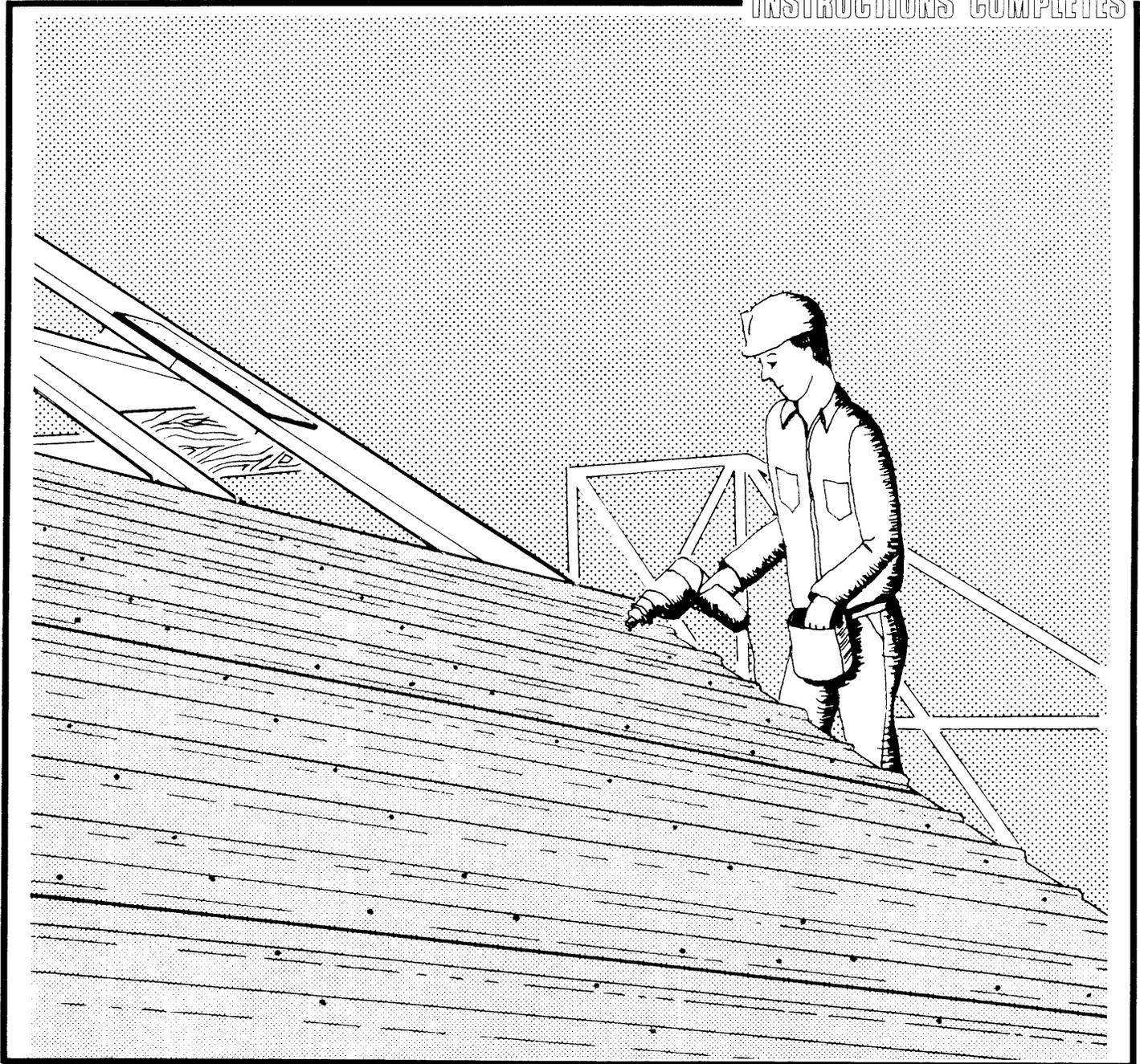


TOIT DIAPHRAGME EN TÔLE, SUR CHARPENTE A COLOMBAGES

INSTRUCTIONS COMPLÈTES



Le Service de plans canadiens prépare des plans et des feuillets indiquant comment construire des bâtiments agricoles, des bâtiments d'élevage, des entrepôts et des installations modernes pour l'agriculture canadienne.

Ce feuillet contient des détails sur les parties composantes d'une construction rurale ou d'une pièce de matériel agricole. On peut obtenir un exemplaire de ce feuillet en s'adressant à l'ingénieur des services provinciaux de vulgarisation de la région ou à un conseiller agricole.

TOIT DIAPHRAGME EN TÔLE, SUR CHARPENTE À COLOMBAGES

PLAN M-9310 NOUVEAU 86:01

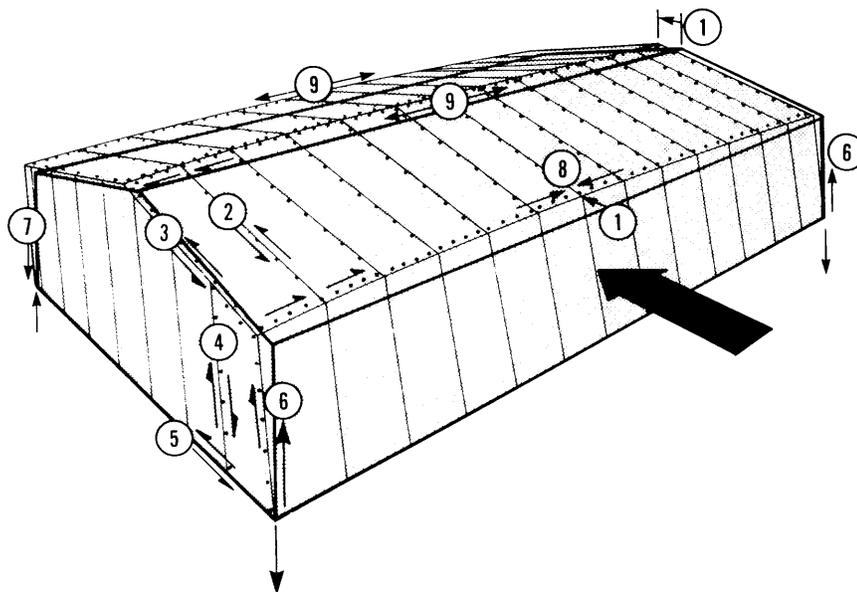
L'action du vent sur un bâtiment agricole type avec toit à deux versants produit des forces qui s'exercent perpendiculairement aux surfaces, ce qui peut entraîner le renversement des murs et le soulèvement du toit. Pour contrer ces forces de soulèvement, il faut assurer une bonne fixation du toit aux fermes, des fermes aux murs et des murs aux fondations; par contre, pour les forces de renversement, il faut avoir recours à d'autres moyens.

L'utilisation d'un contreventement reliant la ferme au mur permet de résister aux forces de renversement. On peut aussi construire des murs à ossature à poteaux calculés de façon à résister au vent. Une autre méthode utilisant un toit diaphragme en tôle est souvent les moins coûteux, de nombreux bâtiments agricoles étant pourvus d'un toit en acier.

Le présent feuillet est destiné principalement aux bâtiments agricole avec ossature murale à colombages où la résistance au renversement est presque nulle à la jonction colombage-fondation. Les spécifications incluses ne s'appliquent pas aux bâtiments avec ossature murale à

forces dues au vent. On trouvera dans le présent feuillet plus de détails sur les fixations supplémentaires nécessaires à l'obtention d'un système de contreventement efficace pour ensemble toiture/mur d'extrémité.

RÉSISTANCE DE L'ACIER ET DES VIS DE TOITURE Au Canada, l'épaisseur de l'acier pour les toits des bâtiments agricoles à ossature de bois est généralement de 0.3 mm (calibre 30, avant galvanisation), l'espacement des nervures étant de 150 à 200 mm. La résistance au cisaillement du toit peut être limitée soit par la résistance à la déformation de la tôle d'acier nervurée ou soit par la résistance au cisaillement des vis de périphérie de chaque tôle. Les panneaux d'acier dont les nervures espacées de 150 mm sont vissées aux pannes de toit, peuvent sécuritairement résister à un cisaillement de 3.7 kN/m de longueur et de largeur de panneau. Cependant certains panneaux ont des nervures plus profondes et espacées. Les panneaux dont l'espacement des nervures est de 300 mm peuvent être utilisés pour un toit diaphragme, seulement si un espacement de 300 mm des vis est sécuritaire aux bordures des panneaux et au périmètre du toit. Ceci est pour s'assurer que les contraintes de cisaillement ne sont pas trop élevées dans les panneaux à nervures espacées.



1. la déformation transversal dû au vent est exagérée pour illustrer comment le toit diaphragme fonctionne
2. les vis de bordure des panneaux transmettent les forces de cisaillement aux extrémités du toit.
3. les vis de toiture et les cales transmettent les forces à la ferme.
4. le revêtement mural transmet les forces des fermes aux murs d'extrémité.
5. assemblage revêtement-fondation pour transmettre le cisaillement
6. forces de soulèvement aux angles des fondations du côté au vent.
7. les forces qui s'exercent aux angles du côté sous le vent peuvent se diriger vers le haut ou vers le bas et sont moins critiques que 6.
8. la flexion du toit entraîne la compression des rives du côté au vent, et
9. traction des rives de côté sous le vent.

Figure 1 Un toit diaphragme en tôle transmet les forces de renversement dues au vent aux murs d'extrémité et aux fondations.

poteaux. Ceux-ci possèdent une plus grande résistance au renversement. Les tables et graphiques ci-inclus sont également applicables pour contreventer l'étage supérieur des bâtiments à deux ou trois étages avec ossature à colombages.

Pour une meilleure rigidité du toit, les panneaux de toiture et de revêtement mural doivent avoir leurs quatre bords fixés à l'ossature et au revêtement extérieur adjacent (Figure 1). Tout le bâtiment forme ainsi un ensemble rigide qui résiste aux

Des études ont démontré que le cisaillement admissible pour des vis de toiture à tête hexagonale de 4 x 25 mm (n° 8 x 1 po.) correspond à 0.45 kN par vis lorsqu'elles sont enfoncées dans les bordures de deux tôles d'acier de 0.3 mm d'épaisseur qui se chevauchent. Les vis sont plus solides que les clous et elles peuvent servir pour assujettir les bordures même s'il n'y a pas d'ossature de bois sous l'acier.

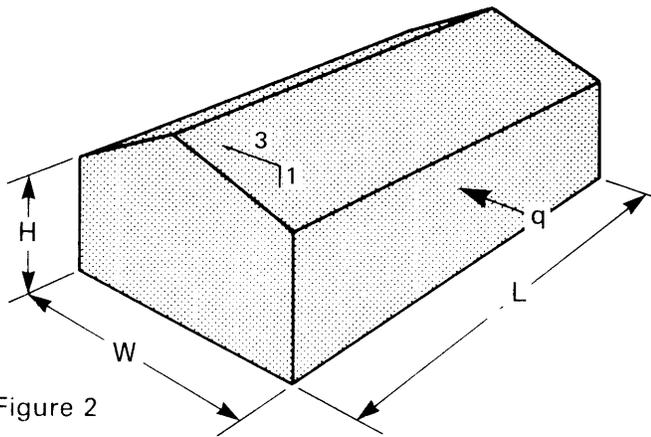


Figure 2

L'espacement des vis de bordure des tôles est fonction de l'espacement des nervures. L'espacement le long des nervures est fonction de l'espacement des pannes (la résistance au cisaillement des bordures peut être renforcée par 1 à 3 vis courtes entre chaque paire de pannes) Un joint de recouvrement avec espacement des vis de bordure de 150 mm a une résistance au cisaillement à peu près égale à celle de l'acier de 0.3 mm d'épaisseur (calibre 30).

CALCUL Les pressions de vent pour les diverses localités canadiennes et les règles de calcul des forces dues au vent pour diverses configurations de bâtiment sont indiquées dans le Supplément du Code national du bâtiment du Canada 1985. Dans le cas des bâtiments agricole à faible occupation humaine, le Code canadien de construction des bâtiments agricoles 1983 autorise l'utilisation de pressions de vent horaires de 1/10, suivant les valeurs indiquées au Supplément.

Dans le cas des bâtiments agricoles rectangulaires avec murs à ossature à colombages et toits à deux versants (Figures 2 et 3), la force horizontale totale due au vent par mètre de longueur du bâtiment correspond à environ $(1.0 + 0.8)qH$, ce qui inclut un coefficient de rafale de 2.0 dans les coefficients de pression de 1.0 et -0.8 (changement dans l'édition 1980 du Code par rapport aux autres éditions). Les coefficients de pression du toit de -1.3 et -0.9 (Figure 3) ont aussi des composantes horizontales, mais elles s'annulent plus ou moins et ne sont pas prises en considération dans le cas qui nous concerne.

Dans les murs à ossature à colombages, près de la moitié de la force totale de renversement est transmise directement aux fondations; ainsi, la force totale de cisaillement (V) au point de jonction des versants du toit et de la ferme d'extrémité est la suivante:

$$V = (1.0 + 0.8) qHL/4$$

et l'espacement S des vis de bordure transmettant cette force de cisaillement correspond à

$$S = 0.45 \frac{W}{V} = \frac{0.45}{(1.0 + 0.8)} \frac{W}{qHL}$$

Donc:

$$S = 1.0 \frac{W}{qHL} \text{ mètres.}$$

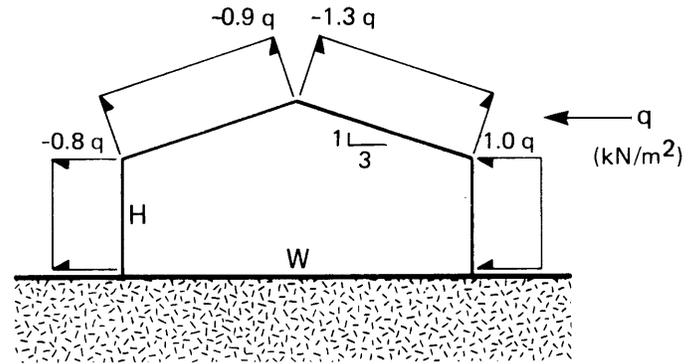


Figure 3

Résoudre l'équation ci-dessus pour obtenir la valeur S dans chaque cas ou se reporter à la Figures 6, 8, 10, 12, ou 14.

FLEXION Il faut tenir compte du moment de flexion dans le calcul du toit diaphragme. On peut comparer les deux versants du toit à deux poutres planes reliées non rigidement bord à bord le long du faite par les fermes. Le présent plan fournit des données de calcul pour l'assemblage des pannes (le long des débords du toit et du faite) en éléments continus résistant à la tension et à la compression afin qu'ils puissent s'opposer à la flexion sur les deux versants.

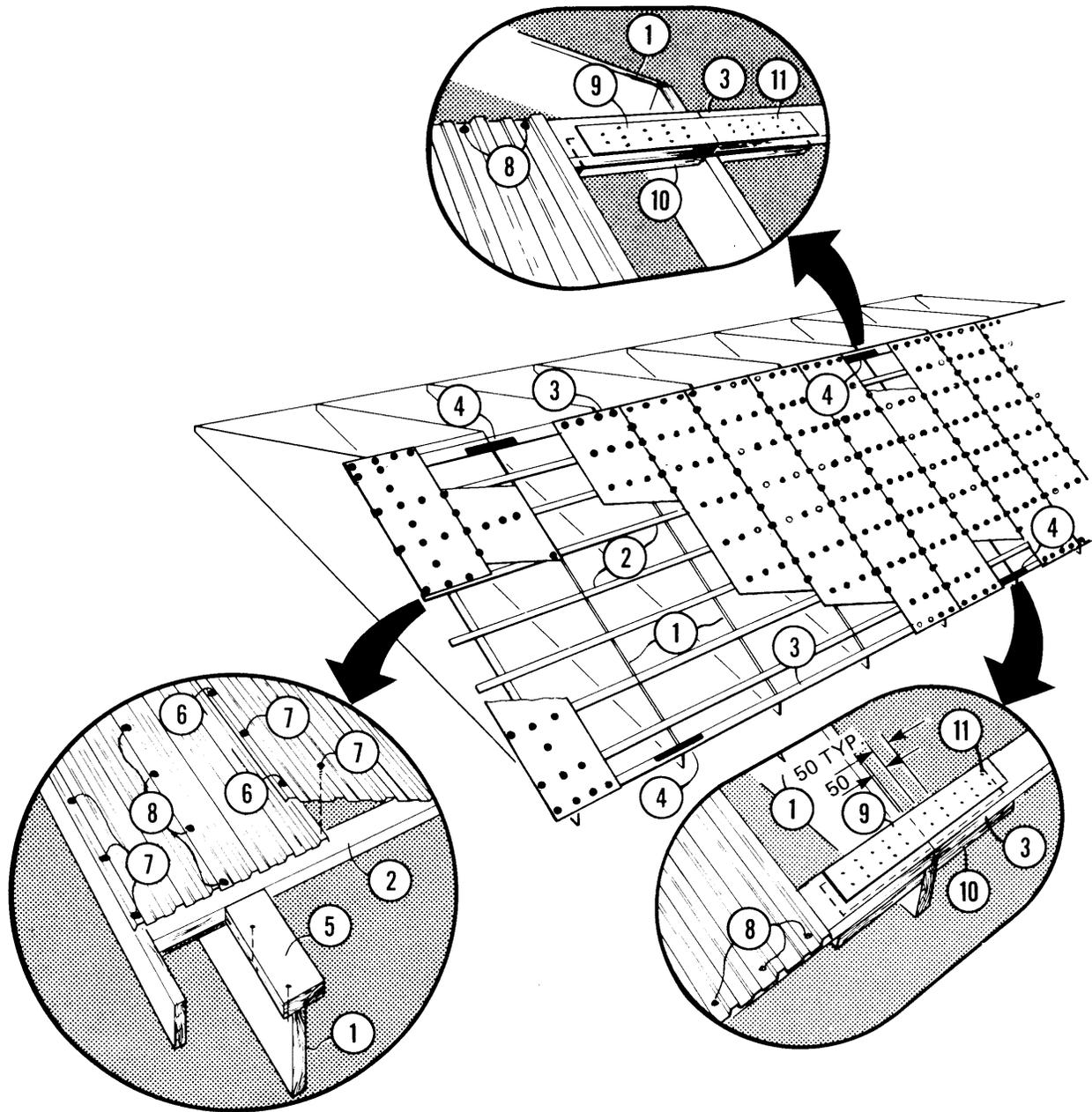
La Figure 4 montre l'emplacement et les détails pour chaque type d'assemblage. Il s'agit d'éclisser très rigidement les pannes de rive de 38 x 140 mm à des intervalles de 4.8 m au moyen de deux bandes d'acier galvanisé de 0.91 mm (calibre 20) qui serrent les extrémités des pannes. Ces bandes sont clouées au moyen de clous à béton spéciaux de 4.5 x 75 mm (3 po.), qui pénètrent dans les deux bandes d'acier sans perçage préalable. Certains constructeurs préfèrent percer à l'avance des trous de diamètre inférieur à celui des clous pour faciliter le clouage. La Figure 4 illustre aussi les cales de renfort de 38 mm 10 maintenues sous chaque demi-joint par des serre-joints pendant le clouage. Ces cales soutiennent la bande d'acier inférieure et les pointes de clous y sont enfoncées (cette technique est plus facile et plus efficace que les clous rivés). On estime que chaque clou peut absorber une force de 2.0 kN (après ajustement pour la durée de la surcharge due au vent, les deux plans de cisaillement, le mode d'assemblage acier-bois, la faible occupation humaine, etc.).

Les hypothèses concernant la flexion sont indiquées à la Figure 5. Le moment maximal (M) se produit à mi-longueur et correspondrait à $M = 0.1125 qHL^2$. En supposant que les effets de traction et de compression dans les quatre pannes de rive s'opposent au moment total et que

$$F_t = F_c$$

On a, $M = 0.1125 qHL^2 = 2F_t(W/2)$, d'où l'on déduit

$$F_t = 0.1125 \frac{qHL^2}{W}$$



1. ferme d'extrémité
2. pannes de toit de 38 x 89 x 4800 mm 600 mm entre axes, à intervalles de 2400 mm
3. pannes de rive de 38 x 140 x 4800 mm, éclissées à chaque extrémité
4. détail d'éclisse en 3
5. cales de 38 x 140 mm entre 2 sur la ferme d'extrémité; clous tors, es de 89 mm de même espacement (S) que les vis 6
6. vis de bordure #8 x 25 mm à l'endroit des recouvrements des tôles, espacées conformément à la Figure 6, 8, 10, 12 ou 14
7. vis de toiture #8 x 38 mm pour chacun panne (sur la nervure)
8. vis de toiture #8 x 25 mm en (5) (entre nervures), même espacement que les vis 6.
9. bandes d'acier galvanisé de 0.91 (calibre 20) x 100 mm, 2 par joint en 3, la longueur étant fonction du nombre de clous (N) par demi-joint (voir le tableau)
10. cales de 38 x 1 mm, de chaque côté de la ferme en 4
11. clou @ béton spécial de 4.5 x 76 mm en 3, 9 et 10 force admissible de 2kN par clou; N clous pour chaque demi-pointe (Figure 7, 9, 11, 13 ou 15)

Figure 4 Toit diaphragme en tôle avec assemblages spéciaux des tôles de couverture, des jonctions toit-murs d'extrémité, toit-pannes de rive et éclisses de pannes de rive.

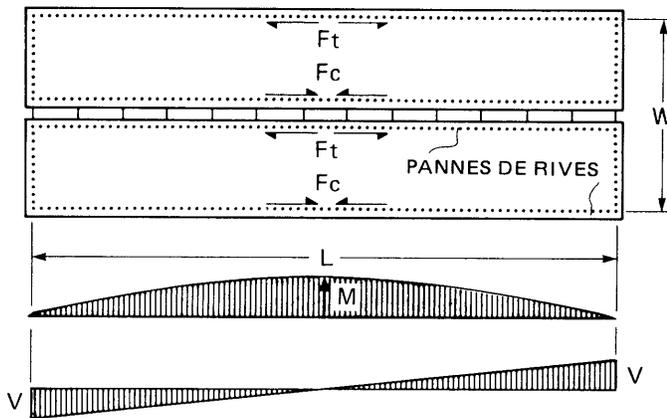


Figure 5 Plan du toit avec diagramme du moment fléchissant et de cisaillement

Le nombre de clous à béton de 75 mm dans chaque demi-joint de panne de rive (Figure 4) correspond donc à $F_t/2.0$, et le nombre de clous (N) par demi-joint correspond à :

$$N = \frac{0.1125}{2.0} \frac{qHL^2}{W} = 0.056 \frac{qHL^2}{W}$$

Les solutions graphiques pour le nombre de clous N se trouvent aux Figures 7, 9, 11, 13, ou 15. Il faut calculer la valeur de L^2/W (en mètres) avant de consulter les graphiques. Il est à noter que la résistance à la traction admissible des bandes d'acier de 100 mm de largeur est dépassée lorsque plus de 12 clous sont utilisés (voir). Au-delà de cette limite, augmenter la largeur des bandes à 140 mm. Utiliser la table suivante pour déterminer la longueur requise des bandes d'acier.

Longueur (mm) nécessaire pour contenir le nombre de clous N suivant

	2	5	7	10	12	15	20
Bandes 9							
0.91 x 100 mm	200	300	400	500	600		
Bandes 8							
0.91 x 140 mm						600	700

Si les deux versants du toit peuvent être reliés de façon à transmettre de façon efficace les forces de cisaillement d'un côté à l'autre du faite, on peut omettre les raccords des pannes de faite indiqués à la Figure 4. Cela donne plus de rigidité au toit, mais n'est pas toujours pratique à cause de la ventilation faîtière, etc.

MURS D'EXTRÉMITÉ Un toit diaphragme est destiné à transmettre aux murs d'extrémité les forces dues au vent. Ceux-ci doivent donc être des murs travaillant en cisaillement, de résistance au moins égale à celle du toit. La Figure 4 indique comment assembler les extrémités du toit aux fermes d'extrémité et à l'ossature. Les vis 8 doivent être enfoncées dans les parties planes du revêtement du toit, suivant le même espacement que les vis des bordures de recouvrement (Figures 6, 8, 10, 12 ou 14).

* Pour plus de 15 clous, augmenter la largeur des bandes à 140 mm

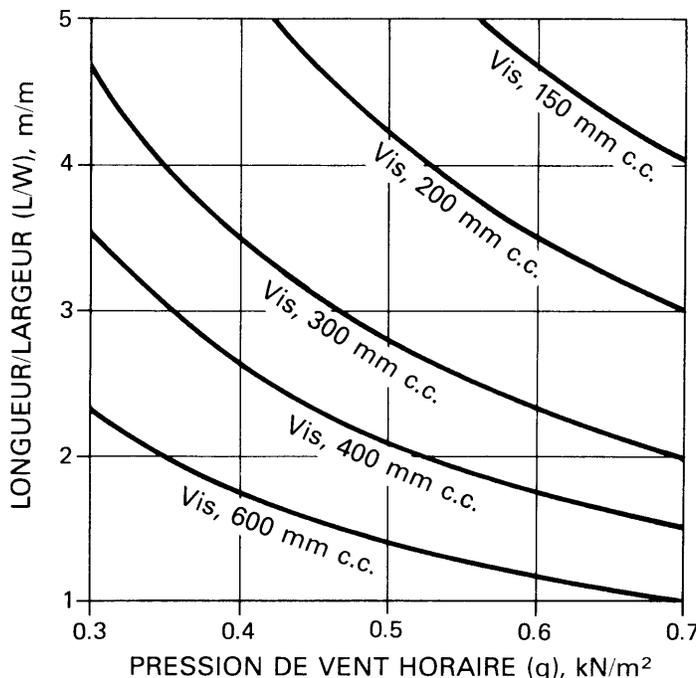


Figure 6 Espacement des vis de bordure des tôles du toit, hauteur du mur H = 2.4 m

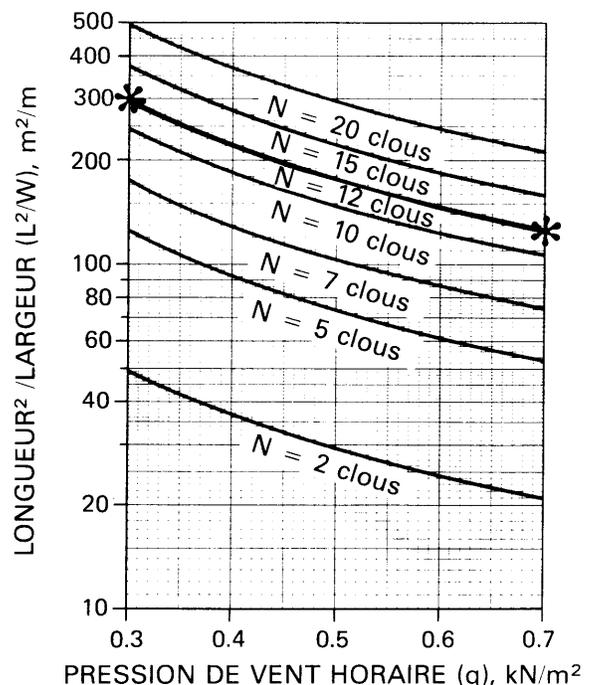


Figure 7 Clouage des éclisses des pannes de rives, hauteur du mur H = 2.4 m

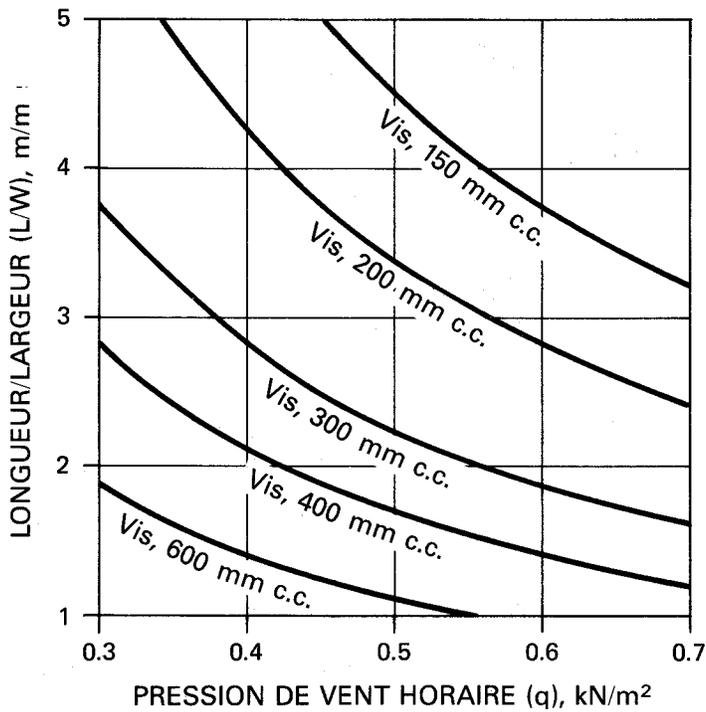


Figure 8 Espacement des vis de bordure des tôles du toit, hauteur du mur H = 3.0 m

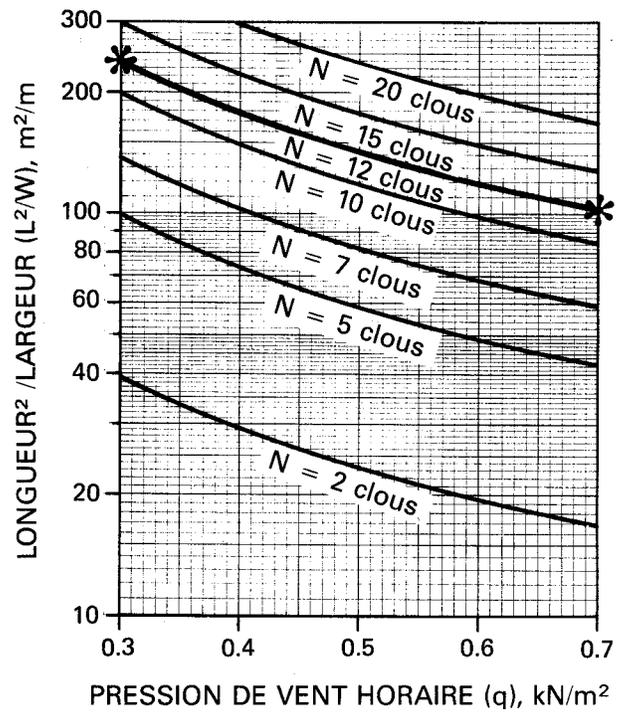


Figure 9 Clouage des éclisses des pannes de rives, hauteur du mur H = 3.0 m

* Pour plus de 15 clous, augmenter la largeur des bandes à 140 mm

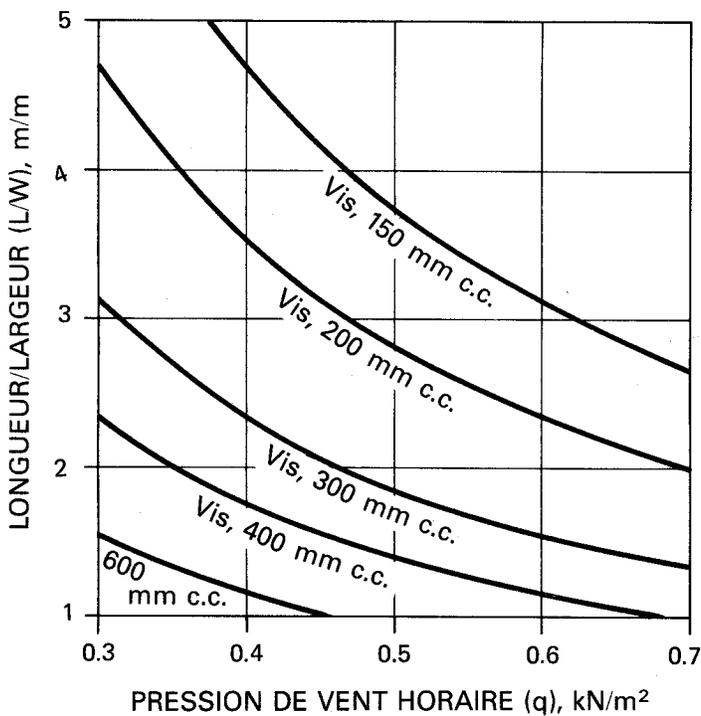


Figure 10 Espacement des vis de bordure des tôles du toit, hauteur du mur H = 3.6 m

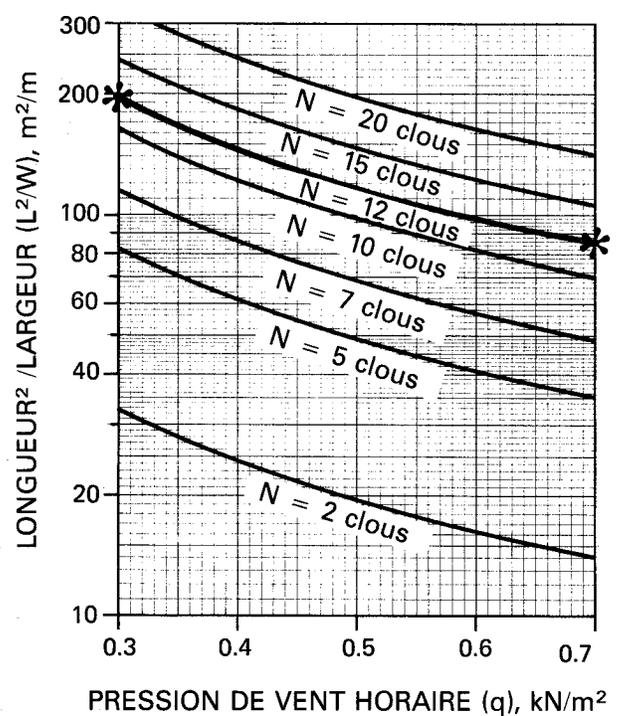


Figure 11 Clouage des éclisses des pannes de rives, hauteur du mur H = 3.6 m

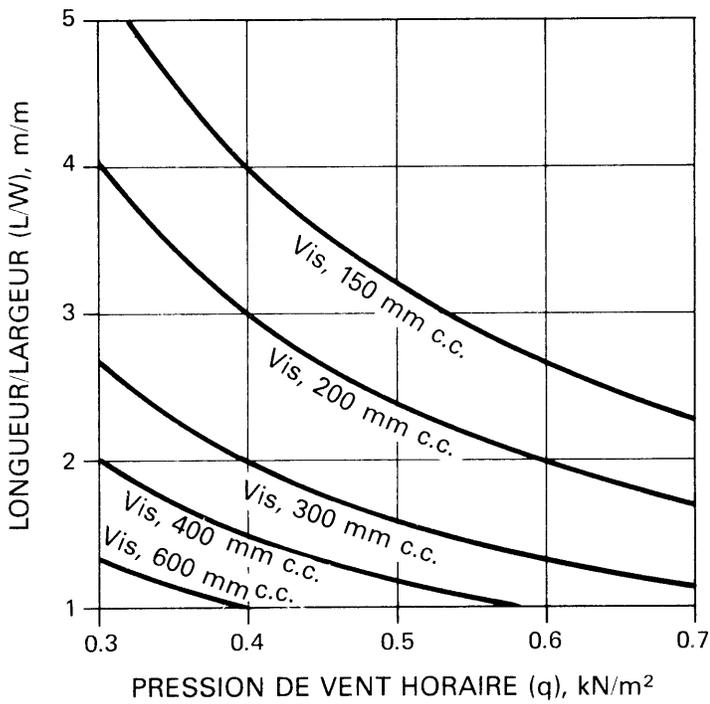


Figure 12 Espacement des vis de bordure des tôles du toit, hauteur du mur H = 4.2 m

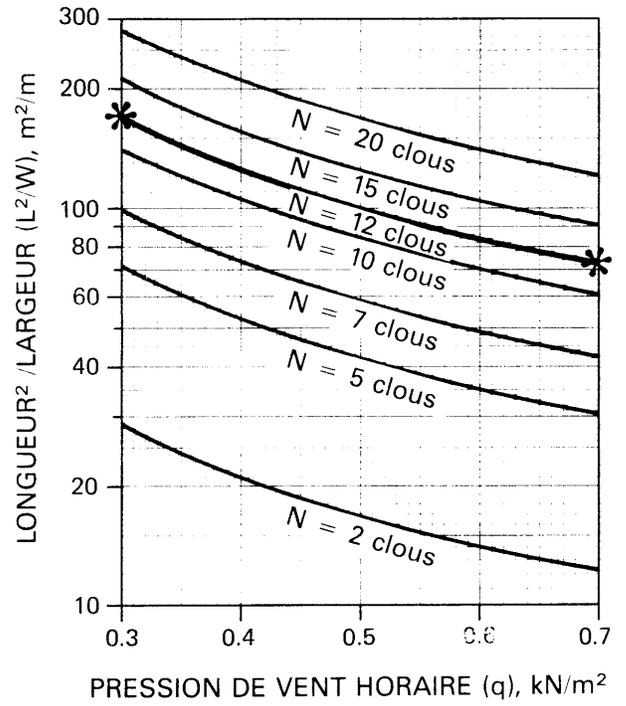


Figure 13 Clouage des éclisses des pannes de rives, hauteur du mur H = 4.2 m

* Pour plus de 15 clous, augmenter la largeur des bandes à 140 mm

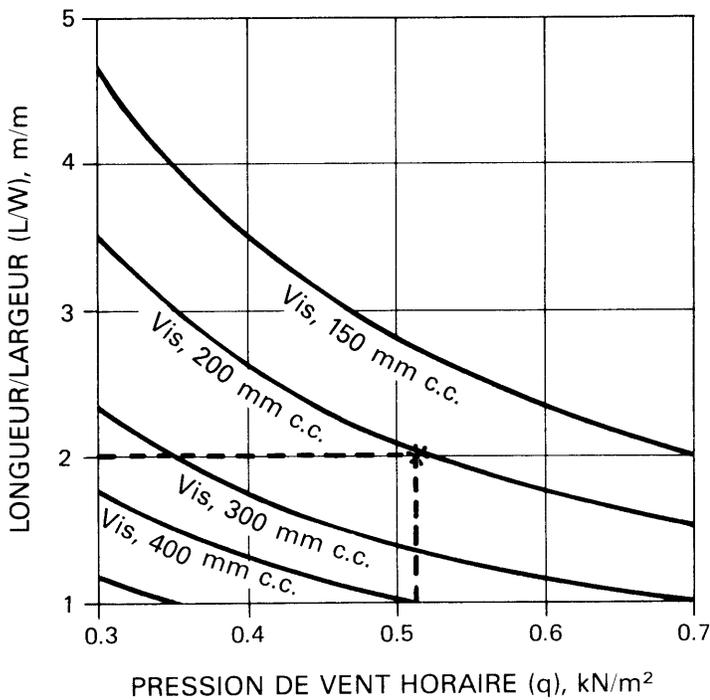


Figure 14 Espacement des vis de bordure des tôles du toit, hauteur du mur H = 4.8 m

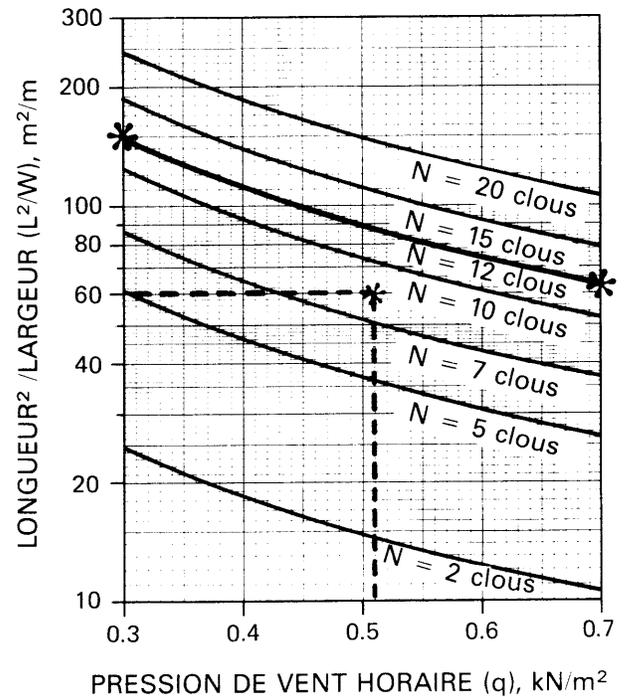


Figure 15 Clouage des éclisses des pannes de rives, hauteur du mur H = 4.8 m

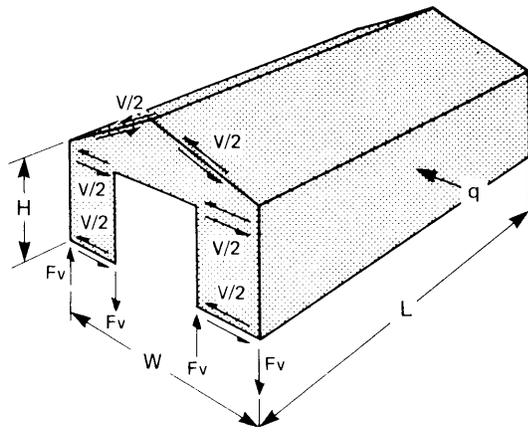


Figure 16. Mur d'extrémité avec grande porte

Si les murs d'extrémité ne comportent pas de grandes portes ou autres ouvertures de grandes dimensions, un revêtement d'acier et un mode de fixation semblable à ceux utilisés pour le toit conviendront bien. Par contre, si de grandes portes réduisent la largeur efficace W des murs d'extrémité, il faut avoir recours à des mesures spéciales. La Figure 16 montre les points faibles des murs d'extrémité avec portes. Il faudra probablement renforcer les autres parties des murs d'extrémité (à côté de la porte) pour résister aux forces de cisaillement et au moment. Le présent feuillet ne peut étudier de façon détaillée les critères de conception des murs d'extrémité à cause des diverses possibilités d'ouvertures et de dimensions. Toutefois, les autres parties des murs d'extrémité doivent être calculées (comme des poutres en porte-à-faux) en considérant le cisaillement et le moment. Le cisaillement supplémentaire causé par la réduction de la largeur efficace peut facilement avoir résisté par un revêtement intérieur bien cloué en panneaux de copeaux ou de contre-plaqué. Il faudra probablement avoir recours à des assemblages spéciaux s'opposant à la traction à l'endroit des coins inférieurs des murs d'extrémité de chaque côté des ouvertures à cause des forces verticales F_v , dues au moment. Dans le cas des murs d'extrémité à ossature à poteaux, on peut remédier à ces forces de soulèvement en ancrant les poteaux situés dans les coins et de chaque côté des ouvertures dans le béton. Dans le cas des murs à colombages, il faudra utiliser des ancrages de retenue spéciaux pour fixer les colombage-de coin et les montants de portes à la fondation en béton.

PROBLÈME Calcul d'un toit diaphragme et d'un mur d'extrémité pour le contreventement d'une remise à ossature à colombages de 15 x 30 m, d'une hauteur de 4.8 m au-dessus de la fondation pour la localité de High River, en Alberta (pression de vent horaire de 1/10, $q = 0.51 \text{ kN/m}^2$)

Pour l'espacement des vis de bordure des tôles du toit (Figure 14), $L/W = 30/15 = 2.0$. Selon la Figure 14, pour les coordonnées $L/W = 2$ et $q = 0.51$, l'espacement maximal des vis est de 200 mm entre axes. Avec un espacement des pannes de 600 mm, il faut prévoir deux vis supplémentaires entre chaque paire de pannes. De plus, les vis des parties planes devront être espacées à 200 mm entre axes, à la

jonction de la couverture et des cales 5 clouées sur les fermes d'extrémité (Figure 4). Une vis à l'endroit de chaque nervure suffira amplement pour les recouvrements d'extrémité des tôles, lorsque les nervures sont espacées de 200 mm, ou moins. Le long des débords de toit et du faîte, à la jonction de la couverture et des pannes de rive, l'utilisation d'une vis à côté de chaque nervure transmettra les forces de cisaillement aux pannes. Pour les éclisses des pannes de rive 9, Figure 4), $L2/W=302/15 = 60$. Selon la Figure 15, pour les coordonnées $L2/W = 60$ et $q = 0.51 \text{ kN/m}$, il faut 10 clous à béton pour chaque demi-joint. Les bandes d'acier devront avoir 100 mm de largeur (pour moins de 12 clous, voir *) et être assez longues pour recevoir cinq rangées de clous (des rangées de deux et trois clous, en alternance), en plus de la distance d'extrémité donne une longueur de 600 mm. Ou utiliser la table en page 4.

En supposant que les portes de 4.8 m sont centrées dans chaque mur d'extrémité (Figure 16), la largeur efficace du mur est réduite à $(15-4,8) = 10.2 \text{ m}$, ce qui donne comme espacement des vis à $(10.2/15) \times 200 \text{ mm} = 136 \text{ mm}$. Comme cet espacement est inférieur à la limite de 150 mm pour les vis n 8 et l'acier de 0.3 mm (calibre 30), il faut prévoir un renforcement supplémentaire, comme un revêtement intérieur en contre-plaqué ou en panneaux de copeaux. On pourrait aussi utiliser des contreventements diagonaux mais ce n'est pas aussi facile et efficace que le revêtement intérieur.

Dans cet exemple, il faut prêter une attention particulière aux forces verticales F_v au-delà des boulons ordinaires d'ancrage de la lisse d'assise aux fondations. Les moments de flexion du mur d'extrémité résultant des forces de cisaillement du toit V doivent être compensés par deux forces de retenue F_v , de façon que $HV/2 = F_v (15 - 4.8)/2$,

$$\text{Par conséquent, } F_v = \frac{HV}{10.2}$$

$$\text{Mais } V = \frac{(1.0 + 0.8)qHL}{4} = (0.45)(0.51)(4.8)(30) = 33 \text{ kN}$$

$$\text{Donc } F_v = (4.8)(33)/10.2 = 15.5$$

Il faut prévoir des assemblages pour résister aux forces de traction $F_v = 15.5 \text{ kN}$ à quatre endroits dans le mur d'extrémité où se trouve la porte (en supposant que le vent peut souffler d'un côté ou de l'autre). Ces assemblages s'ajouteront aux ancrages ossature-fondation normalement exigés pour résister au soulèvement du toit et au cisaillement horizontal.

RÉFÉRENCE J.E. Turnbull. 1983. A summary of diaphragm design for wind bracing in stud-wall farm buildings. ASAE Trans. Vol. 26, No. 2, pp 549-556, 561.

Turnbull, J.E., J.A. Thompson and A.T. Quaille. 1985. Steel roof diaphragms for wind bracing in agricultural buildings. Paper no. 85-405, CSAE annual meeting, Charlottetown, PE, June (ESRI contr. no. I-728)