Fiche technique

N° 23-012 | JANVIER 2023

(remplace la fiche technique n° 11-058 du MAAARO portant le même titre)

Les installations solaires sur les toitures de bâtiments ruraux

S. Beadle, ing.

La toiture d'un bâtiment agricole peut constituer un emplacement idéal pour une installation solaire (figure 1). Elle présente souvent une grande superficie et comporte peu d'obstructions, et le propriétaire exerce généralement un contrôle sur les objets qui pourraient faire de l'ombre sur les modules solaires pendant la durée de vie de l'installation. Cependant, la plupart des bâtiments agricoles ne sont pas conçus pour supporter de telles installations solaires. Aussi, avant d'en poser une, il faut tenir compte de divers facteurs, que décrit la présente fiche technique.

Figure 1. L'énergie solaire est une source d'énergie propre et durable en Ontario. Les toitures des bâtiments ruraux peuvent accueillir des systèmes photovoltaïques pour la production d'une telle énergie.

COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ EMPLOYÉS DANS LES BÂTIMENTS AGRICOLES

Le Code national de construction des bâtiments agricoles de 1995 (CNCBA) établit certaines exigences structurales en ce qui a trait aux bâtiments agricoles ayant une faible occupation humaine (un bâtiment agricole dont la surface de plancher est conçue pour au plus 1 personne par 40 m^2 pendant une utilisation normale). Lorsqu'un bâtiment agricole ayant une faible occupation humaine répond à ces exigences, l'ingénieur peut décider de réduire la capacité portante de la toiture de l'une de deux façons.

Coefficient d'exposition au vent

Lorsque la toiture est susceptible de demeurer exposée au vent pendant toute la durée de vie du bâtiment, l'ingénieur peut assujettir sa capacité portante à un coefficient de réduction. Si ce facteur a été employé lors de la conception du bâtiment, mais ne s'applique plus en raison de l'ajout d'une obstruction (silo, toit en appentis, arbre), la structure pourrait devoir être renforcée pour répondre aux exigences actuelles du code.

La figure 2 illustre un bâtiment qui est exposé au vent actuellement, mais qui pourrait ne plus l'être lorsque les arbres auront grandi. Le coefficient d'exposition au vent était d'usage courant au cours des années passées, mais il n'est plus employé aussi souvent de nos jours. Ce coefficient tient compte de la hauteur de l'obstruction par rapport à la hauteur de la toiture et à la distance qui l'en sépare. Il est difficile pour l'ingénieur de confirmer que la structure demeurera exposée au vent pendant toute sa vie utile.

Coefficient de glissement

Le coefficient de glissement est employé dans le cas des surfaces lisses et glissantes dépourvues d'obstructions, comme la tôle (que l'on trouve couramment sur les bâtiments agricoles) ou le verre, afin de réduire la capacité portante de la toiture lorsque la pente du toit le permet. Ce coefficient est également appelé coefficient de pente.

Les modules solaires de silicium cristallin (monocristallin ou polycristallin) ont une surface de verre et peuvent être installés sur le toit selon diverses méthodes. Deux de ces méthodes sont illustrées aux figures 3 et 4. Dans les deux cas, on ne sait pas si la neige glissera complètement du toit aussi facilement qu'avant l'installation. La figure 3 montre une installation comportant des rangées réservées à l'entretien et à la ventilation. La figure 4 montre une installation où les modules ont été installés plus près les uns des autres, avec un espace d'environ 19 mm entre les rangées. Ces deux installations comprennent des modules de silicium cristallin.

Figure 2. Structure exposée au vent qui ne le sera peut-être plus après que les arbres auront grandi.

Figure 3. Installation de panneaux solaires de modules de silicium cristallin, avec des rangées afin de faciliter la ventilation et l'accès pour l'entretien.

Figure 4. Installation de panneaux solaires dont les modules de silicium cristallin sont rapprochés les uns des autres; un espace d'environ 19 mm sépare les rangées.

Figure 5. Toiture présentant un profil de charge complexe en raison des différentes parties du bâtiment qui sont contiguës et de la présence de gouttières.

L'ingénieur détermine si la neige pourrait glisser complètement du toit et si le coefficient de glissement pourrait être appliqué au moment de déterminer la capacité portante de la toiture. La présence de garde-neige et de gouttières ainsi que l'état du matériau de couverture sont également pris en compte. La figure 5 montre une toiture comportant des gouttières et des creux qui doivent faire l'objet d'une attention particulière, car la neige ne peut glisser librement et complètement des surfaces du toit.

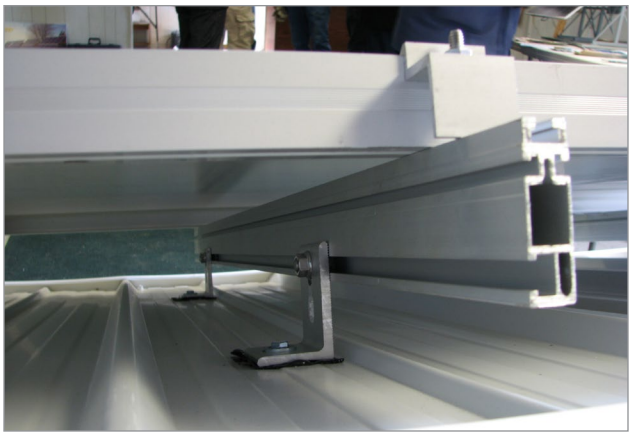


Figure 6. Panneau solaire installé sur des rails d'aluminium fixés à la toiture à intervalles précis.

DISPOSITION DES MODULES ET MESURES DE RENFORCEMENT

Les modules solaires de silicium cristallin (c-Si) sont souvent installés sur des rails d'aluminium fixés à la toiture à intervalles précis. Le poids des modules et de ce qui les surmonte (p. ex. la neige) n'est donc transféré à la structure qu'à certains points. La figure 6 montre le dessous d'une installation solaire sur toiture, et on voit que la charge est transférée à différents points. De nombreux bâtiments agricoles sont faits de fermes de toits en bois. Les ingénieurs les examinent pour déterminer si la charge d'une installation particulière peut être répartie uniformément ou si elle doit être concentrée à certains points que les fermes devront supporter.

VISITE DU SITE PAR L'INGÉNIEUR

Pour calculer la capacité portante du toit, l'ingénieur doit déterminer si le toit est exposé au vent et s'il sera glissant une fois les modules installés. Le meilleur moyen de procéder consiste à faire une observation directe et à discuter de l'aménagement avec le propriétaire.

Bien que les fermes soient des éléments structuraux essentiels, l'ingénieur doit examiner l'ensemble de la structure. Les autres éléments à examiner comprennent les montants, les linteaux, les poteaux, les poutres, les semelles, le contreventement et les fondations. Les ingénieurs doivent s'assurer que ces éléments sont assez solides pour supporter la charge et qu'ils ont été bien entretenus.

Figure 7. Gousset rouillé dans une étable.

LACUNES COURANTES DES BÂTIMENTS AGRICOLES EN ONTARIO

Il existe une variété de lacunes dont il faut vérifier la présence; elles varient selon l'utilisation du bâtiment. À cause de la présence du bétail, l'environnement d'une étable est humide et corrosif. L'air provenant de cet environnement qui pénètre dans le vide sous toit causera probablement la corrosion des goussets des fermes. La figure 7 montre un gousset dans une étable construite il y a sept ans. Cette étable est munie d'un système de ventilation, mais celui-ci n'a pas empêché l'air humide de pénétrer dans le vide sous toit. Tous les goussets des joints de faîte des fermes sont donc touchés par la corrosion.

Il faut tenir compte de la corrosion des goussets dans les bâtiments agricoles quand on envisage des installations solaires sur toiture. La fiche technique *Corrosion des connecteurs de fermes de toit à plaque dans les bâtiments d'élevage* du MAAARO contient de plus amples renseignements sur ce sujet.

L'absence de contreventement adéquat est une autre lacune courante. Dans certains cas, le contreventement est inexistant ou insuffisant, ou il a été enlevé. Il existe une variété de techniques de contreventement qui reposent sur des facteurs comme la taille et la forme du bâtiment. Par exemple, un examen permettra de confirmer si un contreventement latéral permanent a été appliqué aux membrures d'âme en compression dans un bâtiment à fermes de bois. Ce contreventement qui contribue à prévenir le flambage est ancré de façon à prévenir tout mouvement latéral (effet de « domino »). Un tel ancrage est souvent réalisé au moyen d'un contreventement diagonal.

Les vieux bâtiments présentent des difficultés particulières. En effet, il peut être ardu de déterminer la qualité du bois d'œuvre dont est construit le bâtiment. Ce renseignement est utile pour l'examen.

Certains vieux bâtiments comprennent des joints complexes (figure 8), et il faut effectuer des calculs manuels pour déterminer la capacité portante. Au fil des ans, ces joints ont peut-être été endommagés ou modifiés.

Figure 8. Joint complexe dans une vieille grange.

DERNIÈRE INSPECTION DE L'INGÉNIEUR

L'ingénieur effectue le calcul de la capacité portante de la toiture en se fondant sur certaines hypothèses. Pour confirmer l'exactitude de ces hypothèses, il doit inspecter le produit fini. Par exemple, il est important de déterminer la position des modules solaires le long de la ferme. La figure 9 montre une ferme dont la charge concentrée est supportée à deux points différents. Si cette charge est conçue pour s'appuyer au point A, la membrure supérieure de la ferme est bien supportée par les âmes situées au-dessous. Cependant, si la charge s'appuie plus haut sur la membrure supérieure, au point B, celle-ci sera assujettie à une force de courbure plus élevée, ce qui pourrait nécessiter un renforcement.

Il est également important que la toiture soit renforcée correctement. Les aspects du produit fini à examiner comprennent la taille de tout gousset supplémentaire, l'agencement des clous ainsi que la taille et l'emplacement des pièces de soutien supplémentaires. La figure 10 illustre un exemple de cas où un renforcement considérable de la membrure inférieure et des goussets a été nécessaire.

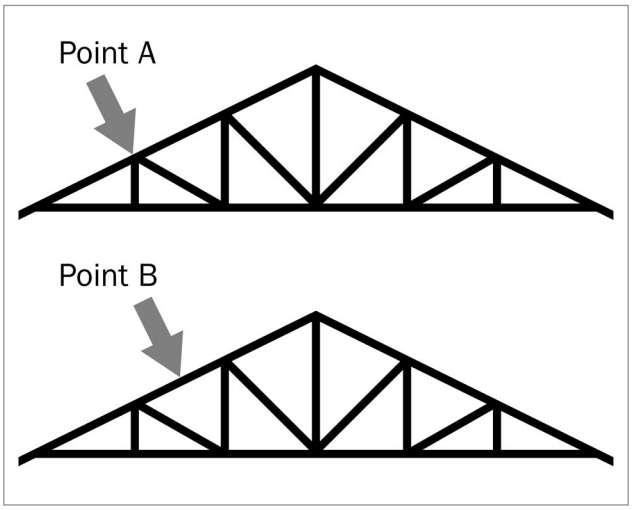


Figure 9. Au point A, la membrure supérieure est bien supportée par les deux âmes. Cependant, elle subira une force de courbure plus élevée si la même charge est appliquée plus haut sur la ferme au point B.

Figure 10. Des goussets en contreplaqué procurent un soutien supplémentaire dans cette remise.

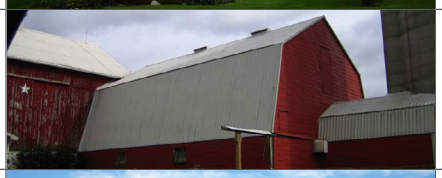
COÛTS LIÉS À L'INGÉNIERIE, AU RENFORCEMENT, AUX MATÉRIAUX ET À LA MAIN-D'ŒUVRE

En 2011, le MAAARO a participé à une étude des coûts liés à l'ingénierie, au renforcement, aux matériaux et à la main-d'œuvre qu'entraînent les installations solaires sur les toitures de bâtiments agricoles. De nombreux types de bâtiments ruraux d'âge varié ont été examinés (étables de vaches laitières, poulaillers, porcheries, remises).

Les résultats de cette étude ont révélé que les coûts liés à l'ingénierie, aux matériaux et à la main-d'œuvre à assumer pour que les bâtiments ruraux soient prêts à accueillir une installation solaire varient considérablement selon l'âge du bâtiment et la technologie solaire employée. En l'occurrence, cette préparation consiste à effectuer une visite des lieux et un examen technique complet du bâtiment et à assurer le renforcement en se servant de la main-d'œuvre et des matériaux nécessaires. Le tableau 1 résume les résultats pour l'installation de modules de silicium cristallin sur chaque toiture.

Les bâtiments dont fait état le tableau 1 n'ont pas nécessité la modification des semelles ou d'autres composantes structurales majeures. Une telle modification ferait augmenter considérablement le coût du projet.

Tableau 1. Coûts approximatifs de modification de bâtiments ruraux pour installer des panneaux solaires de silicium cristallin (en dollars de 2011)

Site	Description	Exemple	Répond aux exigences du code?	Énergie produite (kW)	Coût total ($)	Total ($/kW)
1	Poulailler de 152 m de longueur (2007)		O	232,2	20 254,00	87
2	Grange à flanc de colline (vers 1900), qualité du bois d'œuvre à déterminer		N	18,92	8 083,75	427
3	Fenil construit à la main (1973), toit à comble brisé		N	18,275	11 200,00	613
4	Remise de plain-pied (2002) avec plans		N	50,3	8 552,00	170
5	Étable à vaches laitières de plain-pied (1994)		N (contreventement latéral des fermes uniquement)	29,025	7 688,81	265
6	Étable à vaches laitières de plain-pied (2006) – fermes monopente et poutres de soutien d'acier		O	215	Installation d'un maximum de trois rangées de modules solaires	
7	Bâtiment non agricole (2000) devant répondre à des exigences différentes en vertu du code		S.O.* Le CNCBA ne s'applique pas.	55,9	32 573,00	583
8	Porcherie de plain-pied (2002) à charpente à poteaux		O	55,9	15 364,50	275
9	Hangar de plain-pied (vers 1975)		N	10,8	6 802,09	630

FACTEURS INFLUANT SUR LES COÛTS D'INGÉNIERIE ET DE RENFORCEMENT

L'âge de la structure est l'un des facteurs les plus importants qui influent sur les coûts de renforcement. Bon nombre de vieilles granges doivent être renforcées ou réparées afin de les rendre conformes aux exigences des codes applicables. Tous les joints non standard doivent être examinés soigneusement, car ils sont rares, voire uniques au bâtiment en question.

La qualité du bois d'œuvre des vieux bâtiments influe sur le degré de renforcement requis. Ainsi, il existe une différence considérable entre le bois d'œuvre de qualité faible, moyenne et supérieure en ce qui a trait à la résistance. Par conséquent, les bâtiments faits de bois d'œuvre de faible qualité sont plus coûteux à renforcer. Il faut s'attendre à assumer des coûts supplémentaires si l'on doit demander à un classeur de bois de déterminer avec précision la qualité du bois d'œuvre.

Le degré de renforcement nécessaire a une incidence sur le coût total. Dans le cas de certains bâtiments, un seul élément (p. ex. les fermes) doit être renforcé parce que d'autres composantes du bâtiment présentent une capacité portante de réserve. Lorsque d'autres composantes structurales doivent être renforcées, on peut s'attendre à ce que les coûts augmentent. Par exemple, il faut beaucoup de temps et d'argent pour accroître la taille de la semelle.

Il arrive plus rarement que l'on dispose de plans dans le cas des vieux bâtiments. S'il est possible d'en obtenir et de les vérifier, on pourra consacrer plus de temps à l'examen et à l'analyse de la structure, ce qui réduira les coûts de l'inspection du bâtiment. S'il existe des plans des fermes, il est beaucoup plus facile de déterminer le renforcement nécessaire, et on peut le faire avec plus d'exactitude. Certains fabricants de fermes utilisent un logiciel qui permet de produire facilement certaines nomenclatures.

La taille de la structure revêt aussi de l'importance. Bien que le coût total de l'installation de panneaux solaires augmente parallèlement à la taille du bâtiment, une grande installation solaire sur toiture permet de répartir les coûts fixes (p. ex. visite des lieux) et de réduire souvent le coût par kW.

SOLUTIONS DE RECHANGE AU RENFORCEMENT D'UN BÂTIMENT

Dans certains cas, il n'existe aucun moyen rentable de renforcer un bâtiment existant afin de pouvoir installer des modules de silicium cristallin sur toute la surface de la toiture. Par exemple, les fermes comportant des membrures inférieures inclinées sont problématiques si les forces de calcul sont élevées et s'il n'y a pas assez de jeu dans les joints pour permettre un renforcement adéquat. La figure 11 montre un exemple d'une telle ferme. Dans un tel cas, l'ingénieur peut installer des rangées de modules près du faîte de la ferme, où il pourrait y avoir plus de résistance. La neige est plus susceptible de glisser complètement du toit, de sorte qu'il est moins nécessaire de procéder à un renforcement. On peut aussi envisager cette option lorsqu'il est trop difficile de renforcer le bâtiment. Cela pourrait se produire dans de petits vides sous toit isolés où il est très difficile de disposer et de bien installer les matériaux de renfort.

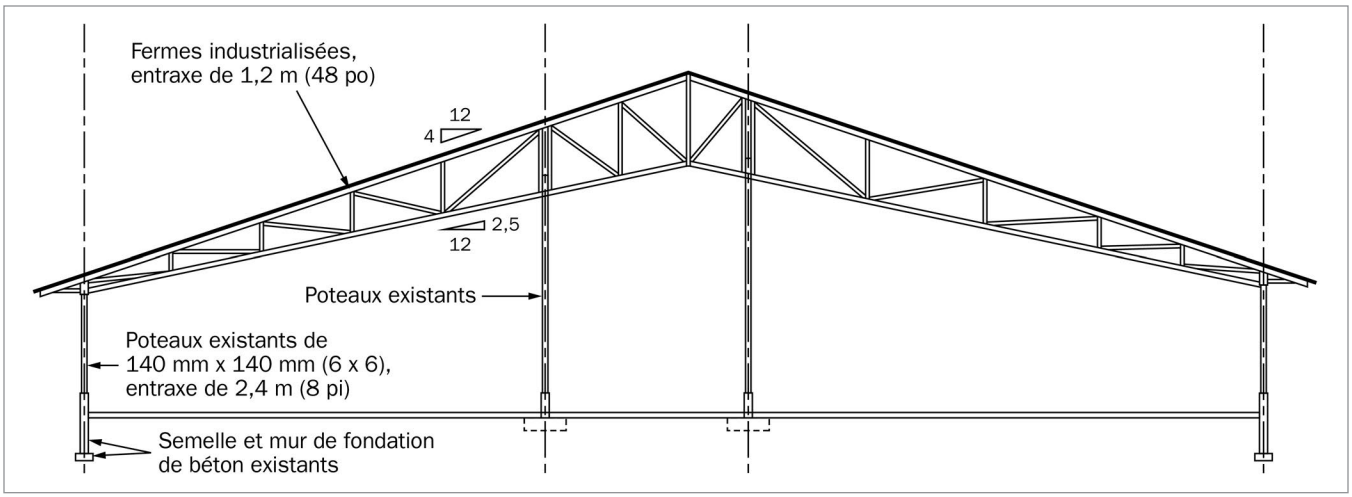


Figure 11. Fermes à membrure inférieure inclinée – les forces auxquelles sont assujettis les divers éléments pourraient être plus élevées, et il y a moins de marge de manœuvre pour assurer le renforcement.

Figure 12. Installation à couches minces – les modules ont été appliqués directement sur le toit.

Une autre façon de contourner cette difficulté est de choisir une technologie différente. Par exemple, les modules à couches minces de silicium amorphe sont moins lourds que ceux de silicium cristallin. De plus, dans certains cas, il est possible de les installer pour que le coefficient de glissement soit maintenu. La figure 12 montre un exemple d'installation à couches minces.

Dans ces cas, il faut déterminer les revenus générés et tenir compte de la baisse des coûts de renforcement pour déterminer s'il s'agit d'une solution de rechange viable. Une approche semblable peut être envisagée du côté nord d'une toiture ou à un autre endroit qui reçoit une lumière diffuse. Bien que le silicium amorphe ne produise pas autant d'électricité par pied carré (p. ex. sous une lumière solaire directe avec orientation sud), il pourrait présenter de meilleures performances sous une lumière diffuse ou dans certaines autres situations.

RÉSUMÉ

Malgré sa latitude nordique, l'Ontario présente un bon ensoleillement, et les régions rurales sont particulièrement bien placées pour en profiter. Il n'est pas particulièrement difficile d'installer des modules solaires sur une toiture, mais les travaux d'ingénierie requis pour déterminer si le bâtiment peut supporter ces modules nécessitent des connaissances spécialisées.

Questions relatives aux installations solaires sur toiture

Les renseignements qui suivent constituent un sommaire de la présente fiche technique. On y trouve certaines questions que l'ingénieur doit se poser afin de déterminer s'il serait rentable d'installer des modules solaires sur une toiture.

Le bâtiment est-il exposé au vent?

Le bâtiment pourrait avoir été conçu en tenant compte ou non du coefficient d'exposition au vent. Une telle décision repose sur l'emplacement actuel du bâtiment et sur la proximité d'obstructions, et sur les changements susceptibles de se produire dans l'avenir.

Le coefficient de pente (ou de glissement) s'applique-t-il à ce bâtiment?

Si le coefficient de glissement a été appliqué au moment de la conception initiale, mais ne s'applique plus (pour les raisons décrites), la capacité portante totale de la toiture pourrait s'accroître considérablement. Une toiture en appentis peut empêcher la neige de glisser complètement.

Comment les modules seront-ils installés?

Il faut déterminer l'incidence de la présence de rangées à des fins d'entretien ou de ventilation sur le calcul de la charge de neige. Si l'on connaît l'espacement des fixations, il est possible de calculer la charge transférée à la structure à chaque joint.

Quelles sont la qualité et la quantité de lumière solaire que reçoit la surface de la toiture?

Dans certains cas, le silicium cristallin est plus lourd et plus efficace par pied carré quand il est exposé à la lumière solaire directe, ce qui nécessite plus de renforcement. Le silicium amorphe est plus léger, présente de meilleures performances sous une lumière diffuse et nécessite moins de renforcement. Les propriétaires peuvent envisager ces deux solutions et faire leur choix en déterminant pour chacune le rendement du capital investi.

Le bâtiment répond-il aux exigences actuelles des divers codes?

S'il a été construit avant l'entrée en vigueur du dernier code, le bâtiment devra probablement être renforcé pour répondre aux exigences actuelles. La charge supplémentaire que représentera l'installation solaire devra aussi être envisagée.

Certaines personnes sont étonnées de constater que leurs bâtiments récents ne peuvent supporter la charge supplémentaire d'une installation solaire. De nombreux bâtiments modernes sont conçus pour que les éléments de structure puissent supporter précisément la charge requise, mais pas beaucoup plus. Par conséquent, même une hausse relativement légère de la charge du toit pourrait nécessiter un renforcement.

L'ensemble du bâtiment est-il adapté à une installation solaire sur toiture?

Beaucoup de personnes se concentrent sur les fermes du toit. L'ingénieur déterminera si d'autres éléments de la structure, comme les poteaux, les poutres, les semelles et les linteaux, présentent une résistance suffisante pour supporter la charge supplémentaire. Nous avons parlé des goussets, mais d'autres pièces peuvent aussi souffrir des conditions atmosphériques défavorables, comme les plaques d'assise en acier.

Le bâtiment présente-t-il des défauts?

Le bâtiment agricole pourrait être affaibli par des goussets rouillés, des composantes manquantes ou endommagées ou un contreventement inadéquat. Tous ces éléments doivent être examinés par un spécialiste.

Les travaux ont-ils été effectués conformément aux hypothèses initiales?

Dans la plupart des cas, le plan de renforcement est dressé avant que l'installation des modules solaires ne soit terminée. Ce plan décrit les renforcements généralement requis pour un type donné d'installation à un emplacement précis de la toiture. La qualité du renforcement et l'emplacement des modules solaires doivent être confirmés.

Qu'en est-il des autres facteurs?

Il y a d'autres facteurs dont s'occupe parfois le fournisseur de panneaux solaires. La résistance au soulèvement (c'est-à-dire la façon dont les rails sont fixés pour éviter que ceux-ci et les modules ne soient emportés par le vent) en est un exemple. En outre, l'utilisation concomitante de matériaux différents peut causer des réactions galvaniques et des détériorations. Le propriétaire voudra confirmer que le matériau de couverture, les rails et les fixations fonctionneront ensemble sans se détériorer prématurément, ou encore qu'aucun élément externe ne fera de l'ombre sur les modules ou ne sera une source de poussière ou de débris excessifs (p. ex. un dispositif de ventilation).

La présente fiche technique a été mise à jour par Steve Beadle, ing., ingénieriste, équipement et structures pour porcs et moutons, MAAARO.

Publié par le ministère de l'Agriculture,
de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario
© Imprimeur du Roi pour l'Ontario, 2023
ISSN 1198-7138
Also available in English (Factsheet 23-011)

Centre d'information agricole :
1 877 424-1300
1 855 696-2811 (ATS)
Courriel : ag.info.omafra@ontario.ca

ontario.ca/maaaro