

Évaluation de l'utilisation de systèmes de ventilation sous les toiles hivernales pour éviter les dommages causés par anoxie aux verts de pâturin annuel

Jim Ross¹, Darryl Asher², Darrell Tompkins¹ Ken Fry¹ et Katie Dodson¹

¹Prairie Turfgrass Research Centre

²The Glendale Golf and Country Club

Résumé

Dans les climats froids de l'Amérique du Nord, les verts de golf de pâturin annuel (*Poa annua* L.) subissent souvent des dommages durant l'hiver. Pour éviter ces dommages directement causés par les basses températures et la glace, on place des toiles imperméables équipées d'un isolant sur les verts. Le Glendale Golf and Country Club est un club de golf réputé situé à Edmonton, en Alberta, qui a connu des problèmes de dommages hivernaux causés aux verts malgré l'utilisation de toiles imperméables. Les dommages extrêmes causés durant l'hiver 2006-2007 étaient vraisemblablement imputables à l'anoxie du gazon sous les toiles hivernales. L'objectif de la présente étude était d'évaluer les divers systèmes de ventilation installés sous les toiles imperméables pour éviter l'accumulation des gaz menant aux conditions d'anoxie. L'étude a été réalisée directement sur les verts de pâturin annuel du Glendale Golf and Country Club pendant une période de trois ans débutant à l'hiver 2011-2012. Quatre systèmes de ventilation ont été installés au début du mois de novembre de chaque année avant l'arrivée de la couche de neige permanente, et leur efficacité en matière de prévention des dommages sous les toiles a été comparée. Les quatre systèmes étaient les suivants : un simple système de ventilation complémentaire, le système de ventilation complémentaire avec buses d'échappement, le système de ventilation complémentaire accompagné d'un système de ventilation passive reposant sur deux « turbines de toit » et un système comprenant le système de ventilation complémentaire et une matrice complexe de tuyaux rattachés à des buses d'échappement. Durant les trois années d'étude, aucun dommage n'a été constaté lorsque ces systèmes étaient installés sous les toiles. Tant le dioxyde de carbone que l'oxygène ont été maintenus à un niveau acceptable. Par conséquent, le système de couverture utilisé a permis de prévenir les dommages causés par le froid et les systèmes de ventilation, simples ou complexes, ont permis d'éviter les dommages associés à l'anoxie.

Introduction

Les dommages causés aux verts de golf par la saison hivernale peuvent être attribués à divers facteurs, mais les dommages causés par les basses températures et par la présence prolongée d'une couverture de glace sont des problèmes particulièrement pertinents ici au Canada. Les dommages peuvent être plus graves encore si l'espèce de gazon concernée est le pâturin annuel (*Poa annua* L.), qui est particulièrement répandu dans les verts plus âgés que l'on trouve dans les climats froids de l'hémisphère nord.

Les dommages causés par la glace peuvent survenir lorsque des cristaux de glace se forment au sein des cellules et endommagent la membrane de celles-ci en raison de leur expansion. Habituellement, à l'automne, les plantes emmagasinent des nutriments dans leurs cellules sous forme de sucres simples, un processus appelé « endurcissement ». Ces nutriments emmagasinés servent à baisser le point de congélation (plus la quantité de nutriments emmagasinée est grande, plus bas sera le point de congélation). Au printemps, quand les plantes sortent de leur dormance après l'arrivée de températures plus chaudes, elles utilisent

rapidement les nutriments emmagasinés et leur résistance au gel est donc amoindrie. Ainsi, des températures situées à peine sous le point de congélation peuvent suffire pour causer des dommages, surtout si les plantes sont immergées.

Les dommages causés par une couverture de glace sont attribuables soit au manque d'oxygène (anoxie) ou à l'accumulation de gaz toxiques sous la glace (Rochette et coll., 2006). Quand la glace se forme à la suite d'un redoux ou d'une chute de pluie en hiver, elle scelle la surface et peut interrompre le flux naturel des gaz vers et à partir de la plante. Des études antérieures ont démontré que la perte rapide de la rusticité relative du pâturin annuel commence après 45 à 60 jours de couverture de glace, tandis que les plantes non recouvertes par la glace perdent leur rusticité très lentement (Tompkins, Ross et Moroz, 2004). En revanche, l'agrotis stolonifère était toujours vivant après 120 jours de couverture glaciaire continue. Dans une étude antérieure, Beard (1964) a constaté que les dommages causés au pâturin annuel survenaient après 75 jours de couverture glaciaire continue.

De même, l'anoxie peut survenir lorsqu'on utilise des toiles imperméables pour protéger le vert du gel. Rochette et coll. (2006) ont constaté que sous les toiles imperméables, les conditions d'anoxie surviennent au fil du temps, en fonction des matières organiques contenues dans le sol du vert. Une fois que l'anoxie survient, les plantes adoptent une respiration anaérobie qui est inefficace pour briser les sucres emmagasinés et qui peut éventuellement produire des métabolites phytotoxiques comme l'éthanol et le dioxyde de carbone (Rochette et coll., 2006). Ainsi, les dommages sont le résultat d'un épuisement des réserves de nutriments, d'un manque d'oxygène ou d'une accumulation de métabolites toxiques. Il a été déterminé que la sensibilité à l'anoxie est une condition répandue parmi plusieurs espèces de plantes (Bertrand et coll., 2001).

Historique des dommages hivernaux au Glendale Golf and Country Club

Le Glendale Golf and Country Club est un club réputé d'Edmonton, en Alberta, dont les verts sont principalement constitués de pâturin annuel. Dans le passé, le club a connu des problèmes de dommages hivernaux et de nombreuses stratégies ont été mises en œuvre au fil des ans afin de prévenir les dommages.

Avant l'hiver 2006-2007, un système de couverture constitué de toiles blanches imperméables placées sur une couche de 6 mm d'isolant en mousse alvéolée a été installé. Les toiles ont été installées sur le gazon non gelé à la fin du mois d'octobre tout juste avant l'arrivée d'une épaisse couverture de neige permanente. Au printemps, les dommages étaient importants et concentrés dans le milieu des verts tandis qu'aucun dommage n'a été relevé dans les trois à cinq mètres situés en bordure des toiles protectrices (Figure 1). On avait à l'époque conclu que les dommages avaient été causés par des conditions d'anoxie présentes sous les toiles. La récupération a été longue et onéreuse.

Figure 1 – Dommages causés par l'anoxie à un vert de pâturin annuel non gelé recouvert d'une toile imperméable et d'une épaisse couche de neige arrivée tôt en saison. Notez la bonne condition du gazon au bord du vert.

Le système de couverture installé en 2007-2008 a subi deux modifications par rapport au système de l'année précédente : la couche d'isolant était constituée de film d'emballage à bulles et un système de ventilation avait été ajouté. Afin de réduire les effets potentiels de l'anoxie, des tubes de ventilation ont été installés sous les toiles et les verts ont été ventilés régulièrement en branchant des souffleuses à feuilles à ces tubes et en faisant circuler de l'air sous les toiles. La capacité de survie était meilleure, mais l'hiver avait été moins rude.

La nécessité d'assurer le suivi des conditions sous les toiles et de les améliorer

Le surintendant du club désirait assurer le suivi des niveaux de dioxyde de carbone et d'oxygène sous les toiles afin de déterminer le meilleur moment pour effectuer la ventilation. Ainsi, une étude a été entreprise avec les objectifs suivants en tête :

1. Établir un système de couverture permettant d'éviter les dommages hivernaux.
2. Établir un système permettant d'assurer le suivi de la température et des concentrations de gaz sous le système de couverture.
3. Établir un système permettant de faire circuler de l'air sous les toiles pour éviter la fluctuation des concentrations de gaz.

Méthodologie

Cette étude étalée sur trois ans a été amorcée à l'automne 2011 sur les verts principalement constitués de pâturin annuel du Glendale Golf and Country Club à Edmonton, en Alberta. Les verts de ce club sont un hybride de techniques de construction anciennes et modernes. Les verts plus anciens ont été construits à partir d'une couche de terre sur laquelle a été déposée une couche de sable pendant plusieurs années, ce qui a donné une épaisseur de 75 à 100 mm de sable en surface. Cinq verts ont été reconstruits en respectant les nouvelles spécifications de l'USGA. Deux verts ont été exclus de l'étude, car ils avaient été construits récemment et, d'après les données de l'année précédente, ne montraient pas de fluctuations importantes dans les concentrations de gaz. Les observations faites sur les deux verts exclus correspondent aux constatations de Rochette et coll. (2006).

Tous les verts ont été recouverts d'une toile blanche synthétique imperméable déposée sur un isolant. Nous avons choisi des toiles protectrices blanches, car elles sont les plus réfléchissantes, ce qui permet d'éviter de grandes fluctuations de la température à la surface du gazon. L'isolant choisi était un film d'emballage à bulles de 12 mm d'épaisseur en polyéthylène. Chaque bulle mesurait environ 25 mm de diamètre et était ouverte à sa base, ce qui permettait à l'air de circuler dans la bulle. Les toiles et l'isolant ont été installés au début du mois de novembre lors de chaque année d'étude.

Puisque l'étude a été réalisée directement sur un terrain de golf, il a été convenu qu'une ventilation complémentaire serait effectuée si les niveaux de dioxyde de carbone dépassaient les 5 % ou que les niveaux d'oxygène étaient inférieurs à 10 %. Durant la première année d'étude, ces lignes directrices ont été généralement respectées, mais durant les années suivantes, la ventilation complémentaire avait lieu plus fréquemment.

Avant l'installation du système de couverture, un système de ventilation complémentaire a été installé sur chaque vert (Figure 2). Ce système de ventilation complémentaire consistait en trois tubes de ventilation souples de 6 ml en polyéthylène percés de trous de 2,5 cm de diamètre à intervalles de 1 m. Les tubes étaient fixés à des tubes de drainage flexibles solides de 10 cm situés au bord du vert juste sous le système de couverture. Les tubes de drainage

sortaient du système de couverture et étaient fixés sur la barre en T d'une clôture à neige pour s'assurer que l'embouchure demeurerait au-delà de la couverture de neige. Quand la ventilation complémentaire était nécessaire, chaque tube de drainage était connecté à une souffleuse à feuilles (de modèle Stihl BR600 et d'un débit de 712 cfm). Une fois activées, les souffleuses à feuilles gonflaient les tubes de ventilation et les gaz se dissipaient en sortant par les bords des toiles.

Figure 2. A. Équipement de ventilation complémentaire et de suivi installé sur les verts. On voit les tubes souples, les capteurs de température et le tube d'échantillonnage. B. Diagramme illustrant la configuration du système de ventilation complémentaire.

Au même moment, de l'équipement de suivi a été installé afin de pouvoir mesurer la température et les concentrations de gaz sous les toiles. Un thermomètre portatif (Johnson Controls A419) a servi à relever les données des capteurs individuels (capteurs de température en silicone à coefficient de température positif [PTC] Johnson Controls A99BB-200C) placés à l'avant, au milieu et à l'arrière sur la surface du gazon sous l'isolant. Le dioxyde de carbone et l'oxygène ont été mesurés au moyen d'un détecteur de gaz portatif (de marque RKI Instruments Inc., modèle Eagle 71-0028RK). Un tube d'échantillonnage a été placé au sol et étendu jusqu'au milieu de chaque vert. Tant les mesures de la température que celles des concentrations de gaz ont été recueillies à la même heure chaque semaine de novembre à avril.

L'expérience a été conçue en blocs aléatoires complets avec quatre parcelles de traitement et de quatre parcelles répliquées. Les blocs ont été constitués en regroupant les verts dont les concentrations de gaz étaient semblables, selon les données relevées l'hiver précédent.

Les traitements étaient constitués de quatre systèmes de ventilation :

- Ventilation complémentaire (témoin)
- Ventilation complémentaire + buses d'échappement (échappement seulement)
- Ventilation complémentaire + « turbines de toit » (ventilation passive)
- Ventilation complémentaire + matrice de tuyaux de ventilation (tubes de ventilation).

La solution à buses d'échappement seulement était constituée de quatre tuyaux de drainage solides insérés sous la toile du côté opposé du vert par rapport au système de ventilation complémentaire (Figure 3). On estimait que ces buses d'échappement faciliteraient la circulation de l'air durant les épisodes de ventilation complémentaire et pourraient aussi permettre la circulation des gaz des zones de haute concentration vers les zones de basse concentration entre les épisodes de ventilation complémentaire. Le troisième traitement, appelé « turbines de toit », était doté d'un système de ventilation passive dans lequel des turbines de toit de 60 cm (24 po) étaient installées dans des tours de bois d'environ 2 m (6 pi) de haut (Figure 4). Deux tuyaux de drainage solides étaient attachés à chaque tour et s'étendaient sous la toile sur une distance d'au moins un mètre. Chaque tuyau solide était rattaché à un tuyau de drainage rigide perforé qui traversait le vert. Du côté opposé du vert, le tuyau de drainage perforé était rattaché à un tuyau solide qui s'étendait au-delà de la toile et était fixé à la barre en T d'une clôture à neige. Deux tours étaient installées par vert, ce qui signifie que quatre tuyaux de drainage étaient installés à environ quatre à cinq mètres d'intervalle. Le quatrième traitement, appelé « matrice de tubes de ventilation », était constitué d'une série de tubes placés sous l'isolant dans le but de multiplier les points

d'entrée et de sortie afin de favoriser la circulation des gaz (Figure 5). Six tuyaux de drainage solides ont été rattachés à des tuyaux perforés interconnectés sous les systèmes de couverture.

Figure 3. A. Système de ventilation complémentaire (centre) et buses d'échappement seulement (tuyaux placés en périphérie). B. Diagramme illustrant la configuration du système de ventilation complémentaire accompagné des quatre buses d'échappement.

Figure 4. A. Système de ventilation complémentaire (centre) et système de « turbines de toit ». B. Diagramme illustrant la configuration du système de ventilation complémentaire accompagné des deux turbines.

Figure 5. A. Système de ventilation complémentaire et matrice de ventilation. B. Schéma du système de ventilation complémentaire accompagné de la matrice de tubes de ventilation.

Résultats

Conditions climatiques – région d'Edmonton

Durant l'hiver 2011-2012, la couverture de neige était plus basse que la normale (Asher, communication personnelle, novembre 2014.). La première chute de neige importante a eu lieu le 17 novembre, mais les températures chaudes enregistrées à la fin du mois de novembre et au début du mois de décembre ont rendu la couverture de neige presque nulle. La seconde chute de neige importante a eu lieu à la fin du mois de février et est restée jusqu'à la fin du mois de mars. De façon générale, l'hiver a été très doux avec seulement une courte période (5-6 jours) de températures froides à la mi-janvier. Les températures ont alors baissé jusqu'à -30 °C avec une couverture de neige presque nulle. Ainsi, au printemps 2012, les dommages causés aux verts de golf en Alberta étaient assez importants.

Lors de l'hiver 2012-2013, la couverture de neige était largement au-dessus de la normale. La première chute de neige importante a eu lieu début novembre et la couverture de neige a atteint un maximum de plus de 100 cm. La fonte des neiges a eu lieu très tard et les verts n'ont été entièrement découverts avant qu'après la mi-avril. Les températures sont demeurées près de la normale et les périodes de froid n'ont pas semblé affecter négativement la température sous les toiles.

Durant l'hiver 2013-2014, la couverture de neige était au-delà de la normale et a persisté plus longtemps que la normale. Les températures étaient généralement plus basses que la normale pendant la majorité de l'hiver.

Températures sous les toiles

Les toiles ont bien réussi à protéger les plantes de l'exposition aux températures froides quand la ventilation avait lieu. Durant les trois années d'étude, les températures sous les toiles sont descendues jusqu'à -7 °C, mais se sont généralement maintenues entre -1 °C et 1 °C (Tableau 1). La température moyenne globale sous les toiles était de -0,45 °C (Tableau 1). En Alberta, le pâturin annuel pleinement endurci peut résister à des températures allant jusqu'à -21 °C en novembre et perd graduellement de son endurcissement durant l'hiver (Tompkins, Ross et Moroz, 2000). Les températures sous les toiles n'ont donc jamais été assez basses pour causer des dommages.

Dommmages hivernaux causés aux verts durant la période d'étude

Aucun dommage n'a été causé aux verts concernés durant les trois années d'étude. Ainsi, on peut affirmer que les toiles imperméables ont réussi à prévenir les dommages, malgré les conditions très difficiles du premier hiver, quand les températures sont tombées sous les -30 °C pendant plusieurs jours et que la couverture de neige était réduite.

Tableau 1. Sommaire des températures sous les toiles.

	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Max. (°C)	1,00	1,33	6,00
Min. (°C)	-7,00	-1,5	-3,70
Moyenne (°C)	-1,99	0,17	0,48

Aussi, l'absence de dommages indique que même le témoin (système de ventilation complémentaire) n'a pas connu d'épisode d'anoxie jusqu'au point de causer des dommages aux plantes. Cependant, il faut remarquer que la ventilation complémentaire peut avoir empêché l'accumulation de dioxyde de carbone ou le manque d'oxygène.

Effet des systèmes de ventilation sur les concentrations de dioxyde de carbone sous les toiles hivernales

Les concentrations de dioxyde de carbone ont beaucoup fluctué, ce qui a limité notre capacité à relever les différences entre les divers types de systèmes de couverture. Dans l'analyse initiale, il n'y avait pas d'interactions significatives entre les années ou entre les traitements d'une année à l'autre. Ainsi, les données ont été analysées en combinant les trois années. Aucune différence notable n'a été relevée entre les systèmes de ventilation en ce qui concerne les concentrations de dioxyde de carbone sous les toiles (Tableaux 2 et 3).

Tableau 2. Analyse des variances relatives à l'effet du système de ventilation sur les concentrations de dioxyde de carbone sous une toile.

Source	ddl	SC	CM	Obs. F	Prob. > F
Traitement	3	11,36	3,79	2,62	0,063
Erreur	44	63,56	1,44		
Total	47	74,92			

Tableau 3. Valeurs moyennes des concentrations de dioxyde de carbone associées à divers systèmes de ventilation installés sous une toile hivernale.

Système de ventilation	Valeur moyenne
Buses d'échappement seulement	4,3a
Matrice de tubes de ventilation	3,8a
Témoin (pas de buses)	3,2a
Ventilation passive	3,1a

*les valeurs moyennes suivies de la même lettre ne sont pas largement différentes si $p=0,05$.

Effet des systèmes de ventilation sur les concentrations d'oxygène sous les toiles hivernales
 Nous n'avons pas relevé de différences importantes entre les divers traitements en ce qui a trait à l'effet des systèmes de ventilation sur les concentrations d'oxygène sous les toiles (Tableau 4). Comme pour les données relatives au dioxyde de carbone, nous avons relevé une variabilité importante, mais aucun des systèmes de ventilation testés n'a démontré être supérieur au système témoin doté uniquement d'un système d'aération complémentaire.

Tableau 4. Valeurs moyennes des concentrations d'oxygène associées à divers systèmes de ventilation installés sous une toile hivernale.

Système de ventilation	Valeur moyenne*
Ventilation passive	15,3a
Témoin (pas de buses)	15,3a

*les valeurs moyennes suivies de la même lettre ne sont pas largement différentes si $p=0,05$.

Discussion

Concentrations de dioxyde de carbone et d'oxygène sous les toiles hivernales imperméables

D'un point de vue statistique, nous n'avons pas relevé de différences entre les quatre traitements de ventilation et donc l'hypothèse nulle (H_0) voulant qu'il n'y ait pas de différence entre les traitements (tous les traitements ont agi de la même manière) doit être acceptée (Tableau 1). Il faut noter que la valeur limite de rejet de l'hypothèse nulle est de 5 %; nos données ont produit une valeur F de 6 % et donc, la possibilité d'une erreur de type II doit être envisagée (Tableau 1). Les erreurs de type II se produisent lorsque statistiquement, nous devons accepter qu'il n'y avait pas de différence (H_0), même s'il y en avait. Sachant cela, selon un examen de la moyenne (valeur moyenne) des concentrations de dioxyde de carbone, les systèmes présentant les concentrations les plus faibles sont le système de ventilation passive (à « turbine de toit ») et les traitements témoins (Tableau 2).

L'absence de différences statistiquement pertinentes peut s'expliquer par la grande variabilité des traitements étudiés (Figure 6). En ce qui a trait aux niveaux de dioxyde de carbone, les données du système de ventilation passive présentent des concentrations de dioxyde de carbone très variées, allant de 0,5 % à 6,2 % (Figure 6). La ventilation active des verts faisant partie de l'étude au moyen de souffleuses à feuilles a donné des résultats semblables pour tous les traitements. Ces données justifient donc notre décision de passer des verts réels de pâturin annuel, où les dommages importants seraient inacceptables pour tous les participants, à des expériences dans une chambre de croissance en laboratoire.

Figure 6. Analyse simple de la valeur moyenne générale de dioxyde de carbone par traitement. Les losanges verts représentent les intervalles de confiance.

[Texte dans l'illustration]

% CO₂ mean = Moyenne de % de CO₂

Control = Témoin

Exhausts vents only = Buses d'échappement seulement

Passive venting = Ventilation passive

Vent tube matrix = Matrice de tubes

TRT = Traitement

Each pair student's t 0.05 = Chaque paire Loi t de Student 0,05

All pairs Tukey-Kramer 0.05 = Toutes les paires Tukey-Kramer 0,05

Dans l'ensemble, nous avons constaté que le « témoin », avec uniquement le système de ventilation complémentaire décrit à la Figure 2 combiné à de fréquents épisodes de ventilation complémentaire au moyen de souffleuses à feuilles, offrait un résultat semblable à celui de tous les autres systèmes testés. Par conséquent, nous pouvons affirmer avec assurance que dans le cadre cette étude, aucun des systèmes de ventilation complexes testés n'a permis de réduire les concentrations de dioxyde de carbone sous les toiles sous les niveaux obtenus par le traitement témoin.

Il faut se souvenir que la raison pour laquelle nous avons décidé de mener notre étude sur des verts en utilisation était l'historique de problèmes de dommages hivernaux sur ce parcours. L'étude a été entreprise avec les objectifs suivants en tête :

1. Établir un système de couverture permettant d'éviter les dommages hivernaux causés par la dessiccation, les basses températures et la couche de glace.
2. Établir un système permettant d'assurer le suivi de la température et des concentrations de gaz sous le système de couverture.
3. Établir un système permettant de faire circuler de l'air sous les toiles pour éviter la fluctuation des concentrations de gaz.

Durant les trois années d'étude, nous avons constaté des conditions climatiques dans la région d'Edmonton qui auraient normalement engendré des dommages liés au froid. L'isolant placé sous les toiles blanches imperméables a fourni une protection suffisante pour éviter les dommages liés au froid. Par exemple, durant la première année, nous avons constaté une période de températures avoisinant les -30°C pendant plusieurs jours à la mi-janvier sans couverture de neige, ce qui aurait en temps normal causé d'importants dommages aux verts de pâturin annuel. Cependant, les températures sous les toiles se sont maintenues à un niveau permettant d'éviter les dommages.

Un des problèmes associés à l'utilisation de toiles imperméables est le développement de conditions d'anoxie ou l'accumulation de gaz phytotoxiques, ce qui s'est vraisemblablement produit au club durant l'hiver 2006-2007. Comme aucun dommage n'a été constaté durant les trois années de collecte de données dans le cadre de cette étude, nous pouvons affirmer que les conditions phytotoxiques ont été évitées.

Ainsi, le premier objectif de l'étude a été atteint. Un système de couverture permettant de prévenir les dommages hivernaux causés par les basses températures a été mis en place et tous les systèmes de ventilation testés ont permis d'éviter les dommages causés par l'anoxie et l'accumulation d'éléments phytotoxiques.

Un système relativement simple de suivi du dioxyde de carbone et de l'oxygène permettant au club de surveiller les conditions sous les toiles a été mis sur pied. Ainsi, le second objectif de l'étude a été atteint. Avec le recul, il n'est pas surprenant qu'aucun dommage associé à l'utilisation de toiles imperméables n'ait été constaté, puisque nous avons mis en place un

système de ventilation afin de faire circuler l'air quand le niveau de dioxyde de carbone augmentait ou que le niveau d'oxygène baissait. Pendant la durée de l'étude, le dioxyde de carbone et l'oxygène ont été maintenus à des niveaux acceptables, même dans le cas du traitement témoin doté uniquement du système de ventilation complémentaire.

Le troisième objectif est lié à ce second objectif. Comme le personnel du club a été en mesure d'assurer le suivi des conditions sous les toiles, il a également pu effectuer la ventilation de manière à éviter d'importantes fluctuations dans les concentrations de gaz.

Il peut paraître surprenant que le traitement témoin doté uniquement du système de ventilation complémentaire se soit révélé aussi efficace que les autres systèmes. Cependant, d'un point de vue de gestion, cela peut simplement signifier que le système plus simple a aussi bien fonctionné que les systèmes plus complexes.

Malheureusement, l'étude n'a pas permis de déterminer si le système de ventilation passive (les « turbines de toit ») aurait permis de prévenir le développement des conditions anoxiques sans la ventilation complémentaire apportée par les souffleuses à feuilles. Si ce système était efficace, il permettrait d'éviter beaucoup de travail durant les mois d'hiver. Cependant, il ne serait pas logique pour un club de golf qui a connu d'importants problèmes dans le passé de courir le risque de perdre plusieurs verts. Nous espérons que les études en environnement contrôlé actuellement en cours au Collège Olds permettront d'établir des pratiques de gestion concernant l'utilisation de toiles imperméables sur les verts de golf. Plus précisément, grâce à l'établissement de seuils d'action, les surintendants connaîtront les pourcentages d'oxygène et de dioxyde de carbone précis à partir desquels ils doivent entreprendre la circulation de l'air sous les toiles.

Ouvrages cités

Beard, J.B. 1964. « The effects of ice, snow, and water covers on Kentucky bluegrass, annual bluegrass, and creeping bentgrass ». *Crop Science*. 4:638-640.

Bertrand, A., Y. Castonguay, P. Nadeau, S. Laberge, P. Rochette, R. Michaud, G. Bélanger et M. Benmoussa. 2001. « Molecular and biochemical responses of perennial forage crops to oxygen deprivation at low temperature ». *Plant, Cell & Environment*. 24:1085-1093.

Rochette, P., J. Dionne, Y. Castonguay et Y. Desjardins. 2006. « Atmospheric composition under impermeable winter golf green protections ». *Crop Science*. 46:1644-1655.

Tompkins, D.K., J.B. Ross et D.L. Moroz. 2000. « Dehardening of annual bluegrass and creeping bentgrass during late winter and early spring ». *Agronomy Journal*. 92:5-9.

Tompkins D.K., J.B. Ross et D.L. Moroz. 2004. « Effects of Ice Cover on Annual Bluegrass and Creeping Bentgrass Putting Greens ». *Crop Science*. 44: 2175-2179.