



## Méthodes de calcul alternatives pour les diaphragmes métalliques

### Introduction

Les diaphragmes métalliques formés à froid sont composés de tôles ou de panneaux d'acier profilé attachés ensemble et aux éléments de charpente afin de résister aux efforts de cisaillement en plan.

Le calcul de la résistance des diaphragmes des toits, des murs et des planchers intervient lors de la conception de bâtiments résistant aux forces dues au vent, aux séismes et autres charges latérales. Les panneaux de toiture et de mur utilisés à l'intérieur d'un bâtiment sont ordinairement conçus uniquement pour transmettre à la charpente les composantes des charges perpendiculaires à la surface. La résistance au cisaillement en plan de ces systèmes n'a pas toujours été pleinement utilisée en raison du manque de données et de méthodes de calcul reconnues pour les diaphragmes, dont les configurations disponibles sont nombreuses.

### Normes de calcul

Il n'existe aucune norme au Canada gouvernant le calcul des diaphragmes métalliques. Le concepteur doit compter sur les méthodes de calcul actuellement en vigueur, des analyses rationnelles ou des essais. Certains fabricants de tabliers en acier publient des tableaux de données pour le calcul des diaphragmes, à l'usage des concepteurs. Un problème se pose, toutefois, si le concepteur envisage un assemblage qui n'est pas typique et pour lequel il n'existe aucune valeur publiée.

### Méthodes analytiques

Plusieurs méthodes d'analyse et de calcul des diaphragmes ont été développées au cours des quatre dernières décennies. Ces méthodes varient en complexité et dans le degré d'expérimentation employé dans leur formulation. La résistance et la rigidité sont deux aspects du comportement d'un diaphragme qui doivent être considérés dans une méthode analytique. La résistance est habituellement déterminée en fonction de la rupture des fixations; toutefois, on doit également considérer les ruptures dues au flambage dans le cas d'éléments de revêtement peu profonds.

Toutes les méthodes analytiques comprennent des données empiriques déterminées à partir d'essais, et qui sont à la base de leur formulation.

Les diverses méthodes analytiques publiées ont des complexités variant d'équations mathématiques relativement simples à des analyses complexes et non linéaires par éléments finis. Les méthodes les plus courantes au Canada sont décrites ci-dessous.

### Méthode ICTAB/Tri-Services

La méthode « Tri-Services »<sup>1</sup>, développée par S. B. Barnes et associés, est basée sur une série d'essais à pleine échelle qui ont mené à l'élaboration d'équations empiriques pour la résistance et la rigidité. L'ICTAB a adopté cette méthode dans son premier bulletin rédigé en 1972 et dans l'édition actuelle B13-91, « Design of Steel Deck Diaphragms »<sup>2</sup>.

Comme cette méthode a une base empirique, elle n'indique pas le mode de défaillance du diaphragme et limite les types de fixations inclus. De plus, aucun facteur de sécurité explicite n'est énoncé, quoiqu'on a supposé une valeur typique de 2,5.

Les limites suivantes s'appliquent à cette méthode:

- Les joints entre le tablier et la charpente d'appui doivent être soudés et les soudures doivent avoir un diamètre efficace minimal de 12 mm (1/2 po).
- Les joints de chevauchement latéral être poinçonnés ou soudés en filet.
- L'épaisseur des tôles doit être au moins 0,76 mm (0,030 po, calibre 22). L'épaisseur maximale est de 1,52 mm (0,060 po, calibre 16).
- Chaque unité de tablier doit être attachée à l'élément de charpente à l'aide d'au moins deux soudures.
- L'espacement maximal des fixations aux joints de chevauchement latéral doit être de 0,9 m (3 pi).
- Les essais originaux ont été basés uniquement sur des assemblages horizontaux.

La méthode présente les avantages suivants:

- Il est possible de calculer la résistance et la rigidité des tôles individuelles. Ceci permet à un fabricant de publier des tableaux pour chaque tablier.
- L'orientation du tablier est sans importance.
- Cette méthode peut être utilisée avec des assemblages remplis de béton.
- On peut facilement informatiser cette méthode de calcul à la main.

La méthode Tri-Services est devenue la méthode la plus populaire au Canada, dû en partie à sa promotion par l'ICTAB, mais également parce qu'elle convient aux pratiques de construction courantes au Canada. Les essais effectués au Canada au fil des années ont confirmé la validité de cette méthode pour les diaphragmes soudés et poinçonnés.

### Méthode du Steel Deck Institute (SDI)

La méthode du SDI, développée par Dr L. D. Luttrell, est basée sur des analyses et des essais effectués à l'Université de West Virginia. La méthode est facile à utiliser et considérée

comme une méthode de « calcul à la main ». La première édition de la méthode du SDI a été publiée en 1981 et la seconde<sup>3</sup>, en 1987.

Dr Luttrell a déterminé que l'espacement des pannes, l'épaisseur du tablier, les types de fixations et la disposition des fixations influencent le plus le comportement du diaphragme. Les défaillances dans la plupart des diaphragmes munis de peu de fixations ne sont pas dues au flambage mais au cisaillement des fixations, à une défaillance due à la pression de contact de la tôle autour des fixations ou au gondolage dû au cisaillement.

Trois modes de défaillance possibles limitent la résistance ultime du diaphragme:

- a. Rupture des fixations dans les éléments de rive.
- b. Rupture à l'intérieur des joints de chevauchement latéral.
- c. Rupture des fixations aux extrémités des panneaux.

Cette méthode flexible a été éprouvée par essais et permet le calcul de la résistance et de la rigidité. On peut inclure n'importe quel type de fixation, ou varier les types, si les caractéristiques de résistance et de rigidité sont connues. Elle est très utilisée aux États-Unis.

## Recommandations de calcul européennes

Les recommandations européennes pour le calcul des contraintes pour les parois des charpentes en acier ont été publiées par la Convention Européenne de la Construction Métallique<sup>4</sup>. L'approche générale est bien décrite dans le livre de J. M. Davies et E. R. Bryan, « Manual of Stressed Skin Diaphragm Design »<sup>5</sup>.

Il s'agit ici d'une autre méthode de calcul à la main. Le calcul du diaphragme est abordé de façon détaillée et compréhensible, et chaque aspect de la résistance et de la rigidité est étudié. Le concepteur peut ainsi discerner l'aspect le plus flexible du diaphragme et noter tout « maillon faible dans la chaîne ».

La méthode vise principalement les fixations mécaniques, bien que tout type de fixation peut être employé si l'on connaît ses caractéristiques de résistance. Les produits de tôle analysés dans cette référence sont de calibre léger et sont utilisés plus souvent comme revêtement que tablier. Ceci est un avantage pour les concepteurs lors de la détermination des capacités de diaphragme des revêtements muraux, quoique le travail exigé pour la construction des tabliers de toiture typiques en soit augmenté.

Cette méthode est très complète, et la résistance du diaphragme est basée sur la moindre résistance parmi les modes de défaillance suivants: rupture des joints, rupture de la tôle ou des butées d'ancrage, gondolage dû au cisaillement de la tôle, rupture des fixations reliant la tôle aux pannes, ou rupture en compression des éléments de rive. La flexibilité du diaphragme dépend de la distorsion du profilé, la déformation axiale des éléments de rive, la déformation due au cisaillement et la résistance des fixations.

Cette méthode a le désavantage de dépendre de l'orientation du profilé. Le concepteur doit calculer la capacité du diaphragme pour chaque projet et ne peut pas utiliser les tableaux « génériques » disponibles avec les méthodes Tri-Services et du SDI.

## Essais

Il est toujours possible d'avoir recours aux essais pour déterminer la capacité d'un diaphragme. L'American Iron and Steel Institute a publié une méthode d'essais standard pour les diaphragmes métalliques<sup>6</sup>, et il y a aussi la norme ASTM E455<sup>7</sup>.

## Analyse par éléments finis

On peut représenter le comportement d'un diaphragme de cisaillement à l'aide d'une analyse non linéaire par éléments finis ou d'une analyse simplifiée. En général, ces outils d'analyse servent aux études paramétriques, à l'étude des effets associés aux ouvertures, au calcul des efforts exercés dans les fixations individuelles, ou à toute autre tâche particulière. Le temps de préparation de l'analyse en fait un outil de calcul peu pratique sauf en circonstances particulières.

## Sommaire

Les méthodes Tri-Services et du SDI sont des méthodes de calcul éprouvées pour la plupart des configurations de tablier en Amérique du Nord. Les avantages d'utiliser la résistance du diaphragme sont à considérer.

## Pour de plus amples renseignements

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les produits en tôle d'acier ou pour commander une publication de l'ICTAB, communiquez avec l'ICTAB à l'adresse indiquée ci-dessous.

## References

1. Seismic Design for Buildings, TM 5-809-10/NAV FAC P-355/AFM 88-3, Chap. 13, Départements de l'armée, de la marine et de l'armée de l'air, É.-U., avril 1973
2. Design of Steel Deck Diaphragms, ICTAB B13-91, Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment, Cambridge, Ontario, Canada, octobre 1991
3. Diaphragm Design Manual, Steel Deck Institute, Canton, Ohio, É.-U., 1987
4. European Recommendations for the Design of Light Gage Steel Members, Première édition, Convention Européenne de la Construction Métallique, Bruxelles, Belgique, 1987
5. Manual of Stressed Skin Diaphragm Design, J. M. Davies, E. R. Bryan, Granada Publishing, St. Albans, Herts, 1982
6. Cantilever Test Method for Cold-Formed Steel Diaphragms, American Iron and Steel Institute, Test Procedures for the Cold-Formed Specification, Washington, D.C., É.-U., 1989
7. Standard Method Static Load Testing of Framed Floor, Roof and Wall Diaphragm Construction for Buildings, ASTM E455, American Society for Testing and Materials, Philadelphie, PA, É.-U.