

INCIDENCE ENVIRONNEMENTALE DE LA FERTILISATION DES PELOUSES SUR LES COURS D'EAU

Guillaume Grégoire, M. Sc., agr.

Analyste technique et scientifique

Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec



FÉDÉRATION INTERDISCIPLINAIRE
DE L'HORTICULTURE
ORNEMENTALE
DU QUÉBEC

www.fihoq.qc.ca

Table des matières

1. INTRODUCTION	3
2. ABSORPTION ET RECYCLAGE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS PAR LES GRAMINÉES À GAZON	3
3. LA FERTILISATION ET LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES ÉCOSYSTÈMES DU GAZON	4
3.1 La fertilisation azotée	4
3.1.1 Le cycle de l'azote (rappel succinct)	4
3.1.2 Absorption de l'azote par les graminées.....	4
3.1.3 Les sources d'azote	5
3.1.4 Réserve en azote accumulé dans le sol	6
3.1.5 Pertes d'azote dans le sol.....	6
3.2 La fertilisation phosphatée	7
3.2.1 Le cycle du phosphore	7
3.2.2 Sources de phosphore	7
3.2.3 Absorption du phosphore par les graminées à gazon	7
3.2.4 Pertes de phosphore	8
3.3 La fertilisation potassique	8
3.3.1 Le cycle du potassium.....	8
3.3.2 Sources de potassium.....	9
3.3.3 Pertes de potassium	9
4. PRATIQUES CULTURALES AFFECTANT LA DYNAMIQUE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS	9
4.1 La tonte	9
4.1.1 Hauteur de tonte.....	9
4.1.2 Résidus de tonte	9
4.2 L'aération	9
4.3 Le terreautage	9
5. CONCLUSION	10

1. INTRODUCTION

L'entretien des pelouses en milieu urbain est au cœur d'un débat à saveur environnementale au Québec. D'une part, une fraction de la population se questionne sur l'impact environnemental de la fertilisation des pelouses. Cela est principalement dû au fait que la fertilisation des gazons a été identifiée par certaines personnes comme un des facteurs responsables de la prolifération des algues bleues observée dans certains lacs du Québec. D'autre part, quelques municipalités ont adopté des règlements visant à encadrer l'application de fertilisants sur les gazons.

Paradoxalement, la morphologie particulière des graminées à gazon rend celles-ci très efficaces pour absorber les éléments minéraux qui sont présents

dans l'environnement, que ceux-ci proviennent des processus naturels de décomposition, ou bien d'un apport provenant d'une matière fertilisante.

Afin de recenser l'état actuel des connaissances sur la dynamique des éléments nutritifs dans les pelouses, la Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec (FIHOQ) a décidé de réaliser une revue de littérature sur le sujet. Ce document représente un résumé des données colligées.

Le lecteur trouvera à la fin du document toutes les études qui appuient les informations présentées dans ce document.

2. ABSORPTION ET RECYCLAGE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS PAR LES GRAMINÉES À GAZON

Plusieurs études ont démontré que les graminées à gazon ont une grande capacité à assimiler les nutriments disponibles dans le sol ou qui leur sont fournis sous forme de fertilisants ou d'amendements. Les graminées à gazon peuvent ainsi absorber et convertir efficacement les éléments minéraux, et l'azote en particulier, en matière organique, et ce, plus efficacement que plusieurs autres graminées. Ces caractéristiques font que les pertes en éléments nutritifs provenant des gazons sont généralement plus faibles que celles provenant d'autres cultures agricoles, comme le maïs (Gross, C.M., Angle, J.S. & Welterlen, M.S. Nutrient and Sediment Losses from Turfgrass. J Environ Qual 19, 663-668 [1990]).

Les graminées à gazon peuvent développer un système racinaire important, et ainsi exploiter un grand volume de sol et absorber efficacement les éléments nutritifs. Par exemple, le système racinaire du pâturin des prés (*Poa pratensis* L. – aussi appelé Pâturin du Kentucky), la graminée à gazon la plus utilisée au Québec dans une pelouse entretenue, correspond à une biomasse végétale de 110 à 160 kg par 100 m² dans les premiers 7,6 cm de sol⁽¹⁾. On estime aussi que les 15 premiers centimètres du sol contiennent plus de 120 000 racines primaires et plus de 61 millions de poils absorbants par litre de sol, ce qui correspond à une longueur de plus de 70 kilomètres, et à une surface de contact avec le sol de 2,4 m²⁽²⁾.

Il faut aussi savoir que les racines et les feuilles des graminées à gazon sont en renouvellement constant, ce qui contribue à accroître significativement le taux de matière organique du sol. Ce rôle majeur de recyclage continu permet une amélioration et un conditionnement des sols sur lesquels pousse du gazon.

Une étude a démontré que 42 % des racines d'un gazon de pâturin des prés se renouvellent au cours d'une saison. Cela correspond à plus de 670 kg par 100 m² de biomasse végétale qui est retournée au sol chaque année en moyenne⁽³⁾. Par comparaison, le renouvellement annuel des racines de trèfle blanc (*Trifolium repens* L.), un autre couvre-sol pouvant être utilisé sur les terrains résidentiels, se situe à environ 17,5 %⁽⁴⁾.

Ce renouvellement continu des racines contribuerait à la fixation de quantités significatives (environ 1 tonne ha⁻¹ an⁻¹) de carbone atmosphérique (CO₂)⁽⁵⁾, un des principaux gaz responsables des changements climatiques.

La mort, la décomposition continue des racines et la sécrétion de substances organiques qui sont relâchées dans le sol permettent la prolifération d'une panoplie d'organismes bénéfiques⁽¹⁾.

Des chercheurs ont estimé qu'un sol engazonné contenait plus de 1 milliard de bactéries par cm² de surface de sol⁽⁶⁾. En comparaison, la biomasse microbienne d'un sol arable est de 700 kg de carbone par hectare, celle d'une litière forestière de 850 kg/C/ha et d'un gazon de 1 090 kg/C/ha^(1,7).

Plusieurs études ont démontré que les pelouses forment aussi un habitat propice au développement de plusieurs arthropodes⁽⁸⁾ qui peuvent ainsi contribuer au recyclage des éléments nutritifs⁽⁹⁾.

Ces importantes quantités de micro-organismes dans un gazon ont pour effet de dégrader efficacement les produits organiques (pesticides, protéines, azote, phosphore, etc.) qu'on y applique, en plus de recycler continuellement les nutriments qui sont disponibles dans la solution du sol⁽¹⁰⁾.

3. LA FERTILISATION ET LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES ÉCOSYSTÈMES DU GAZON

Comme toutes les plantes, les graminées à gazon ont besoin d'eau, de lumière, de gaz carbonique (CO_2) et d'éléments minéraux pour croître. Les éléments majeurs sont l'azote, le phosphore, et le potassium, ainsi qu'un certain nombre d'éléments secondaires et mineurs.

Ces éléments sont absorbés sous forme d'ions, qui peuvent provenir des processus naturels de minéralisation des réserves d'éléments que contient le sol, ou encore être apportés à la plante par des fertilisants minéraux ou organiques. Pour la plante, il ne fait aucune différence que l'azote soit apporté sous forme d'engrais synthétique ou naturel, car, dans les deux cas, la plante absorbera un ion inorganique et non pas une molécule organique complexe ⁽¹¹⁾.

3.1 La fertilisation azotée

3.1.1 Le cycle de l'azote (rappel succinct)

Sur une base de poids, l'azote représente de 1 à 2 % de la matière sèche d'une plante. Il fait partie intégrante d'une gamme d'éléments chimiques constitutifs des cellules vivantes, parmi lesquels figurent les protéines, les acides nucléiques et la chlorophylle pour ne nommer que les plus importants.

Après la photosynthèse, la fixation biologique de l'azote et son assimilation sont considérées comme les fonctions les plus importantes à l'apparition de la vie sur terre ⁽¹⁰⁾. Il va sans dire qu'une disponibilité adéquate en azote est nécessaire au bon fonctionnement de la plante, et notamment à son métabolisme.

Dans l'environnement, l'azote se présente sous des formes variées: organique, inorganique ou moléculaire. Cet élément est en interconversion continue de l'atmosphère au sol, des formes organiques aux formes inorganiques, des formes ioniques aux formes non ioniques. Le cycle de l'azote est un cycle complexe où interviennent de nombreux paramètres.

Chez la plupart des plantes, l'azote est absorbé directement du sol par les racines, sous forme d'ions nitrate (NO_3^-) ou ammonium (NH_4^+). Il faut savoir que le type de sol, le pH et le contenu en oxygène du sol, le pourcentage de matière organique et les conditions environnementales ont de grandes conséquences sur la capacité des plantes et des micro-organismes à absorber l'azote.

Si les bonnes conditions de sol ne sont pas réunies, les formes minérales de l'azote qui ne sont pas absorbées par les plantes pourront être perdues par

lessivage vers la nappe phréatique, le ruissellement par les eaux de surface ou la dénitrification vers l'atmosphère.

Dans un sol fertile, la dégradation de la matière organique (racines et feuilles mortes, microorganismes morts) fournira une partie des éléments minéraux essentiels à la croissance des plantes. Dans ce contexte, la décomposition des racines et le retour des rognures de feuilles au gazon correspondent sensiblement aux mêmes processus physico-chimiques que l'ajout d'un engrais synthétique ou de toute autre source d'azote organique (compost, farine de sang ou de poisson, etc.).

3.1.2 Absorption de l'azote par les graminées

L'absorption de l'azote par les graminées à gazon est conditionnée par plusieurs facteurs, notamment la température, l'humidité du sol, le taux de croissance de la plante, les réserves d'azote dans le sol, la quantité et la source d'azote disponible ainsi que les différences génétiques entre les espèces et cultivars de gazon ⁽¹⁰⁾.

Les gazons qui ont un système racinaire bien développé sont efficaces pour absorber l'azote, et donc à le recycler par le biais du renouvellement de ces racines et de la décomposition des vieilles feuilles. Selon plusieurs études, le feutre (composé des feuilles et des tiges mortes) constitue toujours un puits important pour l'azote appliqué, et devient ainsi une réserve d'azote qui pourra être relâché lors de sa décomposition. ¹²⁻¹⁴

Avec la technique d'isotope stable de l'azote (^{15}N) des chercheurs ont observé que 37 à 42 % de l'azote appliqué sous forme de nitrate d'ammonium dans les gazons de pâturin des prés se retrouvait dans le feutre. Ces auteurs ont également récupéré entre 73 et 95 % de l'azote appliqué dans le système (parties aériennes, feutre, sol, et racines) ⁽¹²⁾. Plusieurs autres études ^(15,16,13,14) vont dans le même sens et indiquent donc que, dans les gazons, les pertes d'azote, notamment par lessivage, sont minimales.

Afin de maximiser l'absorption de l'azote, et ainsi minimiser les pertes dans l'environnement, il est important d'appliquer l'engrais lorsque les plantes sont en croissance active. Une étude ⁽¹⁷⁾ a montré qu'on doit éviter d'ajouter de l'azote en période de canicule, à cause de la diminution du système racinaire observé par temps chaud. On sait aussi qu'une baisse de la photopériode, de la température et de la quantité de lumière reçue réduit la croissance du gazon, et par conséquent, l'absorption d'azote ⁽¹⁸⁾. On doit s'en souvenir au moment de procéder à la fertilisation.

3.1.3 Les sources d'azote

Outre l'azote provenant de la décomposition de la matière organique dans le sol, les sources d'azote peuvent être divisées en trois grands groupes, soit l'azote à libération rapide, l'azote à libération lente (y compris engrais organiques, engrais naturels, composts et amendements) et les rognures de gazon.

3.1.3.1 L'azote à libération rapide

a) L'urée

À cause de sa faible persistance ainsi que des risques élevés de brûlure à la suite de son application, l'urée utilisée pour la fertilisation des gazons subit des traitements technologiques permettant de mieux contrôler son relâchement. Ces différentes technologies seront décrites plus loin.

b) Le nitrate d'ammonium

Le nitrate d'ammonium, qui contient 34 % d'azote, entre dans la composition de certains engrais qui peuvent être utilisés sur les gazons.

c) Autres formes d'azote à libération rapide

D'autres sources d'azote à libération rapide comme le nitrate de potassium, le nitrate de calcium et le sulfate d'ammonium sont disponibles sur le marché et entrent parfois dans la composition des engrais commerciaux pour le gazon.

Certains matériaux utilisés comme source de phosphore, comme le phosphate monoammoniacal, contiennent aussi de l'azote à libération rapide.

Enfin, certaines formes d'azote d'origine naturelle, comme le nitrate du Chili, la farine de sang ou la farine de plumes, sont aussi considérées comme des engrais à libération rapide puisque leur vitesse de dégradation ressemble à celle de l'urée.

3.1.3.2 L'azote à libération lente

Afin de mieux contrôler le relâchement de l'azote provenant de l'urée, plusieurs technologies basées sur des approches chimiques et physiques ont été développées.

a) L'urée enrobée

Afin de retarder la solubilisation de l'urée, on l'enrobe dans du soufre, un polymère ou une combinaison de ces deux substances. Ainsi l'engrais se dégrade sur une longue période, ce qui permet à la plante de l'utiliser au moment où elle en a besoin.

b) L'urée formaldéhyde

Ce type d'engrais est produit avec des chaînes de molécules de polymères d'urée formaldéhyde de longueur différente, ce qui permet d'obtenir un engrais qui aura un relâchement rapide de l'azote lors de l'ap-

plication, suivi d'un relâchement plus lent et progressif pendant les semaines subséquentes. Les facteurs influençant l'activité microbienne du sol, comme la température, l'humidité, le pH et l'aération, influent sur le relâchement de l'azote.

Il est important de noter que l'urée formaldéhyde est dégradée par les microorganismes du sol, ce qui rend les éléments disponibles à la plante. Aucun formaldéhyde n'est relâché par cette réaction, puisque celui-ci est immédiatement oxydé en gaz carbonique⁽¹⁹⁾.

c) L'isobutylidène de diurée (IBDU)

Le mélange d'urée et d'isobutyraldéhyde (qui donne de l'isobutylidène de diurée ou IBDU) fournit un engrais dont le relâchement de l'azote dépend exclusivement de l'hydrolyse par l'eau.

d) L'urée stabilisée

Dans ce cas, l'urée est dite « stabilisée » par l'ajout de matériaux visant à prévenir son hydrolyse ou l'oxydation de son produit de dégradation, l'ion ammonium.

L'inhibiteur de l'uréase ralentit la conversion de l'urée en ammonium.

L'inhibiteur de nitrification empêche la conversion de l'ammonium en nitrite.

Il faut noter que peu d'études ont évalué l'efficacité des inhibiteurs d'uréase ou de nitrification sur les pertes d'azote par lessivage provenant des gazons⁽²⁰⁾.

e) Les engrais organiques, naturels et les composts

Ces trois produits constituent des engrais à libération lente (sauf pour les sources d'azote naturelles mentionnées au paragraphe *Autres formes d'azote à libération rapide*). En effet, l'azote provenant de sources organiques ou naturelles (déchets végétaux, animaux, gisements, etc.) est généralement lié à des molécules organiques complexes, comme des protéines, qui doivent être dégradées par la flore microbienne du sol afin de relâcher les éléments sous une forme assimilable par la plante. Ainsi, toute condition qui influence l'activité microbienne du sol aura un effet sur le relâchement des éléments nutritifs (température, humidité, pH, etc.).

Les composts contiennent généralement un faible pourcentage d'éléments nutritifs, et sont surtout utilisés comme amendement de sol plutôt que comme fertilisants. Cependant, leur utilisation répétée comme amendements peut mener à une augmentation importante de la teneur du sol en éléments nutritifs⁽²¹⁾. Il importe également d'employer un compost stabilisé dont le rapport C/N sera faible, à défaut de quoi, une carence en azote pourrait être observée.

3.1.3.3 Les rognures de gazon

Laissées sur place après la tonte, elles constituent aussi une source d'azote d'origine naturelle puisqu'elles en contiennent entre 4 et 4,5 %⁽¹⁰⁾. Dans une étude sur la dynamique de l'azote dans une pelouse⁽³⁶⁾, on a observé une augmentation du rendement d'environ 30 % lorsque les résidus de tonte étaient laissés sur place plutôt que ramassés. Deux autres études^(22,23) ont démontré que l'herbicyclage permet de diminuer de 50 % la quantité d'azote appliquée par rapport au témoin sur lequel les résidus de tonte étaient ramassés.

3.1.4 Réserve en azote accumulé dans le sol

Dans le sol, l'azote est entreposé sous forme organique. Une étude⁽²⁴⁾ démontre que l'accumulation de matière organique dans un gazon peut être considérable. Une autre⁽²⁵⁾ montre que cet azote organique ne redevient soluble (sous forme minérale) que très lentement (environ 2 % par année). On peut donc présumer qu'une vieille pelouse dispose d'une réserve d'azote minéralisable beaucoup plus importante qu'une pelouse jeune. Il est donc suggéré que la fertilisation en azote soit diminuée sur les pelouses âgées (établie depuis plus de 25 ans)⁽²⁶⁾ afin de minimiser les risques de lessivage. À l'heure actuelle, il n'existe cependant aucune méthode de calcul permettant d'établir le niveau des réserves d'azote minéralisable dans un sol.

3.1.5 Pertes d'azote dans le sol

Les processus naturels qui peuvent mener à des pertes en azote sont au nombre de trois.

3.1.5.1 Volatilisation et dénitrification

Ces processus, par lesquels l'azote du sol est converti en gaz et retourne dans l'atmosphère, sont complexes et influencés par de nombreux facteurs. La volatilisation ammoniacale varie selon la source de l'azote, la dose appliquée, la température, l'épaisseur du feutre, l'irrigation et les précipitations après l'application et l'humidité du sol⁽²⁷⁻³¹⁾.

La dénitrification dans les gazons et les prairies a été relativement peu étudiée à cause de la difficulté à mesurer les émissions de N_2 dans les conditions de champ. On sait toutefois qu'elle est influencée par l'humidité, la texture et la température du sol.

Ces pertes, généralement assez difficiles à mesurer au champ, sont souvent estimées à partir d'un bilan d'azote. L'azote qui n'est pas récupéré par les différents mécanismes qui sont plus facilement mesurables (prélèvement, immobilisation dans le sol et le feutre, lessivage, ruissellement) est associé aux pertes par volatilisation et par dénitrification^(14,32).

3.1.5.2 Lessivage des engrais azotés

À cause de sa grande solubilité dans l'eau, l'ion nitrate peut être sujet au lessivage. Ces pertes dépendent du type de sol sur lequel le gazon pousse, de la pluviométrie et de l'irrigation, du taux d'application, de la solubilité de produit appliqué et de la saison d'application. Cependant, la source du fertilisant, naturel ou synthétique, n'influence pas directement la perte d'azote dans le sol. En effet, toutes les formes d'azotes appliquées seront transformées en nitrate ou en ammonium par les micro-organismes du sol⁽¹⁰⁾.

Dans une revue de littérature publiée il y a une vingtaine d'années, Petrovic⁽²⁶⁾ concluait que les pertes par lessivage provenant des surfaces engazonnées étaient généralement faibles lorsque des bonnes pratiques d'entretien et de fertilisation étaient utilisées. En fait, dans les études répertoriées par cette revue de littérature, la concentration en nitrates dans le lixiviat était de loin inférieure à la limite de 10 mg L^{-1} de NO_3^- autorisée dans l'eau potable au Québec, et ce, même en appliquant des doses d'azote jusqu'à quatre fois supérieures à celles recommandées sous notre climat. Les recherches plus récentes^(13, 14, 33,34, 35) tendent à confirmer cette conclusion. En résumé, les études scientifiques publiées à ce jour démontrent que, généralement, peu de nitrates sont lessivés lorsque de bonnes pratiques de fertilisation du gazon sont mises en place. En fait, les pertes d'azote par lessivage et ruissellement d'un gazon résidentiel fertilisé correctement ne sont pas significativement différentes des pertes observées sur un gazon non fertilisé^(36,37).

Toutefois, on doit noter que, pour une même dose d'azote, l'utilisation d'engrais à libération lente permet de diminuer significativement le lessivage des nitrates par une surface engazonnée⁽³⁴⁻³⁶⁾. Parmi les autres bonnes pratiques de fertilisation, notons le fractionnement des applications, l'utilisation d'une quantité adéquate de fertilisants, et le respect d'une zone tampon de 10 à 15 mètres (selon la pente) en bordure des cours d'eau.

Il faut cependant mentionner que les risques de lessivage des nitrates sont généralement plus élevés lorsque la pelouse est en période d'établissement⁽³⁸⁾, lorsque la texture du sol est plus grossière (sol sableux)⁽²⁶⁾, et lorsque des fertilisants à libération rapide sont utilisés⁽³⁶⁾. Enfin, l'application de fertilisants pendant les périodes où la croissance des plantes est lente (soit très tôt au printemps, tard à l'automne, ou pendant les canicules estivales) peut aussi mener à une augmentation du lessivage des nitrates⁽²⁶⁾.

3.1.5.3 Ruissellement des engrais azotés

Le fort taux d'infiltration de l'eau dans le gazon et le faible mouvement d'eau de surface causé par la densité des graminées limitent grandement ^(26,39) les possibilités de ruissellement de surface provenant d'une pelouse entretenue correctement. Plusieurs études ^(40, 41) ont démontré que les pertes d'azote par ruissellement provenant des surfaces engazonnées fertilisées correctement sont généralement faibles, et souvent inférieures à celles provenant des surfaces non fertilisées. En effet, même si les autres pratiques culturales sont appliquées selon les règles de l'art, une pelouse qui ne reçoit pas suffisamment d'engrais pour combler ses besoins deviendra clairsemée et sera envahie par les mauvaises herbes, ce qui peut augmenter le ruissellement et les pertes d'éléments nutritifs ^(36,42).

Des recherches ^(43,44) ont démontré qu'une pelouse adéquatement fertilisée réduit le volume du ruissellement d'environ 50 %, et donc les pertes en éléments nutritifs, comparativement à un couvre-sol à faible entretien (plantes avec des besoins réduits en eau et en azote) et une pelouse non fertilisée.

La conclusion de ces recherches est que les pertes par ruissellement provenant d'un gazon fertilisé sont généralement plus faibles que celles provenant d'un gazon non fertilisé ou celles provenant d'autres écosystèmes ^(43,44). Toutefois, le type d'établissement (semis ou plaques de gazon), le stade de développement, ou la situation en pente influencent grandement les pertes par ruissellement ⁽²⁶⁾.

3.2 La fertilisation phosphatée

3.2.1 Le cycle du phosphore

En général, les plantes contiennent de 0,3 à 0,4 % de phosphore dans leur tissu. Cette faible teneur et le fait que l'on n'observe à peu près jamais de carence de cet élément expliquent que peu de recherches sont faites, notamment sur les gazons. Pourtant, cet élément joue un rôle central dans la physiologie des plantes et son application non conforme au bon dosage peut nuire à l'environnement, car les rejets potentiels par lessivage ou ruissellement stimulent la prolifération des algues bleu vert et contribuent au phénomène d'eutrophisation des cours d'eau et des lacs.

Le phosphore (P) est présent sous diverses formes dans le sol et sa dynamique est complexe. Ce qu'il est important de savoir, c'est qu'il est très peu mobile dans le sol¹⁰: il se lessive donc peu et se déplace très lentement de manière horizontale. Le ruissellement et l'érosion contribuent de manière plus significative aux pertes de phosphore du sol que le lessivage de celui-ci. L'absence de travail du sol dans les écosystèmes

de gazon a comme résultat la préservation de la continuité des macropores et la réduction de l'érosion du sol.

Le principal problème avec les applications de phosphore vient du fait que les doses d'application des engrais sur le gazon sont généralement basées sur les besoins en azote de la plante. Il en résulte souvent que les applications de phosphore excèdent le besoin de la culture et provoquent une accumulation dans les sols ⁽⁴⁴⁾. Cela peut mener à des situations où la quantité de phosphore appliquée dépasse de manière importante les besoins nutritifs des plantes ⁽³⁶⁾.

La disponibilité du phosphore dans le sol dépend de plusieurs réactions chimiques qui influenceront sa fixation et les autres processus du cycle du phosphore.

3.2.2 Sources de phosphore

Les superphosphates sont obtenus par le traitement de phosphore naturel insoluble avec des acides. Le phosphore monoammoniacal et le phosphore biammoniacal sont obtenus à partir de la synthèse d'ammoniac.

Les engrais naturels et les composts contiennent aussi du phosphore, qui est toutefois lié à des molécules organiques dont la dynamique dans le sol est mal connue ⁽¹⁰⁾.

Une étude ⁽²¹⁾ a démontré que l'application de compost en tant qu'amendement de sol pendant 3 ans (à une épaisseur de 12 à 24 mm par année) provoque une augmentation importante du contenu en phosphore dans le sol. L'auteur de cette étude note d'ailleurs qu'il faudrait plusieurs dizaines d'années afin d'obtenir la même augmentation avec des engrais synthétiques.

3.2.2.1 Disponibilité du phosphore dans le sol

Plusieurs facteurs influencent la disponibilité du phosphore dans le sol, comme le pH, le type de sol, la quantité de fer et d'aluminium présents dans le sol, etc.

Le phosphore provenant des engrais naturels et des composts est lié à des chaînes de carbone et resterait plus longtemps dans la solution du sol, ce qui le rendrait plus sujet au lessivage ⁽⁴⁵⁾. Toutefois, ce processus et les facteurs qui l'influencent sont mal compris actuellement.

3.2.3 Absorption du phosphore par les graminées à gazon

Il existe un équilibre entre le phosphore lié aux particules de sol et celui en solution dans le sol. Lorsque la plante absorbe un ion de la solution du sol, il est remplacé par un ion provenant de la réserve du sol afin de maintenir cet équilibre.

3.2.3.1. Mycorhizes

Ce sont des champignons qui vivent en symbiose avec les plantes. Les mycorhizes agissent comme une extension du système racinaire et permettent ainsi d'améliorer l'absorption des éléments nutritifs, et particulièrement le phosphore.

Cependant, une étude québécoise ⁽⁴⁶⁾ visant à évaluer l'efficacité des mycorhizes sur la production du gazon en plaques a démontré que l'ajout de celles-ci n'a pas permis d'améliorer la qualité du gazon, de réduire le temps de production, ou de diminuer la quantité d'intrants nécessaire à la production.

3.2.4 Pertes de phosphore

Il existe trois mécanismes par lesquels le phosphore peut se dissiper dans l'environnement:

- le lessivage: puisque le phosphore est très souvent fixé aux particules de sol, les pertes sont généralement faibles, bien que certaines conditions particulières puissent favoriser ce processus;
- l'érosion: de façon générale, elle est très limitée à cause du développement important du système racinaire des graminées à gazon, favorisé par des bonnes pratiques d'entretien ⁽⁴⁷⁾;
- le ruissellement: les pertes de phosphore surviennent généralement lorsque des particules de sols sont emportées par les eaux de surfaces et lorsqu'il y a érosion du sol. Ce phénomène est accentué dans le cas d'une pente. Plus celle-ci est importante, plus le risque de ruissellement est grand.

3.2.4.1 Lessivage du phosphore

Quelques travaux ont comparé le lessivage du phosphore dans les cultures sarclées à celui des gazons ^(48, 49, 50, 36). Toutefois, les résultats contradictoires, largement influencés par le type de sol, d'engrais et les processus naturels de relâchement du phosphore, ne permettent pas de tirer des conclusions claires.

Les études ^(51,52,53) sur le lessivage du phosphore dans les gazons sous les conditions naturelles démontrent l'influence de l'irrigation ou des précipitations, et suggèrent qu'elle est négligeable. D'autre part, des pertes en phosphore plus importantes provenant des parcelles non fertilisées (comparativement à des parcelles fertilisées) ont été observées dans au moins deux études ^(36,44).

Une étude ⁽⁴⁴⁾ a montré que les sols ayant une faible capacité de sorption, une haute teneur en matière organique, un réseau de macropores important, ou une haute teneur en phosphore présentent des risques de lessivage plus importants du phosphore. Une autre étude ⁽⁵⁴⁾ a démontré que les sols québécois contiennent généralement assez de phosphore pour

combler les besoins d'entretien du gazon. De plus, les concentrations en phosphore mesurées dans l'eau de lessivage et de ruissellement dépassent souvent le critère de prévention pour les cours d'eau au Québec, qui est de 0,02 mg/L ⁵⁵.

En tenant compte de ces données, l'utilisation d'engrais sans phosphore sur la pelouse établie permet de diminuer les risques de contamination des cours d'eau sans affecter la santé de la pelouse.

3.2.4.2 Perte par ruissellement

Comparativement aux sols agricoles labourés, l'érosion de sol et l'écoulement de surface sont très réduits dans les gazons, surtout en présence de feutre et de matière organique. Des études ^(42,44) ont démontré que le volume du ruissellement est souvent plus important sur une pelouse non fertilisée, puisque la densité de tiges y est généralement moins importante.

Des chercheurs ont observé un volume de ruissellement plus important sur une prairie composée de plusieurs espèces (graminées, herbacées et légumineuses) que sur une pelouse composée uniquement de pâturin des prés ⁽⁵⁷⁾.

On a aussi constaté que l'augmentation de la hauteur de tonte peut aussi diminuer le ruissellement ⁽⁵⁸⁾.

La concentration du phosphore de l'eau de ruissellement dépend beaucoup de l'intervalle entre l'application de l'engrais et la chute des précipitations ou l'irrigation. Une étude ⁽⁴⁰⁾ a noté que la concentration du phosphore dans l'eau de ruissellement était plus élevée lorsque l'irrigation était effectuée 4 heures après l'application de l'engrais. Plus l'intervalle est long, plus les pertes par ruissellement sont faibles. Par contre, un arrosage léger à la suite d'une fertilisation permet de faire pénétrer l'engrais dans le sol, ce qui réduit les pertes par ruissellement ⁽⁵⁹⁾.

Une étude ⁽⁴¹⁾ démontre, quant à elle, que la concentration de phosphore dissous dans l'eau de ruissellement augmente avec la dose de phosphore appliqué et tend à être plus élevée en présence de fumier composté qu'en présence d'engrais synthétique.

3.3 La fertilisation potassique

3.3.1 Le cycle du potassium

Le potassium est le seul des trois éléments majeurs qui n'entre pas dans la composition des structures de la plante. Cependant, c'est l'élément qui est présent en plus grande quantité dans la plante, derrière l'azote. On estime que le potassium constitue entre 1 et 3 % de la masse sèche foliaire du gazon ⁽¹⁰⁾. Le potassium joue un rôle dans l'osmorégulation, et donc dans le processus d'absorption de l'eau par les plantes. Pour ces raisons, la présence de potassium en quantité

suffisante dans la plante est souvent associée à une plus grande tolérance aux stress, particulièrement ceux d'origine abiotique ⁽¹⁰⁾.

On estime que 1 à 2 % du potassium présent dans le sol est disponible pour la croissance de la plante, soit en solution dans le sol, ou bien lié à la surface des colloïdes. Peu de potassium est retrouvé dans la matière organique du sol ou dans la microflore du sol. Lorsque les débris de tonte sont retournés au sol, le potassium qu'ils contiennent sera retourné à la solution du sol suite au processus de décomposition.

Puisqu'une faible proportion du potassium présent dans le sol est disponible pour la croissance des plantes, l'apport de potassium par la fertilisation est souvent nécessaire afin que celles-ci puissent croître de façon optimale.

3.3.2 Sources de potassium

Les principales sources de potassium utilisées pour fabriquer des engrais sont le chlorure de potassium, le sulfate de potassium et le nitrate de potassium. Certains engrais potassiques ont un indice de sel relativement élevé, ce qui risque de causer des brûlures sur le gazon. Comme pour l'azote, il existe des engrais enrobés qui libèrent le potassium de façon contrôlée, ce qui permet de diminuer les risques de brûlure et de lessivage ⁽¹⁰⁾.

3.3.3 Pertes de potassium

On sait que le potassium est sujet au lessivage, particulièrement sur les sols sableux fortement irrigués ⁽¹⁰⁾. Cependant, contrairement à l'azote et au phosphore, peu d'études ont étudié le lessivage du potassium sur les surfaces engazonnées, ou les impacts du potassium sur la santé des cours d'eau.

4. PRATIQUES CULTURALES AFFECTANT LA DYNAMIQUE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Outre la fertilisation, d'autres pratiques culturales visant à favoriser la croissance de la pelouse peuvent influencer le comportement des éléments minéraux appliqués sur celle-ci. Cette section vise donc à regrouper ces pratiques culturales et leurs effets sur les pertes en éléments nutritifs.

4.1 La tonte

C'est la pratique culturale qui est effectuée le plus fréquemment sur la pelouse.

4.1.1 Hauteur de tonte

Une hauteur de tonte élevée (8 cm) permet de réduire les pertes d'éléments nutritifs de trois façons: en réduisant le ruissellement de l'eau à la surface du sol ⁽⁵⁸⁾, en favorisant le développement d'un système racinaire extensif ⁽⁶⁰⁾, et en réduisant les besoins en irrigation ⁽⁶¹⁾.

4.1.2 Résidus de tonte

Tel que mentionné précédemment, les résidus de tonte contiennent des éléments nutritifs. La pratique de l'herbicyclage permet de conserver les éléments nutritifs dans l'écosystème, et de réduire les besoins en fertilisants ⁽²³⁾. Cette pratique évite aussi le transport de ces résidus vers les sites d'enfouissement par les municipalités.

4.2 L'aération

C'est une pratique culturale visant principalement à faire pénétrer de l'air dans le sol, et à décompacter celui-ci. Les sols compactés diminuent la croissance des racines de la pelouse ⁽⁶²⁾, et réduisent la pénétration de l'eau dans le sol, ce qui augmente le ruissellement ⁽⁶³⁾.

Ces deux facteurs peuvent contribuer à augmenter les pertes en éléments nutritifs vers les cours d'eau.

En modifiant la structure du sol, l'aération pourrait permettre à moyen et long terme de diminuer les pertes en éléments nutritifs provenant des fertilisants ⁽¹¹⁾. À court terme, la création de trous à sa surface peut aussi permettre à l'eau de pénétrer rapidement dans le sol sans que les éléments nutritifs n'aient pu être absorbés par les racines. De plus, les carottes extraites du sol sont sujettes à l'érosion. Peu d'études ont évalué les pertes en éléments nutritifs à la suite d'une aération.

4.3 Le terreautage

Souvent effectué après l'aération, le terreautage consiste à rajouter une couche de terreau à la surface du gazon afin que ce substrat se mélange avec le sol déjà existant. Selon la nature du terreau utilisé (par exemple le contenu de celui-ci en éléments nutritifs), cette pratique peut avoir un effet sur les pertes en éléments nutritifs. Peu d'études ont évalué les pertes en éléments nutritifs à la suite de l'application de terreau en surface des pelouses. Cependant, une étude a démontré que l'application de compost en tant qu'amendement de sol pendant 3 ans (à une épaisseur de 12 à 24 mm par année) provoque une augmentation importante du contenu en phosphore dans les premiers 5 cm du sol ⁽²¹⁾. Puisque la teneur du sol en phosphore influence directement les pertes en cet élément par ruissellement ⁽⁴⁴⁾, l'influence du terreautage sur les pertes en éléments nutritifs provenant de la pelouse doit être prise en considération.

5. CONCLUSION

Le présent document vise à présenter des données actuelles sur la dynamique des éléments nutritifs fournis par les engrais appliqués sur les pelouses en milieu urbain et rural.

En général, la densité importante de tiges des graminées à gazon ainsi que leur système racinaire très développé en font des plantes efficaces pour intercepter les éléments nutritifs. Cette efficacité est la même, que les éléments nutritifs soient d'origine naturelle (processus de décomposition, minéralisation de la matière organique, etc.) ou provenant d'engrais de synthèse.

Dans certaines études, les pertes provenant du gazon non fertilisé sont supérieures à celles du gazon fertilisé, puisque ce dernier est plus dense et a un système racinaire plus développé.

La fertilisation raisonnée, comme les autres pratiques culturales favorisant la saine croissance de la pelouse, peut contribuer à améliorer la qualité de l'eau en milieu urbain et périurbain.

Dans la majorité des études répertoriées, les pertes en azote (par lessivage ou ruissellement) se situent sous la norme québécoise de concentration dans l'eau potable. Certaines situations particulières peuvent néanmoins mener à des pertes plus importantes.

Il est donc souhaitable de sensibiliser les utilisateurs d'engrais sur les bonnes pratiques de fertilisation afin de réduire ces pertes et optimiser l'utilisation de l'azote par le gazon.

Pour le phosphore, les pertes observées sont surtout dues au ruissellement. En général, la densité du gazon permet de diminuer la vitesse de ruissellement de l'eau et de favoriser sa pénétration dans le sol, mais dans certaines situations (période d'implantation, sol gelé, l'inclinaison de la pente, etc.), le ruissellement peut être plus important. De plus, la norme québécoise pour la concentration en phosphore dans l'eau potable est beaucoup plus faible que pour l'azote, et les concentrations en phosphore répertoriées dans les différentes études dépassent souvent cette norme.

Pour ces raisons, l'utilisation d'engrais sans phosphore, ou à faible teneur en phosphore (3 % ou moins), pour l'entretien des pelouses établies est souhaitable, d'autant plus que les sols québécois contiennent généralement assez de phosphore pour combler les besoins du gazon.

Pour le potassium, peu d'études ont analysé la dynamique sur les surfaces engazonnées. On sait que le potassium est sujet au lessivage, mais on connaît peu ses effets environnementaux.

Ce document montre que la fertilisation des gazons s'inscrit dans un ensemble de pratiques. Elle doit donc se situer dans une vision large, incluant toutes les techniques d'entretien d'une pelouse durable, afin de minimiser les impacts potentiels tout en favorisant les bienfaits que procure une pelouse durable.

Références

1. Beard, J. & Green, R.L. The Role of Turfgrasses in Environmental Protection and Their Benefits to Humans. *J Environ Qual* 23, 452-460 (1994).
2. Dittmer, H.J. A Quantitative Study of the Subterranean Members of Three Field Grasses. *American Journal of Botany* 25, 654-657 (1938).
3. Falk, J.H. Energetics of a Suburban Lawn Ecosystem. *Ecology* 57, 141-150 (1976).
4. Sturite, I.; Henriksen, T.M. & Breland, T.A. Longevity of White Clover (*Trifolium repens*) Leaves, Stolons and Roots, and Consequences for Nitrogen Dynamics under Northern Temperate Climatic Conditions. *Ann Bot* 100, 33-40 (2007).
5. Qian, Y. & Follett, R.F. Assessing Soil Carbon Sequestration in Turfgrass Systems Using Long-Term Soil Testing Data. *Agron J* 94, 930-935 (2002).
6. Clark, F.E. & Paul, E.A. *The Microflora of Grassland*. Volume 22, 375-435 (1970).
7. Smith, J.L. & Paul, E.A. The role of soil type and vegetation on microbial biomass and activity. *Perspectives in microbial ecology* 460-466 (1988).

8. Rochefort, S. Impact de différents types d'entretien de pelouses sur l'abondance et la diversité des arthropodes, et potentiel des graminées endophytiques dans la lutte aux insectes ravageurs. (2006).
9. Seastedt, T.R. & Crossley, D.A. The Influence of Arthropods on Ecosystems. *BioScience* 34, 157-161 (1984).
10. Carrow, R.N.; Waddington, D.V. & Rieke, P.E. *Turfgrass Soil Fertility & Chemical Problems: Assessment and Management*. (Wiley: 2002).
11. Beard, J.B. *Turfgrass: Science and Culture*. (Prentice Hall: 1973).
12. Frank, K.W.; Gaussoin, R.E.; Riordan, T.P.; Stroup, W.W. & Bloom, M.H. Nitrogen allocation of turfgrasses: II. Recovery of ¹⁵N-labeled ammonium nitrate applied to Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *International Turfgrass Society Research Journal* 9, 277-286 (2001).
13. Frank, K.; O'Reilly, K.; Crum, J.R. & Calhoun, R.N. The Fate of Nitrogen Applied to a Mature Kentucky Bluegrass Turf. *Crop Sci* 46, 209-215 (2006).
14. Miltner, E.D.; Branham, B.E.; Paul, E.A. & Rieke, P.E. Leaching and Mass Balance of ¹⁵N-Labeled Urea Applied to a Kentucky Bluegrass Turf. *Crop Sci* 36, 1427-1433 (1996).
15. Engelsjord, M.E., Branham, B.E. & Horgan, B.P. The Fate of Nitrogen-15 Ammonium Sulfate Applied to Kentucky Bluegrass and Perennial Ryegrass Turfs. *Crop Sci* 44, 1341-1347 (2004).
16. CRAAQ. Guide de référence en fertilisation, 1^{re} édition (mise à jour). (CRAAQ: 2005).
17. Bowman, D.C.; Devitt, D.A.; Engelke, M.C. & Rufty, T.W. Root Architecture Affects Nitrate Leaching from Bentgrass Turf. *Crop Sci* 38, 1633-1639 (1998).
18. Quiroga-Garza, H.M.; Picchioni, G.A. & Remmenga, M.D. Bermudagrass Fertilized with Slow-Release Nitrogen Sources. I. Nitrogen Uptake and Potential Leaching Losses. *J Environ Qual* 30, 440-448 (2001).
19. Jahns, T. & Kaltwasser, H. Mechanism of Microbial Degradation of Slow-Release Fertilizers. *Journal of Polymers and the Environment* 8, 11-16 (2000).
20. Barton, L. & Colmer, T.D. Irrigation and fertiliser strategies for minimising nitrogen leaching from turfgrass. *Agricultural Water Management* 80, 160-175 (2006).
21. Soldat, D.J. & Petrovic, A.M. Soil Phosphorus Levels and Stratification as Affected by Fertilizer and Compost Applications (2007) à [<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/ats/research/2007/p/>]
22. Heckman, J.R.; Liu, H.; Hill, W.; DeMilia, M. & Anastasia, W.L. Kentucky Bluegrass Responses to Mowing Practice and Nitrogen Fertility Management. *Journal of Sustainable Agriculture* 15, 25 (2000).
23. Kopp, K.L. & Guillard, K. Clipping Management and Nitrogen Fertilization of Turfgrass: Growth, Nitrogen Utilization, and Quality. *Crop Sci* 42, 1225-1231 (2002).
24. Dahlman, R.C. & Kucera, C.L. Root Productivity and Turnover in Native Prairie. *Ecology* 46, 84-89 (1965).
25. Doucet, R. La science agricole : Climat, sols et productions végétales du Québec. (Berger: 1994).
26. Petrovic, A.M. The Fate of Nitrogenous Fertilizers Applied to Turfgrass. *J Environ Qual* 19, 1-14 (1990).
27. Volk, G.M. & Horn, G.C. Response curves of various turfgrasses to application of several controlled-release nitrogen sources. *Agronomy Journal* 67, 201-204 (1975).
28. Nelson, K.E.; Turgeon, A.J. & Street, J.R. Thatch Influence on Mobility and Transformation of Nitrogen Carriers Applied to Turf. *Agron J* 72, 487-492 (1980).
29. Torello, W.A.; Wehner, D.J. & Turgeon, A.J. Ammonia Volatilization from Fertilized Turfgrass Stands. *Agron J* 75, 454-456 (1983).
30. Titko, S.; Street, J.R. & Logan, T.J. Volatilization of Ammonia from Granular and Dissolved Urea Applied to Turf grass. *Agron J* 79, 535-a-540 (1987).

31. Bowman, D.C.; Paul, J.L.; Davis, W.B. & Nelson, S.H. Rapid Depletion of Nitrogen Applied to Kentucky Bluegrass Turf. *Journal of American Society of Horticultural Science* 114, 229-233 (1989).
32. Starr, J.L. & DeRoo, H.C. The Fate of Nitrogen Fertilizer Applied to Turfgrass. *Crop Sci* 21, 531-536 (1981).
33. Raciti, S.M.; Groffman, P.M. & Fahey, T.J. Nitrogen Retention in Urban Lawns and Forests (2008) à [<http://www.esajournals.org/doi/full/10.1890/07-1062.1>]
34. Guillard, K. & Kopp, K. Nitrogen Fertilizer Form and Associated Nitrate Leaching from Cool-Season Lawn Turf. *J Environ Qual* 33, 1822-1827 (2004).
35. Engelsjord, M.E. & Singh, B.R. Effects of slow-release fertilizers on growth and on uptake and leaching of nutrients in Kentucky bluegrass turfs established on sandbased root zones. *Canadian Journal of Plant Science* 77, 433-444 (1997).
36. Easton, Z.M. & Petrovic, A.M. Fertilizer Source Effect on Ground and Surface Water Quality in Drainage from Turfgrass. *J Environ Qual* 33, 645-655 (2004).
37. Morton, T.G.; Gold, A.J. & Sullivan, W.M. Influence of Overwatering and Fertilization on Nitrogen Losses from Home Lawns. *J Environ Qual* 17, 124-130 (1988).
38. Geron, C.A.; Danneberger, T.K.; Traina, S.J.; Logan, T.J. & Street, J.R. The Effects of Establishment Methods and Fertilization Practices on Nitrate Leaching from Turfgrass. *J Environ Qual* 22, 119-125 (1993).
39. Steinke, K.; Stier, J.C. & Kussow, W.R. Prairie and Turfgrass Buffer Strips Modify Water Infiltration and Leachate Resulting from Impervious Surface Runoff. *Crop Sci* 49, 658-670 (2009).
40. Shuman, L.M. Phosphorus and Nitrate Nitrogen in Runoff Following Fertilizer Application to Turfgrass. *J Environ Qual* 31, 1710-1715 (2002).
41. Gaudreau, J.E.; Vietor, D.M.; White, R.H.; Provin, T.L. & Munster, C.L. Response of turf and quality of water runoff to manure and fertilizer. *Journal of Environmental Quality* 31, 1316-1322 (2002).
42. Bierman, P.M.; Horgan, B.P.; Rosen, C.J.; Hollman, A.B. & Pagliari, P.H. Phosphorus Runoff from Turfgrass as Affected by Phosphorus Fertilization and Clipping Management. *J Environ Qual* 39, 282-292 (2009).
43. Erickson, J.E.; Cisar, J.L.; Volin, J.C. & Snyder, G.H. Comparing Nitrogen Runoff and Leaching between Newly Established St. Augustinegrass Turf and an Alternative Residential Landscape. *Crop Sci* 41, 1889-1895 (2001).
44. Soldat, D.J. & Petrovic, A.M. The Fate and Transport of Phosphorus in Turfgrass Ecosystems. *Crop Sci* 48, 2051-2065 (2008).
45. Robbins, C.W.; Freeborn, L.L. & Westermann, D.T. Organic Phosphorus Source Effects on Calcareous Soil Phosphorus and Organic Carbon. *J Environ Qual* 29, 973-978 (2000).
46. O'Donougue, L.; Carignan, A. & Martineau, C. Évaluation de l'utilisation des champignons mycorhiziens dans la production du gazon en plaques au Québec. (Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale: 2008).
47. Krenitsky, E.C.; Carroll, M.J.; Hill, R.L. & Krouse, J.M. Runoff and Sediment Losses from Natural and Man-Made Erosion Control Materials. *Crop Sci* 38, 1042-1046 (1998).
48. Culley, J.L.B.; Bolton, E.F. & Bernyk, V. Suspended Solids and Phosphorus Loads from a Clay Soil: I. Plot Studies. *J Environ Qual* 12, 493-498 (1983).
49. Brye, K.R.; Andraski, T.W.; Jarrell, W.M.; Bundy, L.G. & Norman, J.M. Phosphorus Leaching under a Restored Tallgrass Prairie and Corn Agroecosystems. *J Environ Qual* 31, 769-781 (2002).
50. Shuman, L.M. Phosphate and Nitrate Movement Through Simulated Golf Greens. *Water, Air, & Soil Pollution* 129, 305-318 (2001).
51. Branham, B.E.; Miltner, E.D.; Rieke, P.E.; Zabik, M.J. & Ellis, B.G. Groundwater contamination potential of pesticides and fertilizers used on golf courses. *Fate and Management of Turfgrass Chemicals* 66-77 (2000).

52. Heathwaite, A.L. & Dils, R.M. Characterising phosphorus loss in surface and subsurface hydrological pathways. *The Science of The Total Environment* 251-252, 523-538 (2000).
53. Sinaj, S. et al. Phosphorus Exchangeability and Leaching Losses from Two Grassland Soils. *J Environ Qual* 31, 319-330 (2002).
54. Badra, A.; Parent, L.-E.; Desjardins, Y.; Allard, G. & Tremblay, N. Quantitative and qualitative responses of an established Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) turf to N, P, and K additions. *Canadian Journal of Plant Science* 85, 193-204 (2005).
55. Galloway, J.N. & Cowling, E.B. Reactive Nitrogen and The World: 200 Years of Change. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 31, 64-71 (2002).
56. Lehman, J.T.; Bell, D.W. & McDonald, K.E. Reduced river phosphorus following implementation of a lawn fertilizer ordinance. *Lake and Reservoir Management* 25, 307-312 (2009).
57. Steinke, K.; Stier, J.C.; Kussow, W.R. & Thompson, A. Prairie and Turf Buffer Strips for Controlling Runoff from Paved Surfaces. *J Environ Qual* 36, 426-439 (2007).
58. Moss, J.Q. et al. Reducing Nutrient Runoff from Golf Course Fairways Using Grass Buffers of Multiple Heights. *Crop Sci* 46, 72-80 (2005).
59. Shuman, L.M. Runoff of Nitrate Nitrogen and Phosphorus from Turfgrass After Watering-In. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35, 9 (2004).
60. Juska, F.V. & Hanson, A.A. Effects of Interval and Height of Mowing on Growth of Merion and Common Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Agron J* 53, 385-388 (1961).
61. Madison, J.M. & Hagan, R.M. Extraction of Soil Moisture by Merion Bluegrass (*Poa pratensis* L. 'Merion') Turf, as Affected by Irrigation Frequency, Mowing Height, and Other Cultural Operations¹ (1961) à [<https://www.soils.org/publications/aj/abstracts/54/2/AJ0540020157>]
62. Carrow, R.N. Influence of Soil Compaction on Three Turfgrass Species. *Agron J* 72, 1038-1042 (1980).
63. Horn, R.; Domzzal, H.; Slowinska-Jurkiewicz, A. & van Ouwerkerk, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research* 35, 23-36 (1995).

La production de ce document a été rendue possible grâce à la contribution financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), et à un investissement important de la Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec (FIHOQ), de l'Association des services en horticulture ornementale du Québec (ASHOQ), de l'Association des producteurs de gazon du Québec (APGQ) et de l'Association des paysagistes professionnels du Québec (APPQ).

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**
Québec



FÉDÉRATION INTERDISCIPLINAIRE
**DE L'HORTICULTURE
ORNEMENTALE**
D U Q U É B E C

