



Détérioration des fermes de toit, tôle et pièces métalliques dans les entre-toits des bâtiments d'élevage

Auteur

Yves Choinière, ing., agr., P. Eng.

Les Consultants Yves Choinière Inc.

84, rue Roy

Ange-Gardien (Québec) J0E 1E0

Tél. : (450) 293-8960 / Fax : (450) 293-8963 / consultants@yveschoiniere.com

**Written for presentation at the
CSBE/SCGAB 2008 Annual Conference
Vancouver, British Columbia
July 13 - 16, 2008**

Extrait exécutif

Plusieurs bâtiments d'élevage au Québec et en Ontario présentent des niveaux de détérioration rapide des goussets métalliques, des tôles et des membrures en bois des fermes de toit. Des mesures de niveaux d'humidité, ammoniacque et dioxyde de carbone ont démontrées une contamination des entretoits provenant des aires d'élevage. Les principales causes de la contamination sont :

1. Entrées d'aire modulaires plafonnier non-étanche.
2. Localisation des ventilateurs selon les types de bâtiment.

3. Conception des capuchons des ventilateurs.
4. Conception des ouvertures sous les corniches et au pignon pour la ventilation d'entretoit.

Plusieurs recommandations sont présentées pour la conception des bâtiments.

Abstract

Apparent rust and perforations have been noticed on numerous farm building roofs built with sheet steel. During investigations, rust on the metal gussets and nails were noticed due to high levels of barn bases and excessive moisture. Gravity ceiling air inlets exhaust fan location and design of the eave openings have major impacts on the attic space refeeding of exhaust air.

Ontario and Quebec barns have been investigated. Practical observations and recommendations to reduce these problems are presented.

Introduction et revue de littérature

Huffman et Johnson (1994) résume la problématique de détérioration des fermes de toit exposées à l'intérieur des bâtiments d'élevage. Plusieurs évidences de détérioration sont notées dans les bâtiments d'élevage porcins, de bovins laitiers et de boucherie.

Safley et autres (1992) ont testé plusieurs types de goussets métalliques dans une porcherie, une étable laitière et un poulailler. Des goussets furent installés dans l'aire d'élevage, dans les préfosses et dans une toiture de lagune de traitement anaérobique. En résumé, plusieurs types de goussets métalliques se sont rapidement dégradés et ont perdu leur qualité et quantité d'acier. En bref, pour les environnements agressifs, les goussets en acier inoxydable et des goussets galvanisés trempés à chaud ont mieux performés. Zhu et autres (1994) ont étudiés les effets des bactéries consommatrices des composantes sulfatées sur les pièces métalliques dans les bâtiments d'élevage. Ces chercheurs ont mesuré un très grand nombre de colonies de bactéries qui accompagnent les corrosions de pièces métalliques. Pour se développer, ces colonies de bactéries ont besoin de nourriture et d'humidité. Dans les entre-toits de bâtiment, il y a une forte présence de matière organique sous la forme de poussière provenant des champs et des élevages. Dans un contexte de haute humidité, les tôles et goussets métalliques sont attaqués par ces bactéries. Selon les conditions ambiantes, les délais de colonisation peuvent être de l'ordre de quelques mois jusqu'à plusieurs années. En absence d'humidité et de gaz, ces bactéries sont inexistantes.

Harrigan et Bickert (1986) ont étudié plusieurs cas de détérioration de ferme de toit et de goussets métalliques. Le taux d'humidité du bois est en relation avec le degré de détérioration tel que :

Taux d'humidité	Effet
Moins de 20 %	Peu d'effet sur le bois et sur les composantes métalliques.
20 % à 25 %	Début de la corrosion du métal.
25 % à 30 %	Corrosion du métal et dégradation du bois.
Plus de 30 %	Rapide corrosion du métal et dégradation du bois.

Le processus de rouille est donc relié à l'humidité excessive ou à la présence de gaz tel que l'ammoniac et les sulfides d'hydrogène ou à une dégradation par les colonies bactériennes consommant les sulfates.

Le rythme de dégradation varie grandement selon les degrés d'exposition. Les composantes de bois ont un pH de 3.5 à 5.0. Elles sont légèrement acides, ce qui accélère la dégradation en milieu humide.

Massé et autres (1991) ont démontré que les goussets métalliques ne sont pas affectés par les gaz ammoniacaux en bâtiment d'élevage si les taux d'humidité du bois n'excèdent pas 18 % à 23 % pour une courte durée.

En condition sèche non exposée, les membranes de bois des fermes de toit, les pannes et les liens continus sont de 9 % à 12 % d'humidité. Généralement, à la coupe, le bois présente un taux de 26 % à 28 % d'humidité.

Rapport d'investigation

En novembre 2007, trois porcheries ont été investiguées en Ontario. Les bâtiments présentent des problèmes de rouille apparente sur la tôle de toiture causant des infiltrations de pluie et de neige dans l'entre-toit.

Bâtiment #1, porcherie d'engraissement

Année de construction : 1996

Description :

- Structure en bois.
- Plancher latté 100 %.
- Entrepôt à lisier de 2.4 m pour 250 jours d'entreposage.
- Ventilation mécanique-naturelle avec ventilateur d'extraction d'hiver et entrées d'air modulaires installées au plafond.
- Faîtière ventilée de 2.4 m à chaque 10 m (ratio moyen de 1/500 à 1/600 d'ouverture versus la surface de plafond).
- Ouverture de corniche avec grillage anti-oiseau avec un ratio de 1/200 à 1/300.
- Ventilateurs d'extraction de cave à lisier.
- Contrôle électronique avec la stratégie suivante :
 - Hiver
 - Entrée d'air modulaire avec activateur.
 - Ventilateur d'extraction basse.
 - Automne-printemps
 - Ouverture des panneaux de ventilation naturelle.
 - Ventilation d'extraction basse.
 - Entrée d'air modulaire en position ouverte et/ou fermée selon la variabilité du système.
 - Été
 - Ventilation naturelle seulement.

Problématiques

Voici un résumé des observations prises lors de l'investigation dans l'entre-toit :

- Membrane de bois avec des couleurs de noir et gris démontrant une dégradation en surface.
- Goussets métalliques avec des signes de dégradation allant de la couche blanche des sulfates en allant à la rouille avancée.
- Perforation de la tôle de toiture pré-peinte au point de contact avec les pannes de toit.
- Rouille avancée des vis de toiture.
- Rouille intérieure à la faîtière du toit.

En fait, plusieurs producteurs observent des problèmes d'infiltration d'eau par la toiture. L'isolation du plafond devient alors saturée et retient l'humidité. Pour ce bâtiment, les problèmes de toiture étaient trop avancés pour permettre une réparation adéquate.

Les tôles pré-peintes sont très durables par la protection superficielle extérieure. Par contre, la couche interne est protégée par la couche d'apprêt seulement. En cas de condition humide et de présence de contaminant, la face interne de la tôle pré-peinte est sensible à la corrosion.

Le tableau 1 présente les résultats des échantillonnages de gaz (pompe Gastec).

Tableau 1 : Résultat de la porcherie mécanique-naturelle, 21 novembre 2007

Paramètre	Entre-toit	Aire d'élevage
Température (°C)	6-7	15-16
Humidité relative (%)	60-65	80-85
NH ₃ (PPM)	2-4	15
10 ₂ (PPM)	600-700	3000

Les mesures démontrent une contamination de l'entre-toit par des gaz en provenance de l'aire d'élevage. Hormis le principe d'extraction basse qui devrait créer une pression négative dans le bâtiment, il était évident que les exfiltrations d'air se produisaient par les entrées d'air modulaires.

En hiver, l'entre-toit est contaminé par l'air du plancher d'élevage par les phénomènes suivants :

- Faible débit d'extraction basse.
- Infiltration d'air par les panneaux de ventilation naturelle.
- Exfiltration d'air et d'humidité par les entrées d'air modulaires causé par l'effet thermique entre la porcherie et l'entre-toit.
- Mauvais ajustement de certaines entrées d'air.

- Sous-ventilation de l'entre-toit par les corniches.

Solutions proposées

Voici les étapes à suivre pour ce bâtiment :

- 1- Remplacement des entrées d'air modulaire avec une conception précise du nombre d'unité pour assurer une pression négative de la pièce.
- 2- Contrôle automatique de fermeture étanche lors du passage entre les débits d'hiver et ceux d'automne-printemps.
- 3- Réparer ou remplacer les panneaux de ventilation naturelle pour minimiser les infiltrations d'air durant l'hiver.
- 4- Réviser la conception des entrées d'air des corniches (soffite perforé) et changer la localisation.

Bâtiment #2, porcherie d'engraissement

Année de construction : 1996

Description :

- Même site, 50 m de distance entre le bâtiment #1.
- 100 % ventilation naturelle.
- Corniche avec 1/600 à 1/800 d'ouverture.
- Faitière ventilée.

Le tableau 2 présente les résultats des mesures d'entre-toit.

Tableau 2 : Résultat de la porcherie 100 % ventilation naturelle, 21 novembre 2001

Paramètre	Entre-toit	Aire d'élevage
Température (°C)	6-7	15-18
Humidité relative (%)	70-80	70
NH ₃ (PPM)	N/D	15
CO ₂ (PPM)	400-500	3000

Les observations montrent d'excellentes conditions des membranes de bois, goussets métalliques et des tôles de toiture. En fait, l'entre-toit semble pratiquement neuf. Seul le périmètre extérieur de certaines cheminées montre des signes d'infiltration d'eau. L'ajout de calfeutrant serait nécessaire au pourtour des cheminées.

Localisés sur la même ferme, la comparaison entre les bâtiments #1 et #2 montre l'impact de la contamination directe de l'entre-toit pour les entrées d'air modulaires.

Bâtiment #3, pouponnière porcine

Année de construction : 1997-1998

Description :

- Multi-chambre de pouponnière avec corridor central.
- 100 % latté avec bassin de lisier de 0.9 m.
- Ventilation mécanique.
- Entrée d'air modulaire plafonnier, contrôle pour contrepoids.

Investigation dans l'entre-toit

Le tableau 3 présente les mesures prises dans l'entre-toit.

Tableau 3 : Pouponnière porcine (1997-1998)

Paramètre	Entre-toit	Aire d'élevage
Température (°C)	7-8	21-22
Humidité relative (%)	75-80	70-75
NH ₃ (PPM)	6-7	16-17
CO ₂ (PPM)	700-800	2800-3000

Dans ce cas, les principales sources de contamination de l'entre-toit étaient :

- 1- Exfiltration d'air par les entrées d'air modulaires de plafond.
- 2- Infiltration d'air par les ouvertures sous les corniches. Cet air provient directement des ventilateurs muraux de chaque chambre.
- 3- Une petite partie des exfiltrations provient des perforations dans le coupe-vapeur du plafond (perforations initiales de construction et par les rongeurs).

Les éléments composants la toiture montraient les signes suivants :

- Perforation de la toiture aux points de contact entre les pannes de toit et les surfaces intérieures de la tôle.
- Rouille des vis.
- Rouille des goussets métalliques avec divers degrés selon la position.
- Détérioration de l'isolation du plafond par les infiltrations d'eau de pluie et par la neige.

Similairement au bâtiment #1, les solutions aux problèmes de contamination d'entre-toit sont associées au remplacement des entrées d'air modulaires plafonniers par des unités avec un mécanisme d'étanchéité en position fermée. Des contrôles de ventilation doivent incorporer une stratégie de ventilation adaptée à la création d'une pression négative permanente dans chaque chambre. Les ventilateurs d'hiver doivent avoir des

capuchons protecteurs forçant l'air vers le bas ou, au mieux, vers l'extérieur (coude de 60° à 90°). Les ouvertures des corniches devraient être fermées sur une longueur totale de 3.6 m en ayant le ventilateur d'hiver centré. Les corniches devraient être fermées pour toutes les périodes avec des températures moyennes sous les 5° à 10°C (typiquement fermée d'octobre à avril).

Pour l'isolation du plafond et le coupe-vapeur perforé. Il est recommandé d'appliquer une nouvelle couche d'isolant soufflé à base cellulose ou de laine de fibre à haute densité pour réduire la capacité de migration de l'humidité.

Bâtiment #4, porcherie d'engraissement

Année de construction : 1995-1996

Description :

- Concept de plancher latté au 2/3 avant et arrière.
- Zone de confort au centre.
- Division en béton, trémie humide.
- Plafond en vinyle.
- Ventilation naturelle avec brise-vent.
- Cheminées.
- Ouverture de corniche de 150 mm continue.
- Faîtière ventilée continue.

Problématiques

- 1- Les deux poutres au-dessus des murs latéraux sont détériorées par l'humidité.
- 2- Tôle de la toiture avec perforation et rouille, infiltration d'eau de pluie et de neige.
- 3- Goussets métalliques avec des niveaux variables de détérioration.
- 4- Perforation du coupe-vapeur.

Observations et analyse

Dans la gestion des bâtiments avec ventilation naturelle, il y a toujours des exfiltrations d'air par les panneaux muraux du côté opposé aux vents. En fait, les patrons d'entrée et de sortie d'air sont très variables selon les directions des vents, des températures extérieures et régie interne du bâtiment. Les observations des détériorations du bois et de la perforation du coupe-vapeur permettent d'évaluer les causes comme étant :

- Infiltrations d'air vicié par les ouvertures continues des corniches durant toutes les saisons d'automne-hiver et printemps. Les taux d'humidité et gaz nocifs ont été suffisants pour altérer la qualité du bois et composantes.

- La perforation du coupe-vapeur par endroit est liée à la détérioration des goussets métalliques des membres inférieurs des fermes de toit même s'ils étaient couverts par la laine de fibre de verre.

Solutions proposées

- 1- Remplacement de la toiture de tôle.
- 2- Fermeture des corniches et usage minimum de perforation.
- 3- Faîtière ventilée anti-infiltration.
- 4- Isolation supplémentaire en laine soufflée ou par cellulose pour potentiellement améliorer l'étanchéité du plafond.
- 5- Réparation des goussets métalliques endommagés avec des goussets en bois cloués.

Conclusion

L'analyse des bâtiments étudiés et d'autres cas d'expertise révèle que les attentions suivantes doivent être réalisées lors de la conception d'un bâtiment :

- 1- Conception du système de ventilation, entrée d'air et contrôles thermostatique doivent éliminer la contamination des entre-toits.
- 2- Le dimensionnement des ouvertures des faîtières et des corniches est basé sur les besoins passifs de ventilation et aux besoins dynamiques en général.
- 3- Les systèmes de toiture de bâtiment doivent être conçus pour des conditions d'opération « sèche » pour les bâtiments d'élevage. L'usage d'entrée d'air modulaire peut forcer de concevoir les entre-toits pour des conditions « humides ».
- 4- La sélection des revêtements métalliques doit tenir compte de l'usage sec versus humide.

Remerciements

André Lafrance, *VicWest Inc.*, Victoriaville, Qc et Greg Zimmer, *VicWest Canada* pour leur collaboration dans les investigations.

Bibliographie

Huffman, H. et Johnson, J. 1994. "Corrosion of roof truss gusset plates in farm buildings", Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rural de l'Ontario, n° de commande 94-035, 3 pages.

Sa Fley, L.M., Westerman P.W, Ki M.M. et Carr, D.S. 1992. "Corrosion of galvanized steel in animal waste environment", Bioresource Technology, vol. 40, p. 53-61.

Zhu, J., Mackie, R.J., Riskowcki, G.L. et Day D.L. 1994. "Bacterial colonization on metal surfaces in animal buildings: Implication for microbial induced corrosion". Transaction de l'ASBE, vol. 37 (3): 929-937.

Massé, D.I., Monroe, J.A. et Phillips. 1991. "Durability of truss connections in a naturally ventilated swine barn". Transaction de l'ASBE, vol. 34 (2), mars-avril.