

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

Autor(en): **Gachon, Hervé / Zoratti, Jean-Carlos**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **111 (1985)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75604>

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.

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

par Hervé Gachon et Jean-Carlos Zoratti, Paris

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 «Éléments 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.

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.

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.

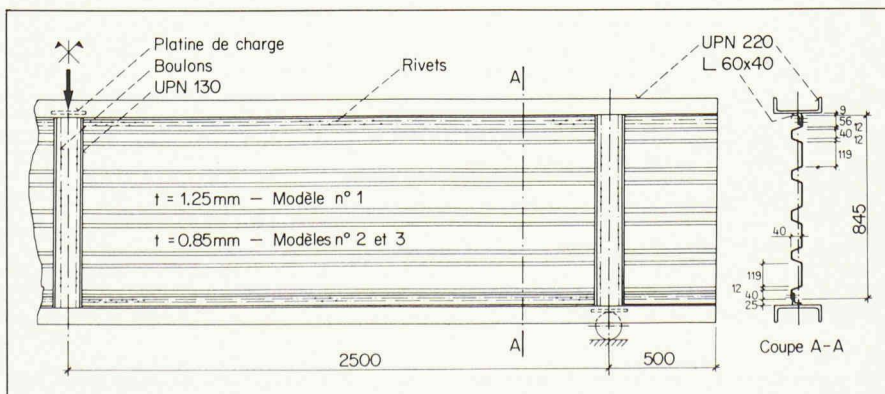


Figure 1. — Poutres d'essais ayant différentes épaisseurs d'âme.

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 n° 1 et de 0,85 mm pour les modèles n° 2 et n° 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

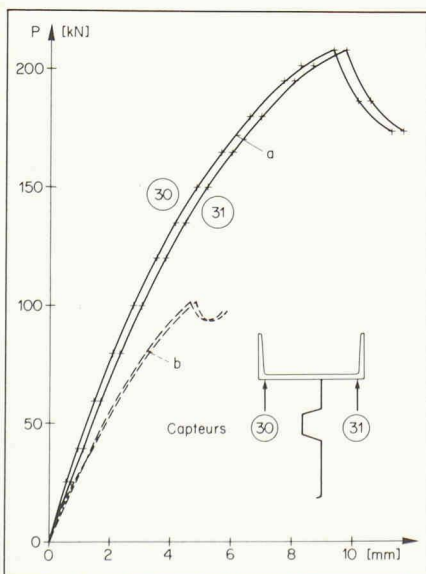


Figure 2. — Flèche au centre dans le plan de la section droite médiane: courbes a) modèle n° 1: $t = 1,25$ mm; courbes b) modèles n° 2 et n° 3: $t = 0,85$ mm.

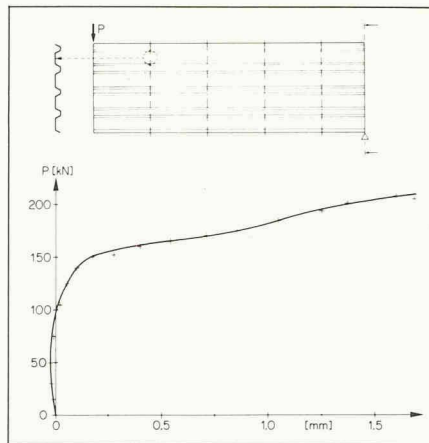


Figure 3. — Déplacement transversal au point indiqué (diagramme pour le modèle n° 1).

n° 1 (fig. 2, courbes a) et 100 kN pour les modèles n° 2 et n° 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 n° 1, 60 kN pour le modèle n° 2 et seulement 30 kN pour le modèle n° 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 n° 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,

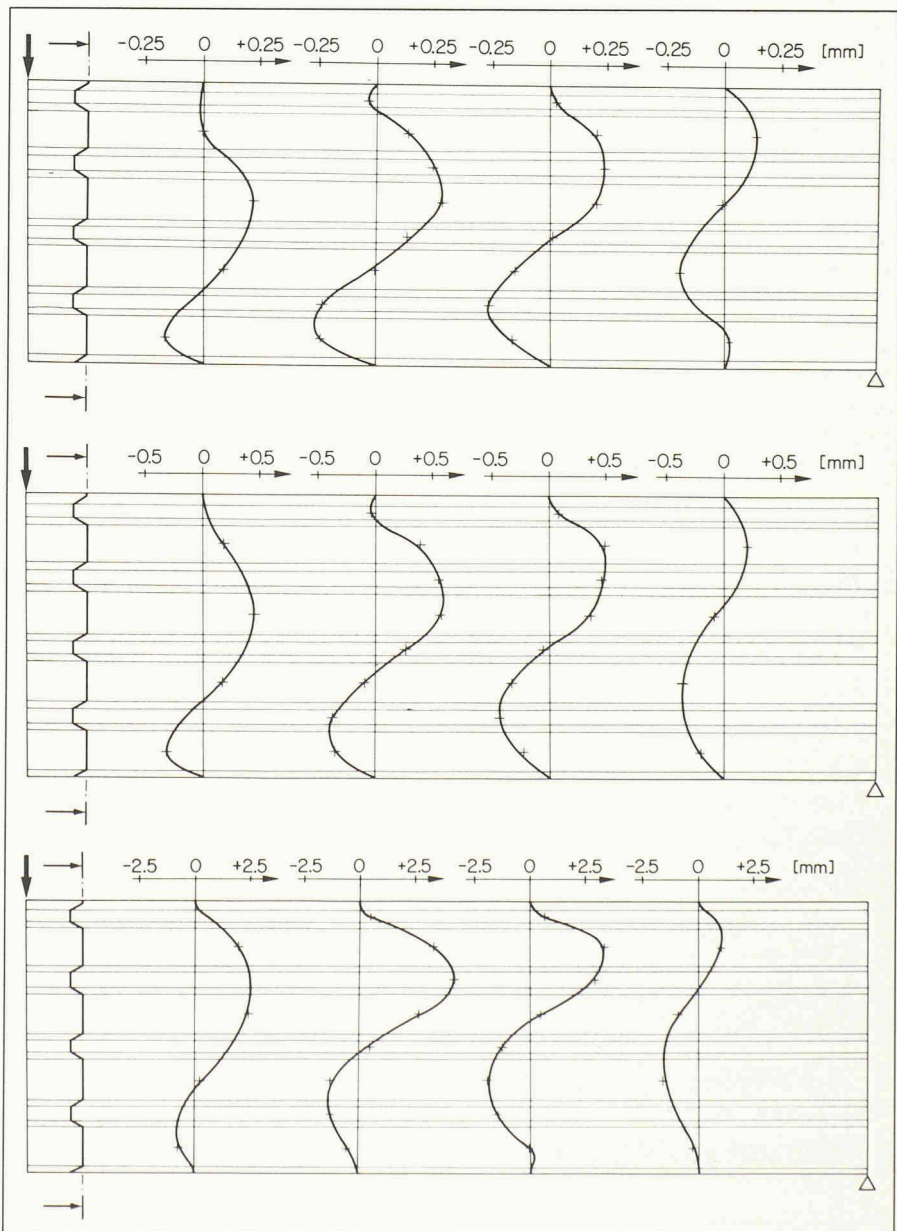


Figure 4. — Déformée transversale de l'âme du modèle n° 1 sous différentes charges: a) 100 kN b) 150 kN c) 213 kN.

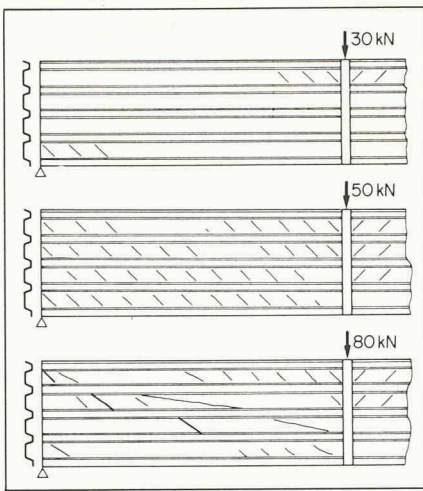


Figure 5. — Mode d'instabilité locale du modèle n° 3 sous différentes charges.

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 plu-

sieurs 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 n° 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 N° 1, 1968.

HLAVAČEK V., *The effect of support conditions on the stiffness of corrugated sheets subjected to shear*. Acta Technica Csav N° 2, 1972.

EASLEY J.T., McFARLAND D.E., *Buckling of light-gage corrugated metal shear diaphragms*. Journal of the Structural Division ASME, ST7, July 1975.

EASLEY J.T., *Buckling 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 N° 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 :

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

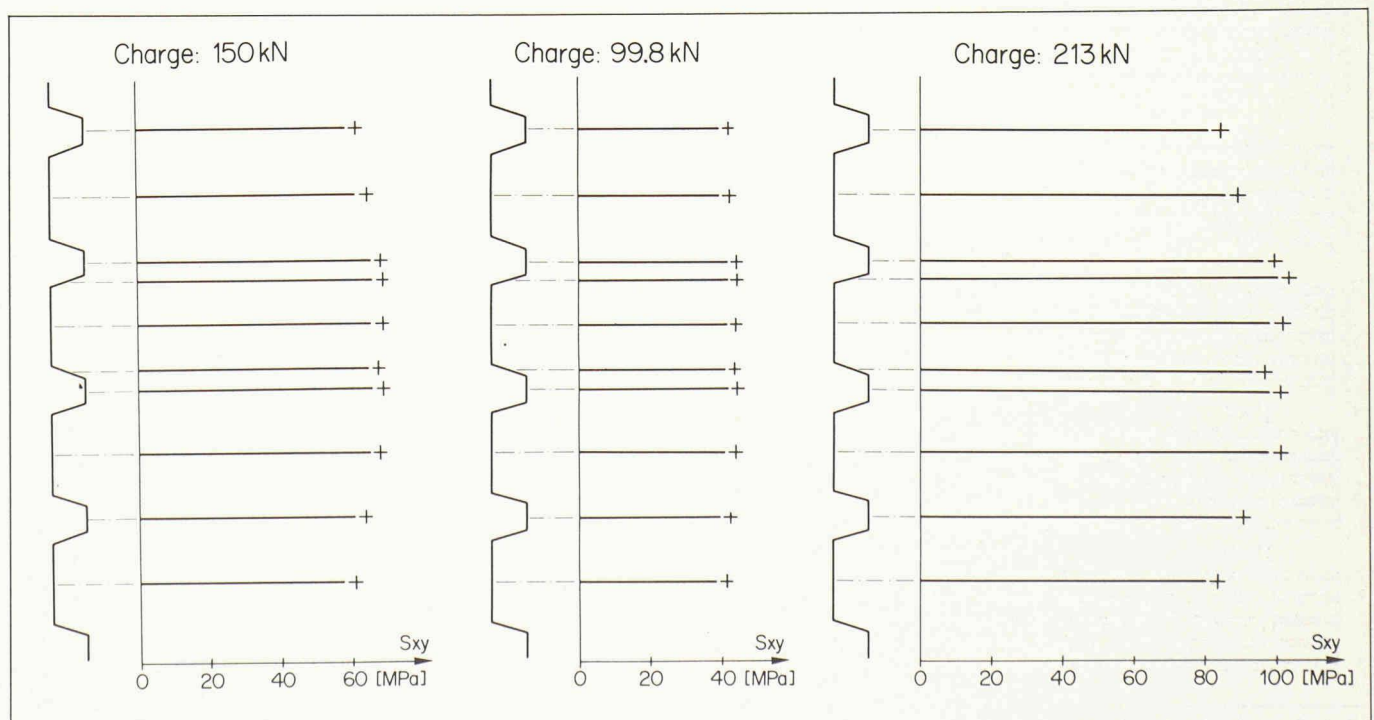


Figure 6. — Distribution des contraintes de cisaillement sur la hauteur de l'âme du modèle n° 1 sous différentes charges.

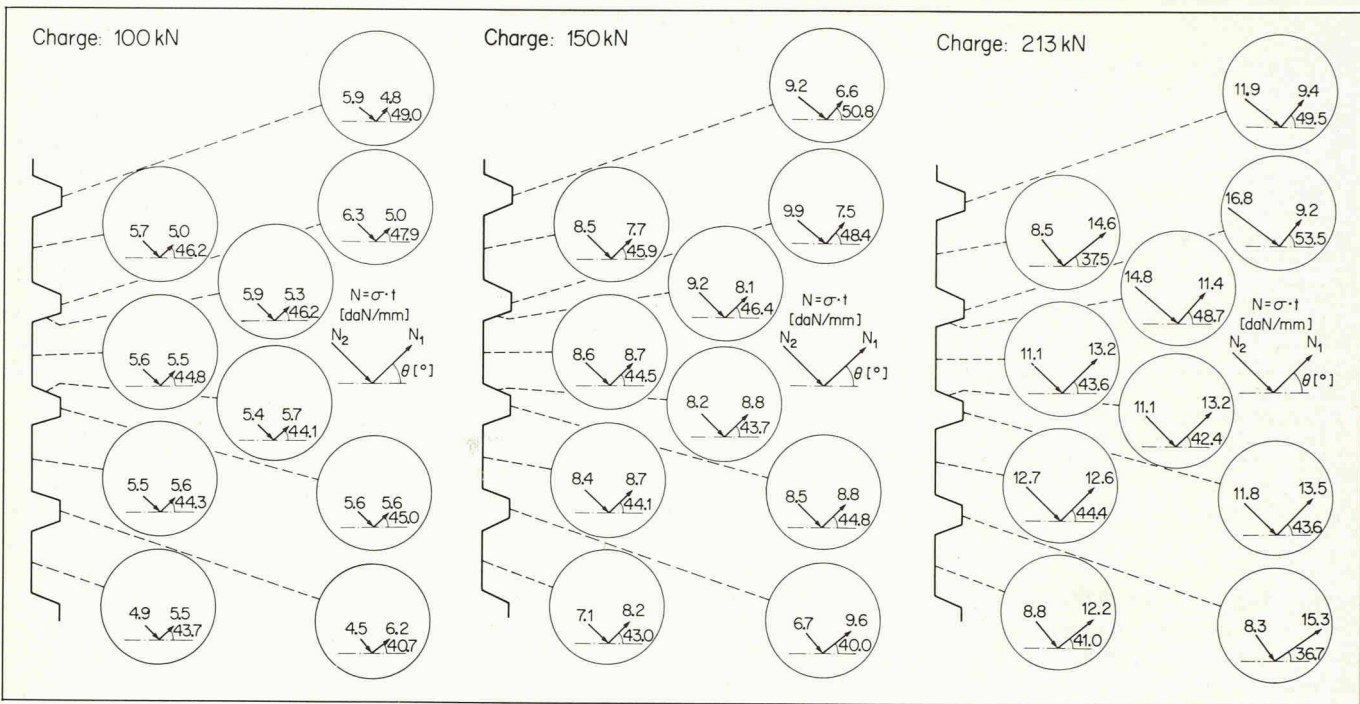


Figure 7. — Contraintes dans les axes principaux sous différentes charges (modèle n° 1).

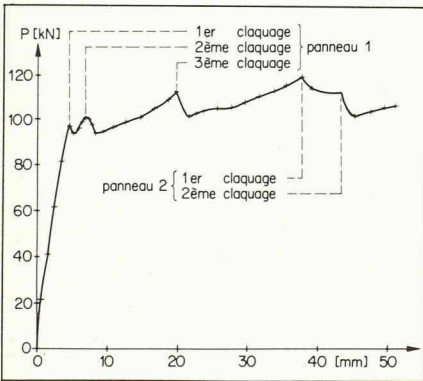


Figure 8. — Evolution de la flèche centrale au niveau de l'âme du modèle n° 3.

Adresse des auteurs :

Hervé Gachon
 professeur à l'École 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'École 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 ($h/t \approx 220$) 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 $\tau_F = \sqrt{\tau_y \cdot \tau_{cr}}$. 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 $\tau_{cr} \approx \tau_y$, 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_v 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^f 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)
- $\tilde{\tau}$ maximum shear stress defined by the interaction formula Eq. (11)

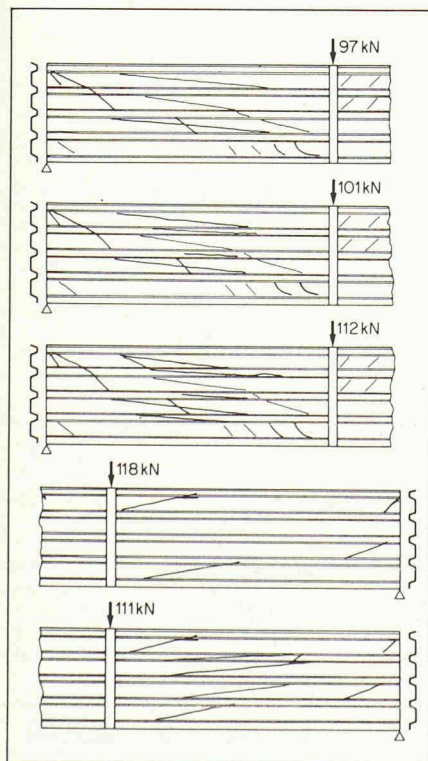


Figure 9. — Mécanisme de ruine du modèle n° 3.