contrainte de cisaillement (fig. 5).

L'exploitation de la mesure des déformations, à l'aide de jauges d'extensométrie,

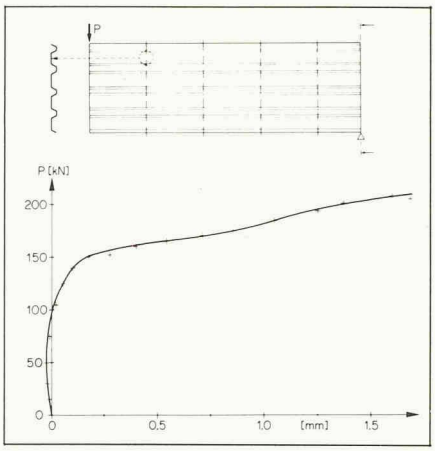

Figure 3. — Déplacement transversal au point indiqué (diagramme pour le modèle nº 1).

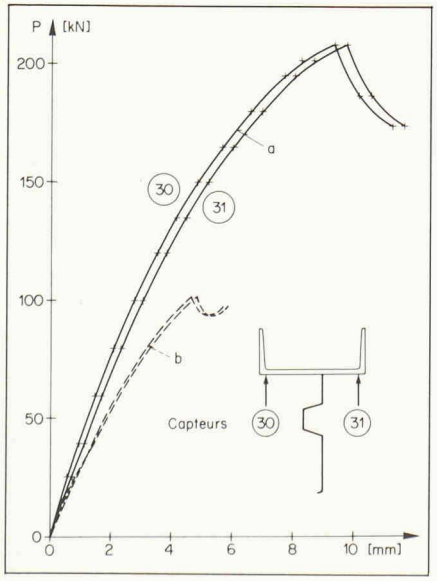

Figure 2. — Flèche au centre dans le plan de la section droite médiane: courbes a) modèle nº 1: t = 1,25 mm; courbes b) modèles nº 2 et nº 3: t = 0,85 mm.

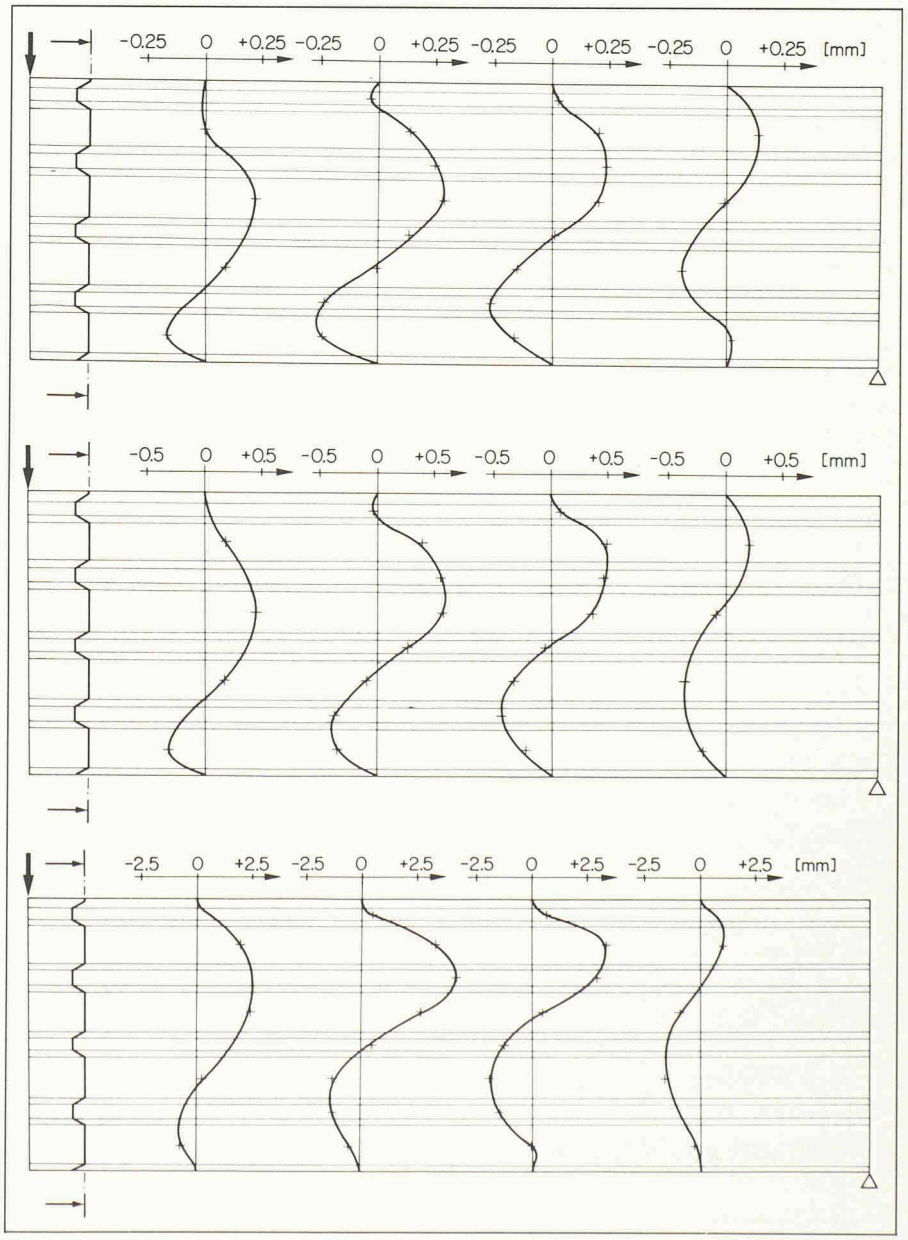

Figure 4. — Déformée transversale de l'âme du modèle nº 1 sous différentes charges: a) 100 kN b) 150 kN c) 213 kN.

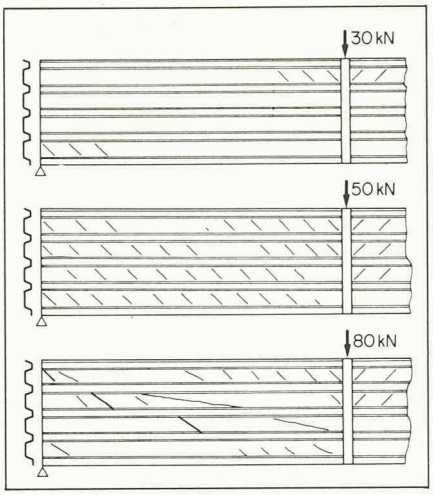

Figure 5. — Mode d'instabilité locale du modèle nº 3 sous différentes charges.

montre que, dans une section droite de l'âme, la distribution des contraintes de cisaillement reste homogène et régulière sur toute la hauteur du profil et ce jusqu'au seuil de flambage avec claquage (fig. 6). La représentation du tenseur des contraintes dans ses axes principaux montre une excellente homogénéité dans sa distribution sur toute la hauteur du profil (fig. 7).

Ces observations tendent à prouver que, sur le plan du calcul des contraintes, un tel profilé peut être considéré, avec une bonne approximation, comme ayant un comportement peu sensible aux effets des non linéarités géométriques.

3.3 *Flambage. Comportement postflambage*

Sur chacun des modèles essayés, le flambage du panneau présente le même caractère.

A force imposée, il est suivi d'un claquage avec formation d'une ou de plusieurs charnières plastiques traversant un ou plusieurs plis.

Sur le trajet d'équilibre postcritique, la résistance décroît, passe par un minimum et croît jusqu'à un nouveau seuil de flambage. Il convient de noter que sur les modèles essayés ce minimum est voisin du seuil initial de flambage. Ceci signifie d'une part que l'importance du claquage sur le plan énergétique reste modéré, et d'autre part que ce profil d'âme est peu sensible aux défauts géométriques.

Comme le montre la figure 8, correspondant à l'essai du modèle nº 3, un tel trajet d'équilibre se reproduit successivement jusqu'à l'apparition d'un mécanisme de ruine dans l'un des panneaux.

3.4 *Mécanisme de ruine*

Le mécanisme de ruine n'apparaît pas de façon évidente et sa modélisation reste d'une grande complexité (fig. 9).

Bibliographie

HLAVAČEK V., *Shear instability of orthotropic panels.* Acta Technica Csav Nº 1, 1968.

HLAVAČEK V., *The effect of support conditions on the stiffness of corrugated sheets subjected to shear.* Acta Technica Csav Nº 2, 1972.

EASLEY J.T., MCFARLAND D.E., *Buckling of ligth-gage corrugated metal shear diaphragms.* Journal of the Structural division ASME, ST7, July 1975.

EASLEY J.T., *Bucking formulas for corrugated metal shear diaphragms.* Journal of the Structural Division ASME, ST7, July 1975.

ARIBERT J.M., ZIDAN M., *Etude du coefficient de flexibilité d'un panneau nervuré sollicité en cisaillement.* Construction métallique Nº 3, 1978.

GACHON H., LE HAY T., LESENNE Y., ZORATTI J.C., *Comportement et résistance à l'effort tranchant de panneaux à âme mince plissée.* Rapport d'essais du Laboratoire de mécanique des structures de l'Ensam-Paris, juillet 1984.

4. Conclusion

L'instabilité locale observée dans les larges bandes du profilé est contenue.

Le seuil d'instabilité locale peut être évalué avec une approximation satisfaisante par le calcul de la contrainte de cisaillement critique τ_{cr} dans une large bande plane du profilé, articulée sur ses bords longitudinaux.

L'instabilité globale est un flambage suivi d'un claquage avec formation de charnière plastique traversant les plis et modification du profil de l'âme.

L'évaluation du seuil de flambage avec claquage du panneau nécessite une analyse non linéaire explicite du comportement à l'aide d'un modèle de calcul par «Eléments finis» adaptés à ce type de profil.

Au stade de la conception:

a) en agissant sur les paramètres du profil,
- il est intéressant de ramener le seuil d'instabilité local au voisinage du seuil d'instabilité global,
- il est nécessaire de réduire l'importance du claquage en limitant son domaine d'extension et en atténuant la chute de résistance postcritique.

b) Le seuil de flambage avec claquage doit être considéré comme état limite ultime.

c) Le calcul des contraintes de membrane dans le profilé peut être effectué, avec une bonne approximation, sans tenir compte des non linéarités géométriques, sur le trajet fondamental d'équilibre.

Dans ces conditions, une telle âme profilée est peu sensible aux effets des imperfections géométriques.

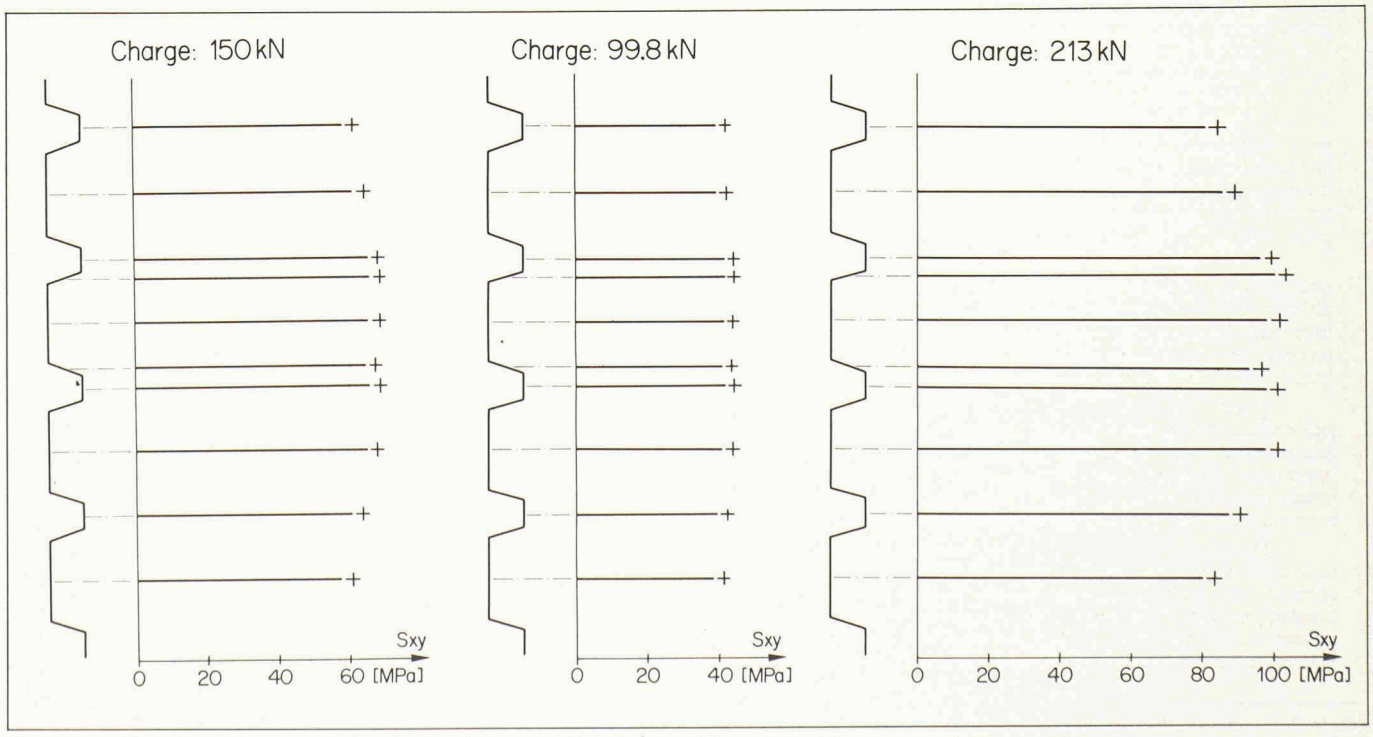

Figure 6. — Distribution des contraintes de cisaillement sur la hauteur de l'âme du modèle nº 1 sous différentes charges.

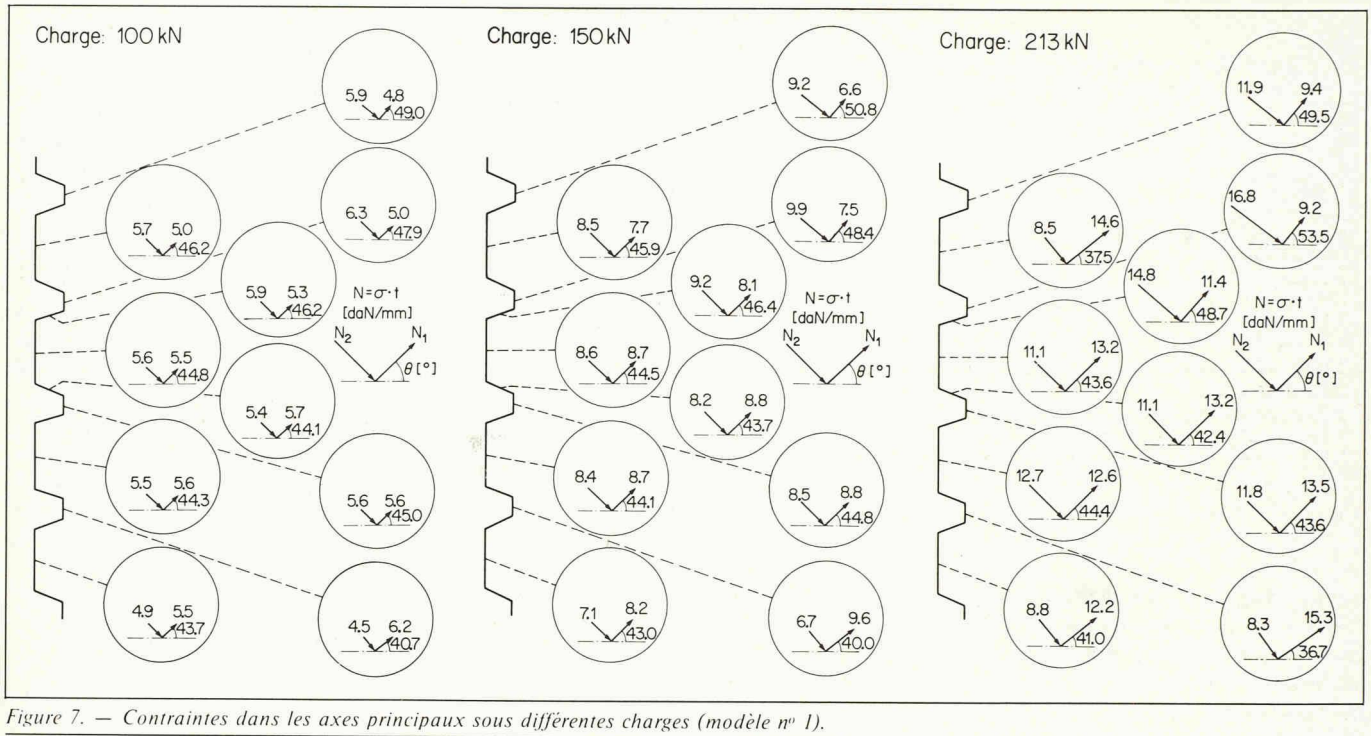

Figure 7. — Contraintes dans les axes principaux sous différentes charges (modèle n° 1).

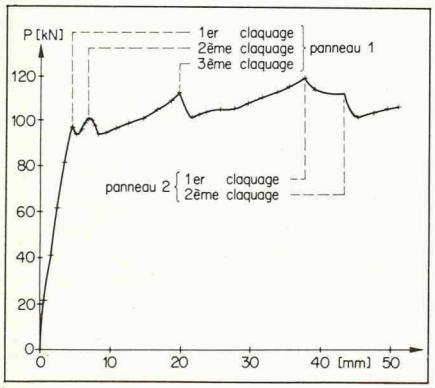

Figure 8. — Evolution de la flèche centrale au niveau de l'âme du modèle n° 3.

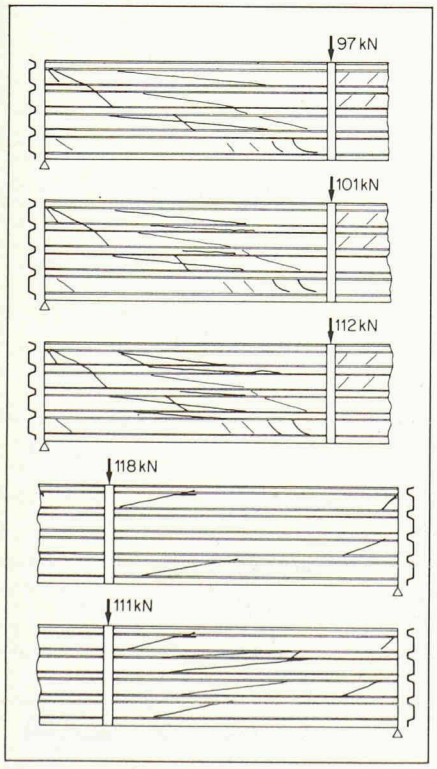

Figure 9. — Mécanisme de ruine du modèle n° 3.

Adresse des auteurs:
Hervé Gachon
professeur à l'Ecole nationale supérieure d'Arts et métiers
151, boulevard de l'Hôpital
75640 Paris Cedex 13

Jean-Carlos Zoratti
ingénieur à la Société d'études et de recherches de l'Ecole nationale supérieure d'Arts et métiers
151, boulevard de l'Hôpital
75640 Paris Cedex 13

Trapezoidally corrugated girder webs

Shear buckling. Patch loading

by Allan Bergfelt, Bo Edlund and Luis Leiva, Göteborg

Introduction

Since 1961 welded steel I-girders with extremely thin, flat webs ($h/t \simeq 220$) without any intermediate stiffener, neither vertical nor horizontal, have been manufactured as a standard product in Sweden. The use of these girders increased quickly during the 1960's and continued during the first years of the 1970's, so that they dominated over rolled and ordinary welded girders for roof structures with light loads.

For the girders with slender, flat webs the design criterion was not based on the critical shear stress τ_{cr} but on the experimental maximum stress τ_F. This failure stress may be fairly well given by an extension and generalization of von Kármán's approximation to $\tau_F = \sqrt{\tau_y \cdot \tau_{cr}}$. For these slender girders the stress τ_F is clearly smaller than the yield stress τ_y.

In the mid 60's some production of girders with trapezoidally corrugated webs started. If the flat parts of the web were designed so wide that for that part in shear $\tau_{cr} \simeq \tau_y$, it was possible to calculate the web with adequate safety only from

Notations

- a distance between hinges of the failure pattern under patch loading
- f flange width
- c 'non-effective' width, see Fig. 10
- b, d, q, s, t web dimensions, see fig. at Eq. (6)
- h girder depth
- k buckling coefficient; k_u global buckling coefficient
- p_g "global buckling product" (coefficient)
- p proportion of stress combined with patch loading stress, see Eq. (10)
- D_x, D_y plate stiffness in bending, see Eq. (6); I_y moment of inertia
- N_{cr} critical shear force for global buckling; E modulus of elasticity
- P patch load; V shear load; M bending moment
- σ_y yield stress (σ_y^w for the web material; σ_y^{fl} for the flange material)
- τ shear stress; τ_d design shear stress
- τ_{cr} critical (bifurcation) shear stress
- τ_g global buckling stress
- τ_F experimental failure stress, cf. Eq. (1)
- $\hat{\tau}$ maximum shear stress defined by the interaction formula Eq. (11)