

INFORMATION TO USERS

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted. Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps.

Photographs included in the original manuscript have been reproduced xerographically in this copy. Higher quality 6" x 9" black and white photographic prints are available for any photographs or illustrations appearing in this copy for an additional charge. Contact UMI directly to order.

**Bell & Howell Information and Learning
300 North Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106-1346 USA
800-521-0600**

UMI[®]



Université d'Ottawa • University of Ottawa

**EFFETS ET COMPATIBILITÉ DE LA COMBINAISON
CHAMPIGNONS ENDOMYCORHIZIENS ET FERTILISANTS
CHEZ DEUX GRAMINÉES DE GAZON :
POA PRATENSIS L. CV PARK ET
AGROSTIS STOLONIFERA L. CV. PENNCROSS**

 Catherine Podeszinski

Thèse soumise à
l'École des études supérieures et de la recherche
Université d'Ottawa
en vue de l'obtention du titre de maîtrise ès sciences

L'Institut de biologie d'Ottawa-Carleton



**National Library
of Canada**

**Acquisitions and
Bibliographic Services**

**395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

**Bibliothèque nationale
du Canada**

**Acquisitions et
services bibliographiques**

**395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-45246-8

**« Dépêchez- vous : mangez sur l'herbe.
Un jour ou l'autre, l'herbe mangera sur vous. »**

**Jacques Prévert
cité dans *Le Devoir*
23 juin 1998**

Résumé

La majorité des angiospermes établissent une association symbiotique avec les champignons endomycorhiziens à vésicules et arbuscules. De façon générale, cette symbiose favorise la prise de certains nutriments en plus d'augmenter la résistance des plantes à plusieurs stress environnementaux. Cependant, très peu d'études ont montré le rôle de ces champignons au niveau des graminées de gazon utilisées couramment sur les terrains de golf et les pelouses résidentielles. L'objectif général de cette thèse était d'étudier les effets de la symbiose entre des champignons endomycorhiziens et des graminées de gazon sous des régimes de fertilisation naturelle ou chimique au champ. Nous avons postulé que la symbiose entre ces partenaires était possible, fonctionnelle et compatible en présence de fertilisants. Pour vérifier cette hypothèse, les trois objectifs suivants ont été établis : (i) mesurer le potentiel de mycorhization de trois espèces endomycorhiziennes : *Glomus intraradices*, *G. mosseae* et *G. aggregatum* sur deux graminées de gazon : *Poa pratensis* L. cv. Park (pâturin du Kentucky) et *Agrostis stolonifera* L. cv. Penncross (agrostide stolonifère); (ii) évaluer la compatibilité entre les champignons endomycorhiziens et les fertilisants chimiques et naturels et (iii) comparer les paramètres physiologiques des gazons inoculés ou non en fonction des différents types de fertilisation. Cette étude a été réalisée sur une période de 17 mois s'échelonnant de juin 1996 à octobre 1997 sur deux sites, Clarence Creek (CC) et Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) d'Ottawa , respectivement pauvre (46 ppm) et riche (270 ppm) en phosphore. Au total, 96 parcelles réparties aléatoirement dans chacun des sites ont servi à cette étude.

Les résultats indiquent que les trois espèces endomycorhiziennes colonisent les racines des deux graminées de gazon et ce autant sous un régime de fertilisation avec engrais naturel que chimique. Les champignons endomycorhiziens ont influencé les concentrations de certains éléments nutritifs dans les feuilles des deux graminées, plus particulièrement lors de la phase d'établissement (1996). Ces effets semblent avoir été masqués une fois les graminées de gazon bien établies (1997). La mycorhization ne semble pas avoir eu d'effets marqués en ce qui a trait aux autres paramètres physiologiques (p. ex. chlorophylle, biomasse, C/N, etc.) mesurés dans cette étude.

Afin de comprendre la dynamique particulière des graminées de gazon constituées de milliers de plantules individuelles, nous avons effectué une expérience en serre selon le même dispositif expérimental qu'au champ. Le but de cette expérience était d'étudier les effets des champignons endomycorhiziens sur des plantules individuelles de gazon en présence de fertilisants. Les résultats obtenus ont montré un effet très important des fertilisants sur la croissance des deux graminées alors que les champignons endomycorhiziens n'ont eu aucun effet significatif. Cette étude soutient l'hypothèse voulant que les champignons endomycorhiziens ont le potentiel de coloniser le système racinaire du pâturin du Kentucky et de l'agrostide stolonifère. Nos résultats indiquent des effets significatifs de la colonisation endomycorhizienne sur la concentration de certains éléments minéraux dans les feuilles. La compatibilité des champignons endomycorhiziens avec les fertilisants naturels permet d'envisager une approche plus biologique dans la production et l'entretien des pelouses. Cette étude soulève aussi de nouveaux aspects quant à la compréhension de la symbiose mycorhizienne chez des plantes vivant en population à densité élevée.

Abstract

Most angiosperms establish symbiotic associations with vesicular and arbuscular mycorrhizae. These symbioses are known to favor the uptake of nutrients and increase plant resistance to many environmental stresses. Though, little attention has been given to the specific role played by AM fungi when interacting with turfgrass species commonly used on golf courses or residential lawns. The general objective of this thesis was to study the interactions between AM fungi and turfgrass species in the presence of natural or chemical fertilizers. We had hypothesized that this symbiosis is possible, functional and compatible in the presence of fertilizers. To test this hypothesis, we have set three objectives : (i) estimate colonization rate for three AM fungi: *Glomus intraradices*, *G. mosseae* et *G. aggregatum* on two turfgrass species *Poa pratensis* L. cv Park and *Agrostis stolonifera* L. cv Penncross; (ii) evaluate the compatibility between natural and chemical fertilizers and AM fungi, and (iii) compare the effects of AM colonization on different physiological parameters in turfgrass. This study was performed over a period of 17 months between June 1996 and October 1997 on two different sites, Clarence Creek and the Central Experimental Farm (Ottawa), respectively low (46ppm) and high (270ppm) in soil phosphorus status. In total, 96 plots were randomly distributed on each sites. Results indicate that all three species of AM fungi colonize turfgrass roots under both regimes of fertilization. AM fungi influenced nutrient concentrations in leaves for both species in the establishment year (1996) but their effects were overshadowed in 1997. The AM colonization had little influence on the other physiological parameters (i.e., chlorophyll, biomass, C/N ratios, etc.)

To investigate the dynamic of turfgrass community, we performed a greenhouse experiment following the same experimental design as in the field. The objective was to study the effects of AM fungi on individual plants of turfgrass in the presence of fertilizers. Results obtained show a very strong fertilizer effect where no AM fungi had no significant effect.

The overall results confirm the hypothesis that Kentucky Bluegrass and Creeping Bentgrass can be colonized by AM fungi. We observed significant increases in concentration of some nutrients in the leaf tissues. The compatibility of AM fungi with natural fertilizers may lead to a more biological approach in the production and management of turfgrass. Finally, this study brings new elements to help understanding the interaction between AM fungi and group of plants living in community or at high density levels.

REMERCIEMENTS

Je voudrais dans un premier temps remercier sincèrement ma directrice de recherche Dr C. Charest pour le support reçu durant ces deux années ainsi que les membres de mon comité Dr M. Smith (Université Carleton) et Dr J.T. Arnason (Université d'Ottawa) pour leurs judicieux conseils.

Un très grand merci tout particulier au Dr Y. Dalpé (Agriculture et Agroalimentaire Canada) pour m'avoir fait découvrir le merveilleux monde des mycorhizes et pour sa patience, sa disponibilité et son ouverture d'esprit qui m'ont grandement aidée à réaliser ce projet.

Merci également à tous les techniciens et collègues de travail qui m'ont aidée de près ou de loin à mener à terme cet ambitieux projet, en particulier Caroline, Alicja, Wendy, Jocelyn, Sylvie, Catherine et Subramanian. Un remerciement spécial à Madame Carole Lafontaine (Agriculture et Agroalimentaire Canada) pour les analyses élémentaires de carbone et d'azote, Monsieur Richard Cloutier et Madame Viviane Deslauriers (Agriculture et Agroalimentaire Canada) pour l'analyse de sols, Monsieur John Loop (Université d'Ottawa) et Madame Sylvie Ouellet (Premier Tech.) pour les analyses minérales. Un gros merci également au Dr D. Currie et Dr S. Findlay pour leurs précieux conseils pour l'analyse statistique de mes résultats.

J'aimerais grandement remercier également Ecoval Technologies Inc. pour m'avoir octroyé une bourse d'étude dans le cadre d'une entente de frais partagés entre Premier Tech., Ecoval Technologie Inc., Agriculture et Agroalimentaire Canada et l'Université d'Ottawa. Un merci plus particulier au Dr Pierre Lafontaine pour son aide constante et au Dr Michel Caron pour m'avoir fait confiance dans ce projet. De plus, j'aimerais souligner le soutien technique important de la compagnie Premier Tech. et tout particulièrement l'aide du Dr Peter Moutoglis et du Dr Serge Gagné.

Enfin, j'aimerais adresser mes plus sincères remerciements à mes parents Nicole et Michel pour m'avoir donné les outils et le courage de poursuivre mes rêves, à ma soeur Nathalie pour ses encouragements continuels ainsi qu'à Carl pour son amour, sa patience et sa compréhension dans les moments plus difficiles.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	i
Abstract	iii
REMERCIEMENTS	v
Table des matières	vi
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xii
Liste des abréviations	xiv
INTRODUCTION	1
1.0 Revue de littérature	2
1.1 Origine et historique des graminées de gazon	2
1.2 Les graminées de gazon : un survol	3
1.3 L'importance du gazon	4
1.4 Processus de germination	7
1.5 Le développement des feuilles	8
1.6 La croissance des racines	10
1.7 L'état des recherches sur le gazon	11
2.0 Les mycorhizes	12
2.1 Origine	12
2.2 Différents types de mycorhizes	12
2.3 Les Glomaceae	14
2.4 Le processus de colonisation	15
3.0 Aspect nutritionnel	16
3.1 Azote	16
3.2 Potassium	17
3.3 Phosphore	18
3.4 Autres macroéléments : Ca, Mg et S	19
3.5 Les microéléments : Fe, Mn, Cu et Zn	20

4.0 Les fertilisants	21
4.1. Engrais à relâchement rapide	21
4.2 Les engrais à relâchement lent	22
4.2.1 Les engrais naturels (ex. ECOVAL)	22
4.2.2 Les produits organiques de synthèse (IBDU & UF)	23
4.2.3. Les produits enrobés (SCU et RCU, ex. BOTANIX)	23
MATÉRIELS ET MÉTHODES	25
1.0 Organismes utilisés	25
1.1 Le pâturin du Kentucky (<i>Poa pratensis</i> L.)	25
1.2 L'agrostide stolonifère (<i>Agrostis stolonifera</i> L.)	26
1.3 <i>Glomus intraradices</i>	27
1.4 <i>Glomus mosseae</i>	27
1.5 <i>Glomus aggregatum</i>	28
1.6 Production de l'inoculum	28
1.7 Estimation de la quantité de propagules dans l'inoculum	29
2.0 Dispositif expérimental.	31
2.1 Description des types de sol.	31
2.2 Préparation du terrain pour Clarence Creek- 1996	31
2.3 Préparation du terrain à la Ferme Expérimentale Centrale- 1996	36
2.4 Semis et inoculation mycorhizienne	36
2.5 Arrosage	38
2.6 Fertilisation	39
2.7 Coupe	39
2.8 Conditions environnementales au champ	39
3.0 Méthode de digestion des échantillons- 1996	40
3.1 Analyses minérales des feuilles- 1996	40
3.2 Digestion des échantillons	41
3.3 Analyse minérale 1997	41
3.4 Analyse élémentaire C et N- 1996-97	42
3.5 Analyse des sols- 1996-97	42
3.6 Détermination du pH	42
4.0 Coloration des racines	44
4.1 Montage et observation des racines	44
5.0 Extraction des spores indigènes	45
5.1 Montage et identification des spores indigènes	48

6.0 Analyse de la chlorophylle - 1996	48
6.1 Analyse de la chlorophylle - 1997	49
7.0 Mycorhization de plantes isolées	49
8.0 Estimation de la surface engazonnée	50
8.1 Estimation de la couleur	50
8.2 Estimation de la hauteur moyenne	50
8.3 Estimation de la longueur des racines	51
RÉSULTATS	52
1.0 Colonisation racinaire- 1996	52
1.1 Colonisation racinaire- 1997	55
2.0 Analyses minérales foliaires-1996/97	58
2.1 Azote (N)	58
2.2 Phosphore (P)	59
2.3 Potassium (K)	60
2.4 Calcium (Ca)	61
2.5 Magnésium (Mg)	62
2.6 Soufre (S)	64
2.7 Fer (Fe)	72
2.8 Manganèse (Mn)	73
2.9 Cuivre (Cu)	74
2.10 Zinc (Zn)	75
3.0 Ratio carbone/azote	83
4.0 Taux de croissance	87
5.0 Hauteur cumulée	92
6.0 Observations visuelles	92
7.0 Analyse de chlorophylle	95
8.0 Diamètre des racines	99
8.1 Longueur totale des racines	99
9.0 Mycorhization de plantes isolées	105
9.1 Pourcentage de colonisation racinaire	105
9.2 Biomasse fraîche des feuilles	107

9.3 Biomasse fraîche des racines	107
9.4 Ratio racine/feuille	109
9.5 Croissance cumulée	109
9.6 Longueur totale des racines	109
9.7 Diamètre moyen des racines	109
DISCUSSION	117
1.0 Colonisation racinaire	118
2.0 Nutrition minérale	123
2.1 Phosphore	124
2.2 Azote	126
2.3 Potassium	129
2.4 Les macroéléments Ca, Mg et S	131
2.5 Les microéléments Fe, Cu, Zn et Mn	133
3.0 Ratio carbone/azote	135
4.0 Taux de croissance et hauteur cumulée	135
5.0 Observations visuelles et chlorophylle	137
6.0 Dynamique des communautés	137
7.0 Mycorhization de plantules isolées	140
8.0 Conclusion générale	141
RÉFÉRENCES	143
ANNEXES	155
Annexe 1.0: Calendrier des fertilisations 1996 et 1997	155 et 156
Annexe 1a: Quantité annuelle de fertilisant appliquée	157
Annexe 2: Résumé des températures et des précipitations pour 1996 et 1997	158
Annexe 3a/b Techniques pour l'analyse minérale des échantillons	159
Annexe 4a: Analyses d'ANOVA pour les minéraux chez le pâturin	160

Annexe 4b:	Analyses d'ANOVA pour les minéraux chez l'agrostide	161
Annexe 4c:	Analyses d'ANOVA pour les ratios C/N	162
Annexe 4d:	Analyses d'ANOVA pour les taux de croissance	163
Annexe 4e:	Analyses d'ANOVA pour la hauteur cumulée	164
Annexe 4f:	Analyses d'ANOVA pour les observations visuelles	165
Annexe 4g:	Analyses d'ANOVA pour la chlorophylle	166
Annexe 4h:	Analyses d'ANOVA pour le diamètre des racines	167
Annexe 4i:	Analyses d'ANOVA pour la longueur des racines	168
Annexe 4j:	Analyses d'ANOVA pour les paramètres morphologiques des plantules isolées - partie aérienne	169
Annexe 4h:	Analyses d'ANOVA pour les paramètres morphologiques des plantules isolées - partie racinaire	170
Annexe 5.0 :	Composition des fertilisants utilisés	171

Liste des tableaux

Section Matériels et Méthodes:

Tableau 1.0	Technique de dénombrement (<i>Most probable number</i>)	30
Tableau 2.0	Analyse minérale des sols 1996-1997	35
Tableau 3.0	Analyse de pH du sol	43
Tableau 4.0	Composition sporale indigène	47

Section des résultats:

2. Analyses minérales

Tableau 2.1	Concentration des macroéléments chez le pâturin du Kentucky pour l'été 1996	66
Tableau 2.2	Concentration des macroéléments chez l'agrostide stolonifère pour l'été 1996	67
Tableau 2.3	Concentration des macroéléments chez le pâturin du Kentucky pour l'automne 1996	68
Tableau 2.4	Concentration des macroéléments chez l'agrostide stolonifère pour l'automne 1996	69
Tableau 2.5	Concentration des macroéléments chez le pâturin du Kentucky pour l'automne 1997	70
Tableau 2.6	Concentration des macroéléments chez l'agrostide stolonifère pour l'automne 1997	71
Tableau 2.7	Concentration des microéléments chez le pâturin du Kentucky pour l'été 1996	77
Tableau 2.8	Concentration des microéléments chez l'agrostide stolonifère pour l'été 1996	78
Tableau 2.9	Concentration des microéléments chez le pâturin du Kentucky pour l'automne 1996	79
Tableau 2.10	Concentration des microéléments chez l'agrostide stolonifère pour l'automne 1996	80
Tableau 2.11	Concentration des microéléments chez le pâturin du Kentucky pour l'automne 1997	81
Tableau 2.12	Concentration des microéléments chez l'agrostide stolonifère pour l'automne 1997	82
Tableau 3.0	Synthèse des principaux résultats	116b

Liste des figures

Section Introduction:

Figure 1.0	Représentation schématique d'une graminée de gazon	9
Figure 2.0	Représentation schématique de trois types de mycorhizes	13. 12

Section Matériels et Méthodes:

Figure 1.1	Représentation schématique de la distribution aléatoire des parcelles pour les traitements de fertilisation pour 1996 et 1997	32
Figure 1.2	Représentation schématique de la distribution aléatoire des parcelles de graminées de gazon	33
Figure 1.3	Représentation schématique de la distribution aléatoire des parcelles pour les traitements mycorhiziens	34
Figure 2.0	Représentation visuelle des parcelles de gazon au champ	37
Figure 3.0	Racines d'agrostide stolonifère colonisées par <i>G. intraradices</i>	46

Section des résultats:

1. Colonisation racinaire

Figure 1.1	Moyenne des pourcentages de colonisation racinaire pour l'été 1996	53
Figure 1.2	Moyenne des pourcentages de colonisation racinaire pour l'automne 1996	54
Figure 1.3	Moyenne des pourcentages de colonisation racinaire pour l'été 1997	56
Figure 1.4	Moyenne des pourcentage de colonisation racinaire pour l'automne 1997	57

3. Ratio carbone/azote

Figure 3.1	Ratio C/N pour l'été 1996	84
Figure 3.2	Ratio C/N pour l'automne 1996	85
Figure 3.3	Ratio C/N pour l'automne 1997	86

4. Taux de croissance

Figure 4.1	Taux de croissance pour l'été 1996	88
Figure 4.2	Taux de croissance pour l'automne 1996	89
Figure 4.3	Taux de croissance pour l'été 1997	90
Figure 4.4	Taux de croissance pour l'automne 1997	91

5. Hauteur cumulée

Figure 5.1	Hauteur cumulée pour la saison 1997	93
------------	-------------------------------------	----

6. Observations visuelles

Figure 6.1	Observations visuelles pour la saison 1997	94
------------	--	----

7. Analyse de chlorophylle

Figure 7.1	Concentration de chlorophylle dans les feuilles lyophilisées pour l'été 1996	96
Figure 7.2	Concentration de chlorophylle dans les feuilles lyophilisées pour l'automne 1996	97
Figure 7.3	Concentration de chlorophylle dans les feuilles fraîches pour l'automne 1997	98

8. Paramètres racinaires

Figure 8.1	Diamètre des racines pour l'été 1997	101
Figure 8.2	Diamètre des racines pour l'automne 1997	102
Figure 8.3	Longueur totale des racines pour l'été 1997	103
Figure 8.4	Longueur totale des racines pour l'automne 1997	104

9. Expérience sur plantules individuelles

Figure 9.0	Moyenne des pourcentages de colonisation racinaire	106
Figure 9.1	Représentation visuelle des plantules individuelles	108
Figure 9.2	Biomasse fraîche des feuilles	111
Figure 9.3	Biomasse fraîche des racines	112
Figure 9.4	Ratio racine/feuille	113
Figure 9.5	Croissance cumulée	114
Figure 9.6	Longueur totale des racines	115
Figure 9.7	Diamètre moyen des racines	116

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES SYMBOLES

av. J-C	avant Jésus Christ
ppm	partie par millions
min.	minute
° C	degré Celcius
cm	centimètre
mm	millimètre
m ²	mètre carré
ha	hectare
ml	millilitre
pi ²	pié carré
mg/g	milligramme par gramme
kg/ha	kilogramme par hectare
g/L	gramme par litre
sp.	espèce
cv.	cultivar
NO ₃ ⁻	ion nitrate
NH ₄ ⁻	ion nitrite
CO ₂	dioxyde de carbone
GI	<i>Glomus intraradices</i> Schenck & Smith
GM	<i>Glomus mosseae</i> (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe
GA	<i>Glomus aggregatum</i> Schenk & Smith
T	Témoin non inoculé
AAC	Agriculture et Agroalimentaire Canada
CC	Clarence Creek
MPN	Technique de dénombrement (<i>Most probable number</i>)
G.	<i>Glomus</i>
PVLG	<i>Polyvinyl-alcohol-lactic acid-glycerol medium</i>
Rpm	Rotation par minute

Introduction

Les graminées de gazon sont des plantes qui requièrent un entretien constant. L'ajout important de fertilisants chimiques et d'eau ainsi que l'utilisation de pesticides et d'herbicides pour leur croissance et leur entretien ont incité plusieurs chercheurs à trouver de nouvelles avenues plus favorables à l'environnement. De nombreuses études ont montré que les mycorhizes jouent un rôle important dans l'absorption des minéraux, notamment celle du phosphore (McArthur et Knowles, 1993) et de l'azote (Tobar *et al.*, 1994) et de quelques microéléments comme le cuivre et le zinc. De plus, les mycorhizes agissent contre certains pathogènes racinaires (Benhamou *et al.*, 1994) et jouent un rôle dans la résistance aux différents stress environnementaux (Augé *et al.*, 1994; Subramanian et Charest, 1995). L'association des graminées de gazon avec des champignons mycorhiziens en combinaison avec l'utilisation de fertilisants naturels permettent d'envisager une approche plus biologique pour la production et l'entretien des pelouses. Le présent projet se propose d'étudier certains aspects de cette symbiose. Les champignons endomycorhiziens établissent en serre une symbiose avec des graminées de gazon (Koske *et al.*, 1997; Charest *et al.*, 1997). Ces résultats nous portent à croire que cette symbiose est également possible au champ. Pour vérifier ceci, nous avons évalué le pourcentage de colonisation de trois espèces endomycorhiziennes en association avec deux graminées de gazon. Les champignons endomycorhiziens peuvent influencer l'absorption de certains minéraux et d'autres paramètres physiologiques chez certaines graminées en conditions de serre et au champ. Nous avons identifié et analysé en condition de champ les changements physiologiques chez deux graminées de gazon et ce en fonction de trois espèces endomycorhiziennes.

La colonisation par les champignons endomycorhiziens peut être influencée par les concentrations de certains minéraux dans le sol, notamment le phosphore (Rabatin, 1979; Rilling *et al.*, 1998). Comme les graminées de gazon sont souvent fortement fertilisées, nous avons voulu vérifier si la présence de fertilisants chimiques ou naturels influençait la symbiose des trois champignons endomycorhiziens avec les deux graminées de gazon étudiés. Afin de déterminer si la densité élevée des populations de graminées de gazon avait une influence sur la symbiose mycorhizienne, nous avons réalisé une expérience sur des plantules isolées en conditions de serre.

1.0 Revue de littérature

1.1 Origine et historique des graminées de gazon

La dénomination « graminée de gazon » est un concept relativement moderne mais l'origine des graminées pourrait remonter aussi loin que le Crétacé et le début du Tertiaire, soit il y a près de 70 millions d'années (Harlan, 1956). Les premières mentions de l'utilisation des graminées dans les jardins remontent aussi loin que la dynastie Han alors que l'empereur Wu Ti (157-87 av. J.-C.) gardait 30 000 esclaves pour entretenir ses jardins. D'ailleurs, de nombreuses représentations de jardins peuvent être vues sur de très vieux tapis persans (Rohde, 1927).

La présence des graminées suit l'évolution de l'histoire comme un « fossile vivant » (Monro, 1953). Plusieurs activités sportives ont contribué à faire évoluer la présence du gazon dans notre environnement. Dans les années 1300, le jeu de bowling sur gazon va être interdit sous prétexte qu'il interférait avec la pratique de l'arc.

Mais c'est sans doute le golf qui va donner au gazon ses lettres de noblesse. Le golf originaire des Pays-Bas va se répandre en Écosse et en Angleterre pour ensuite devenir très populaire aux États-Unis au début du siècle. Enfin le cricket, que la classe dirigeante anglaise affectionne, va ensuite contribuer à élargir l'utilisation des graminées de gazon dans tous les territoires, colonies et protectorats de l'Angleterre. Maintenant le gazon est répandu dans presque tous les coins du monde et est l'objet de nombreuses recherches qui visent toujours à son amélioration et ce dans un contexte de gestion intégrée.

1.2 Les graminées de gazon : un survol

Seule une douzaine d'espèces sont utilisées comme graminées de gazon car elles sont capables de former des communautés de plantes résistantes à la coupe et au piétinement. Toutes les graminées font partie d'une même et seule famille, soit celle des Poaceae. À l'intérieur de cette famille, on retrouve six sous-familles incluant un total de 25 tribus, 600 genres et près de 7 500 espèces (Turgeon, 1991) répandues partout dans le monde. Toutes les graminées de gazon sont regroupées en trois sous-familles : les Festucoïdeae, les Eragrostoïdeae et les Panicoïdeae (Turgeon, 1991). Les Festucoïdeae regroupent les espèces tolérant des températures plutôt fraîches (15-25 °C), alors que les Eragrostoïdeae et les Panicoïdeae regroupent les espèces préférant des températures plus chaudes (26-32 °C). Les gazons de type froid, utilisés pour cette étude, fixent le carbone via le cycle de Calvin (C₃). Ces graminées de gazon emmagasinent les sucres surtout sous la forme de fructanes, de courtes chaînes contenant de 26 à 260 unités à 6-carbones de glucose et de fructose (Turgeon, 1991).

1.3 L'importance du gazon

L'industrie du gazon a pris depuis le début du siècle un essor considérable partout dans le monde. Au Canada, la valeur des ventes de gazon s'élève à près de 75 millions de dollars annuellement. Au Québec et en Ontario, l'industrie du gazon a un impact économique non négligeable avec des ventes annuelles de l'ordre de 28,7 et 23 millions de dollars, respectivement. Près de 8 900 hectares sont utilisés chaque année pour la culture du gazon au Canada dont 3 200 hectares environ pour l'Ontario et le Québec (Statistique Canada, 1995).

La superficie des terrains résidentiels au Québec est de 200 m² en moyenne, ce qui correspond à près de 26 862 ha de gazon. L'entretien de ces surfaces offre aux diverses entreprises un marché potentiel estimé à près de 2,7 millions de dollars par année (Desjardins, 1997). En comparaison, aux États-Unis, on estime à 16 milliards de dollars US les retombées économiques pour le seul secteur de l'entretien des pelouses résidentielles. Certes, l'entretien résidentiel n'est pas le seul secteur économique à bénéficier de cette manne puisque l'impact économique du gazon se fait également sentir dans des domaines aussi variés que la gestion des terrains de golf, des aires de jeux et des autoroutes en passant par les parcs et les cimetières. La valeur économique du gazon prend tout son sens lorsqu'on la compare avec l'ensemble des grandes cultures du Québec. Ainsi l'industrie du gazon (146,65 millions de dollars) génère des retombées économiques comparables à la valeur à la ferme de la production de maïs-grain (148,1 millions de dollars) et des légumes (155 millions de dollars). Ces chiffres placent l'industrie du gazon parmi les secteurs les plus importants et les plus dynamiques du monde agricole (Desjardins, 1997). En 1994, l'industrie des pépinières canadiennes a fourni près de 3 910 emplois au Canada, dont 380 au Québec et 1 900 en Ontario (Statistique Canada, 1995).

Au-delà de sa valeur économique, le gazon joue un rôle important au niveau de l'amélioration de la qualité de l'air. En effet, la plante de gazon est en mesure d'emprisonner dans ses feuilles des quantités appréciables de poussières et de résidus contenus dans l'air. En maintenant une pelouse dense et en santé, le nombre de mauvaises herbes responsables de plusieurs cas d'allergie est grandement diminué. La contribution du gazon à l'amélioration de la qualité de l'air comprend également la libération de quantité importante d'oxygène dans l'atmosphère. Une surface de 2 500 pieds carrés bien entretenue peut subvenir aux besoins en oxygène d'une famille de quatre personnes (Shoulders, 1987). De plus, les plantules composant le gazon absorbent des quantités importantes de dioxyde de soufre, d'ozone, de fluorures d'hydrogène et de certains nitrates polyacétylés (Roberts et Roberts, 1989).

Les pelouses contribuent dans un même ordre d'idée à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissant comme filtre pour les eaux de ruissellement et en envoyant dans les nappes phréatiques de l'eau absente de sédiments. Un bon système racinaire permet de contrôler l'érosion du sol, notamment en bordure des routes et dans les zones de fortes pentes (Roberts et Roberts, 1989).

Lorsque les plantes sont exposées à la lumière, elles absorbent une partie des radiations. Grâce à l'évapotranspiration, les plantes peuvent abaisser leur température et ainsi contribuer à une baisse totale de la température ambiante (Carleton, 1971). Lors de journées chaudes, Emmons (1984) a observé des différences de 4 °C entre la surface d'un trottoir et une pelouse de gazon. Ces différences de température se compareraient à l'utilisation de 70 tonnes d'air climatisé (Shoulders, 1987).

L'aménagement stratégique de surfaces de gazon autour des maisons permettrait de réduire de moitié les coûts d'utilisation de l'air climatisé aux États-Unis. Selon la *National Academy of Science* (1991) ces stratégies pourraient réduire de 25 % les 200 milliards de kilowatts utilisés chaque année en air climatisé.

Le gazon joue également un rôle important dans l'amélioration de la qualité de l'environnement urbain. Plusieurs études, dévoilées au congrès de 1995 de la Société américaine de thérapie horticole, révèlent que le gazon possède des vertus thérapeutiques. Chez des patients ayant reçu une chirurgie majeure, une diminution importante du temps de récupération a été observée lorsque ces derniers pouvaient voir de leur chambre un aménagement paysager. Les pelouses de gazon contribuent ainsi à créer des zones de tranquillité et de paix en milieu urbain. De plus, l'utilisation de surface de jeu en gazon naturel dans la pratique de sports professionnels tels que le baseball, le soccer ou le football, offre l'avantage de réduire le nombre de blessures par l'absorption des chocs (Roberts et Robert, 1989).

Enfin, de plus en plus de constructions domiciliaires aux États-Unis et au Canada se font près de terrains de golf. Ces nouvelles habitudes font progressivement augmenter la valeur des maisons. L'aménagement paysager comportant une pelouse de gazon en santé peut faire augmenter de 7 à 15 % la valeur totale d'une propriété (Weyerhausser, 1986; Flynn, 1987). Le retour sur l'investissement pour l'aménagement paysager peut varier de 100 à 200 % alors qu'il n'est que de 40 à 70 % pour l'ajout d'un patio.

Bien que tous ces avantages soient très importants, l'industrie du gazon a souvent mauvaise presse à bien des égards. Ainsi, pour maintenir une pelouse en santé, de nombreux intrants tels que fertilisants, herbicides, fongicides ou pesticides sont nécessaires.

Cette utilisation est rendue nécessaire à cause de la piètre qualité des sols dans la majorité des développements domiciliaires actuels (Hull *et al.*, 1994). La compaction du sol et l'arrosage médiocre des pelouses de gazon deviennent des facteurs défavorables à leur bon maintien. Considéré à l'échelle locale, l'impact de l'utilisation des produits phytosanitaires peut sembler minime mais lorsque ceux-ci sont multipliés et appliqués à grande échelle, ils peuvent devenir des sources de pollution importantes. Une mauvaise utilisation de ces produits phytosanitaires peut engendrer de sérieux problèmes pour la santé et l'environnement.

1.4 Processus de germination

Le processus de germination, initié par l'absorption d'eau au niveau de la semence, induit des modifications biochimiques et morphologiques menant à la germination de la graine. Des enzymes hydrolysent l'amidon, emmagasiné dans l'endosperme, en des sucres plus simples qui permettent de nourrir l'embryon. Les hydrates de carbone sont absorbés par le scutellum et transportés vers d'autres parties de l'embryon. La première étape consiste dans l'élargissement de la coléorhize accompagné de l'apparition de poils racinaires permettant l'ancrage de la plantule dans le sol et l'absorption d'eau. La racicule pousse au travers de la coléorhize et pénètre dans le sol. Au même moment, le coléoptile va émerger à la surface du sol. Du coléoptile sort la première feuille qui entamera le processus de photosynthèse. Les semences passent par trois étapes selon Whalley *et al.* (1966).

La première consiste en une période hétérotrophe qui débute lors de l'absorption de l'eau par la graine et se termine par l'apparition de la première feuille. La plantule vit alors sur ses réserves.

La seconde phase est une période de transition durant laquelle la plantule obtient ses ressources à la fois de la photosynthèse et de ses réserves. La troisième est la phase autotrophe durant laquelle la plantule devient complètement indépendante. Les réserves sont alors épuisées et la plantule produit ses ressources uniquement de la photosynthèse.

1.5 Le développement des feuilles

Les graminées de gazon sont des plantes monocotylédones qui possèdent leur point de croissance (couronne) au niveau du sol (figure 1.0), ce qui leur permet de résister au piétinement ainsi qu'aux défoliations fréquentes dues aux coupes mécaniques ou au broutage (Turgeon, 1991). La croissance des feuilles se fait de façon continue à partir de la couronne. Les feuilles plus âgées tombent et sont continuellement remplacées par de jeunes et nouvelles feuilles. Chaque plantule de gazon est constituée d'un ensemble d'unités composé de la feuille, de la tige et de la racine, le phytomère (Desjardins, 1997). Les feuilles sont constituées à la base d'une section enroulée ou pliée autour de la tige que l'on nomme la gaine. La partie supérieure, le limbe, est plat et sort en angle de la gaine de façon à capter le plus de lumière (Turgeon, 1991). Au point de rencontre entre la gaine et le limbe, on retrouve la ligule, une structure membraneuse, ainsi qu'une paire de « pinces » que l'on appelle auricules chez certaines espèces. Ces deux traits aident énormément à l'identification des différentes espèces de gazon.

La croissance verticale du gazon est coordonnée avec celle des feuilles successives. L'intervalle entre l'initiation de deux feuilles s'appelle le plastochron et varie en fonction de la température, de l'humidité, de la lumière et de la disponibilité des nutriments.

Figure 1.0 : Représentation schématique d'une graminée de gazon. Illustration tirée de Gestion et entretien des espaces verts (Desjardins, 1997) et reproduite avec l'autorisation de Dr Y. Desjardins.

En réaction à la sécheresse, les plantules de gazon sont capables de modifier la position du limbe grâce aux cellules bulliformes. Ces cellules, situées de chaque côté de la nervure centrale chez le pâturin, et entre les nervures chez l'agrostide, permettent de réduire l'évapotranspiration. En plus d'une croissance verticale proprement dite, les graminées de gazon peuvent également croître latéralement, selon les espèces, par des stolons ou des rhizomes (Turgeon, 1991). Les stolons se développent à la surface du sol et donnent naissance à de nouveaux plants quelques centimètres plus loin alors que les rhizomes sont des structures qui évoluent sous terre.

1.6 La croissance des racines

Il existe deux types de racines chez le gazon : séminales et adventives. Les racines séminales dites « primaires » se développent durant la germination et disparaissent rapidement. Les racines adventives dites « secondaires » se développent à la base du plateau de tallage à partir de cellules méristématiques très actives. Ces racines forment un réseau dense pour aller chercher les nutriments nécessaires au développement de la plante et servir d'ancrage à celle-ci. En général, le système racinaire est annuel, soit plus éphémère. Le pâturin du Kentucky garde une partie de son système racinaire pendant plus d'un an alors que les agrostides remplacent leur système racinaire chaque année (Turgeon, 1991).

1.7 L'état des recherches sur le gazon

Afin de contrer les effets non désirables de l'utilisation massive des produits phytosanitaires et surtout pour trouver des alternatives beaucoup plus respectueuses de l'environnement, de plus en plus d'efforts sont consacrés à la recherche de moyens bio-alternatifs. Jusqu'à maintenant, les qualités recherchées lors de la mise en place de nouvelles espèces concernaient principalement l'esthétique, la tolérance à la coupe très courte et la couleur. Les recherches actuelles visent une amélioration des variétés dans le but de rendre les plantules de gazon plus autonomes en ce qui a trait à la prise de leurs nutriments et à la résistance aux maladies. Les travaux récents visent principalement à augmenter la prise des nutriments au moyen du développement d'un système racinaire actif et plus profond. En favorisant l'allocation des ressources vers les racines en santé, on peut également améliorer la résistance de la plante envers certains pathogènes et permettre une meilleure absorption de l'eau (Hull *et al.*, 1994). On mène actuellement de nombreux travaux de recherche sur l'utilisation de la lutte intégrée comme moyen de gestion pour réduire l'utilisation des pesticides au strict minimum. Ainsi, l'utilisation de champignons tels que *Metarhizium anisopliae* et *Beauveria bassiana* pour contrôler certains insectes nuisibles offre de nouvelles voies à la lutte biologique, en plus des semences associées aux champignons endophytes. Les programmes de sélection de gazons s'orientent de plus en plus vers le développement d'espèces résistantes aux maladies requérant peu de fertilisation et d'entretien.

2.0 Les mycorhizes

2.1. Origine

Les champignons mycorhiziens ont depuis très longtemps évolué avec les plantes. Certains fossiles feraient remonter leur origine aussi loin que 400 millions d'années (Pirozynski et Dalpé, 1989; Dalpé, 1995). Depuis leur apparition, les plantes ont dû faire face à de nombreux changements de conditions climatiques et édaphiques et ainsi trouver des moyens novateurs de les contrer. Une des stratégies les plus étudiées présentement est leur association avec des champignons endomycorhiziens. D'ailleurs, des 250 000 espèces de plantes, 85 % forment une association symbiotique avec des champignons endomycorhiziens (Schenck et Perez, 1987). Le terme mycorhize (du grec *mukês*: champignon et *rhiza*: racine) a pour la première fois été utilisé par Frank (1885) pour décrire l'association à long terme entre les racines d'une plante et le mycélium d'un champignon.

2.2 Différents types de mycorhizes

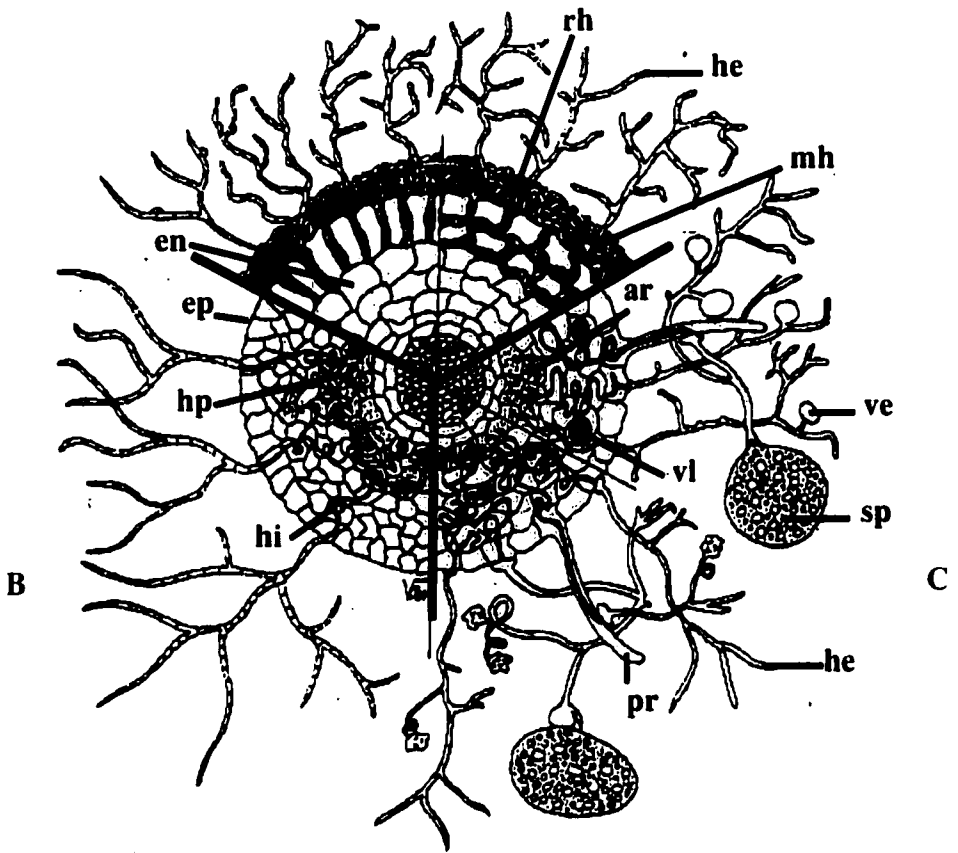
Les champignons mycorhiziens se regroupent sous trois grands groupes soient les endo-, les ecto- et les ectendomycorhyzes (figure 2.0). Les ectomycorhizes sont des champignons faisant partie du groupe des Ascomycètes, des Basidiomycètes ou des Zygomycètes qui s'associent principalement au système racinaire des conifères et de plusieurs arbres et arbustes feuillus. Leur développement se fait entièrement à l'extérieur des cellules corticales en entourant entièrement la racine d'un manchon appelé manteau fongique (Strullu, 1985).

Figure 2.0 : Représentation schématique de trois types de champignons mycorhiziens:

- A Ectomycorhize (*he* hyphe extraradiculaire, *mh* manteau d'hyphe, *rh* réseau de Hartig)
- B Mycorhize chez les orchidées (*en* endoderme, *ep* épiderme, *hi* hyphe intercellulaire, *hp* hyphe en peloton)
- C Endomycorhize (*ar* arbuscule, *he* hyphe externe, *ve* vésicule externe, *pr* poil racinaire, *sp* spore, *vl* vésicule)

Adopté et reproduit avec la permission des auteurs (Fortin *et al.* 1995). Illustration originale de Dr V. Furlan.

A



Ce réseau s'étend dans le sol pour former un réseau extramatriciel. Les hyphes peuvent également pénétrer dans la racine entre les cellules corticales pour constituer un réseau que l'on nomme réseau de Hartig.

Les endomycorhizes à arbuscules sont des champignons appartenant à un groupe restreint de Zygomycètes, de la famille des Glomaceae et s'associent à la plupart des plantes herbacées et à certains arbres feuillus. Le réseau d'hyphes extramatriciel pénètre à l'intérieur des cellules corticales et modifie considérablement le caractère cytologique de ces dernières (Strullu, 1985). À l'intérieur de la racine, le champignon va mettre en place des vésicules intercellulaires et des arbuscules intracellulaires. Au sein de ce groupe, on distingue deux types morphologiques : *Arum* et *Paris* (Brundrett *et al.*, 1996). Chez le type *Arum*, les hyphes se développent longitudinalement à l'intérieur du cortex entre les cellules hôtes, alors que le type *Paris* étend son réseau mycélien en formant des pelotons à l'intérieur des cellules corticales auxquelles sont rattachées les arbuscules. Les mycorhizes des orchidées et des éricacées se différencient également par des pelotons intracellulaires mais sont en association avec des Basidiomycètes et des Ascomycètes respectivement. Enfin, les champignons ectendomycorhiziens se différencient par la présence simultanée des morphologies endo- et ecto-mycorhiziennes.

2.3 Les Glomaceae

Les Glomaceae regroupent six genres différents : *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* et *Scutellospora*. Le genre *Glomus*, qui nous intéresse dans cette étude, regroupe le plus grand nombre d'espèces connues (67 sp.) et se retrouvent un peu partout dans le monde dans une grande variété de sols cultivés et de milieux naturels.

2.4 Le processus de colonisation

Les champignons à arbuscules et vésicules se différencient dans le sol par des spores dont la germination est induite soit par des exudats racinaires agissant comme signaux moléculaires tels que des flavonoïdes et isoflavonoïdes (Koide et Schreiner, 1992), soit par des acides organiques (malique et citrique) produits par des bactéries favorisant la mycorhization (Garbaye, 1994). Une fois en contact avec la surface racinaire de l'hôte, l'hyphe se différencie en appressorium (Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1988). La pénétration intercellulaire et intracellulaire qui s'en suit est facilitée par l'action lytique du champignon (Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1981; Kinder et Brown, 1975). La pénétration intercellulaire de l'hyphe se fait en traversant la couche de cellules externes de la racine pour ensuite solubiliser la paroi cellulaire des cellules corticales et former des arbuscules (Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1988). Une fois à l'intérieur de la cellule corticale, la ramification intensive de l'hyphe permet d'optimiser le contact entre le champignon et la cellule-hôte. L'interface créée entre les parois cellulaires des deux organismes constitue le site d'échanges nutritifs. Cette situation est limitée dans le temps car l'arbuscule meurt après quelques jours et la cellule-hôte retrouve alors son aspect normal (Jacquelinet-Jeanmougin *et al.*, 1988). Le champignon poursuit son développement en colonisant d'autres cellules dans les racines juvéniles. Peu de temps après ou pendant la formation des arbuscules, le champignon endomycorizien forme des zones de renflements que l'on appelle vésicules, sorte de sacs remplis de lipides qui agissent comme organes de réserves nutritives pour le champignon.

3.0 Aspect nutritionnel

3.1 Azote

L'azote est un constituant majeur des protéines, de la chlorophylle, des acides aminés ainsi que de certains alcaloïdes et constitue de 3 à 5 % de la biomasse sèche des plantes (Turgeon, 1991). Chez les graminées de gazon, Turgeon *et al.* (1979) ont démontré que la concentration en azote est inversement proportionnelle à la hauteur de la coupe et directement proportionnelle à la fertilisation. L'azote est un élément régulièrement lessivé des sols ou volatilisé sous forme gazeuse (NH_3) (Turner et Hummel, 1992). Cette perte en élément nutritif requiert un apport régulier de fertilisant. Environ 2,5 kg d'azote par 100 m² par an sont nécessaires pour combler les besoins du gazon, mais ces indications varient selon les cultivars, le pH et la structure du sol (Desjardins, 1997). Bien que le phosphore ait davantage retenu l'attention dans le cadre des recherches sur les mycorhizes, de plus en plus d'études mettent en évidence le rôle de celles-ci dans l'absorption de l'azote. L'utilisation de marqueur radioactif (¹⁵N) a permis de révéler le rôle important du mycélium extraradicalaire dans la prise de cet élément (Frey et Schüepp, 1993; Johansen et al., 1993; Tobar *et al.*, 1994). De plus, les travaux de Azcón-Aguilar *et al.* (1993) ont mis en évidence le rôle des mycorhizes dans l'accessibilité à des formes d'azote normalement peu disponibles pour la plante. Le transport ou la prise d'azote par les mycorhizes à arbuscules et à vésicules pourrait être un facteur intéressant dans la réduction de l'utilisation d'engrais azoté chez les graminées de gazon.

3.2 Potassium

Le potassium est, après l'azote, le deuxième élément en importance au niveau de la nutrition des graminées de gazon. Il joue un rôle essentiel dans la photosynthèse, dans la synthèse de certaines protéines et dans certaines activités enzymatiques (Turner et Hummel, 1992). Waddington et Zimmerman (1972) ont estimé que la concentration de potassium dans les feuilles atteint environ 37 mg/g pour le pâturin du Kentucky et l'agrostide stolonifère. Bien que le potassium se retrouve en quantité importante dans les feuilles, son rôle dans l'établissement de nouvelles plantules demeure relativement peu connu (Turner et Hummel, 1992). On considère que le potassium joue important pour la croissance des racines et pour la production de rhizomes (Markland *et al*, 1969), pour la tolérance aux stress environnementaux, notamment la sécheresse et les températures élevées, ainsi que la résistance à l'hiver (Palmertree *et al*, 1974). Pellet et Roberts (1963) ont d'ailleurs montré qu'une concentration élevée d'azote combinée à une concentration élevée de potassium permettait au pâturin du Kentucky de résister à des températures élevées. Le rôle des mycorhizes dans la prise du potassium a jusqu'ici fait l'objet de peu de recherches. Clark (1997) indique une augmentation de la concentration de potassium chez les plantes mycorhizées dans un sol acide. Les travaux de Smith *et al*. (1981) indiquent une plus grande concentration de potassium dans les racines mycorhizées que celles non mycorhizées chez *Trifolium subterraneum* L. lorsque le sol est carencé en phosphore. Cependant, en présence d'une quantité suffisante de phosphore, la concentration de potassium demeure similaire suggérant un lien indirect entre la prise de phosphore et celle du potassium, alors que Rahman *et al*. (1997) n'ont observé aucune différence dans la concentration de potassium dans les racines et dans la tige chez *Sesbania rostrata* lorsqu'inoculée par *Glomus mosseae* et *Azorhizobium caulinodans*.

3.3 Phosphore

Chez les graminées de gazon, le phosphore permet à la plante de mettre en réserve et d'utiliser l'énergie dans différents processus métaboliques (Turgeon, 1991). Le phosphore est l'élément principal de l'ATP, une molécule impliquée dans les processus anaboliques et cataboliques des plantes. Cet élément, très mobile dans la plante, se retrouve en grande quantité au niveau des cellules méristématiques (Turgeon, 1991). La concentration en phosphore des feuilles est réduite par rapport à celle de l'azote et du potassium. Elle atteint chez le pâturin du Kentucky et l'agrostide stolonifère de 5,6 et 7,6 mg/g respectivement (Waddington et Zimmerman, 1972). Contrairement au potassium, le phosphore joue un rôle important dans l'établissement des semences de graminées de gazon (Turner et Hummel, 1992). Turner (1980) rapporte que l'augmentation de 80 à 157 kg/ha de phosphore au sol permet un établissement plus rapide et de meilleure qualité. Juska *et al.* (1965) indiquent que l'ajout de phosphore est relié au pH du sol. À un pH de 6,5, la croissance des pâturins et des fétuques est demeurée inchangée avec l'ajout de phosphore. Cependant, la croissance des pâturins a significativement augmenté lors de l'application de phosphore à un pH de 4,5. Une fois le gazon établi, l'effet du phosphore sur la croissance des graminées de gazon est très variable.

Hylton *et al.* (1965) indiquent une augmentation de la croissance foliaire et racinaire chez le raygrass d'Italie, alors que Christian *et al.* (1979) montrent l'influence minime de l'ajout de phosphore sur la croissance du pâturin du Kentucky et de l'agrostide stolonifère.

Le phosphore est un élément peu mobile dans le sol et est souvent très peu disponible pour la plante. De nombreuses études ont montré cependant que les mycorhizes peuvent jouer un rôle important dans la prise de ce nutriment (McArthur et Knowles, 1993; Hetrick *et al.*, 1996).

La contribution en phosphore grâce au mycélium extraradicalaire peut atteindre jusqu'à 70 % du phosphore absorbé par la plante (George *et al.*, 1994). Chez les graminées de gazon, l'effet des mycorhizes est variable dans le temps et après treize semaines de croissance, aucune différence dans la biomasse des plantes n'a été observée entre les traitements mycorhiziens et nonmycorhiziens en serre (Charest *et al.*, 1997).

3.4 Autres macroéléments : Ca, Mg et S.

Le calcium joue un rôle important dans l'activité des cellules méristématiques en plus de se retrouver dans plusieurs composés jouant un rôle structural dans les tissus. Sa concentration dans les tissus est généralement la même que celle du phosphore (Turner et Hummel, 1992). La quantité retrouvée dans les feuilles varie selon les espèces (Waddington et Zimmerman, 1972) ainsi qu'au cours d'une saison de croissance (Hall et Miller, 1974). La translocation du calcium par les mycorhizes est faible et demeure assez peu connue (Rhodes et Gerdermann, 1978). On lui attribue un rôle dans la nutrition fongique comme constituant principal des granules de polyphosphate (Shoknecht et Hattingh, 1976).

Enfin, le calcium pourrait jouer un rôle dans le transport du phosphore vers la plante en particulier à cause de sa capacité à stimuler l'activité des phosphatases alcalines (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1978).

Le magnésium entre dans la composition de la chlorophylle et agit notamment comme cofacteur dans de nombreuses réactions enzymatiques (Turner et Hummel, 1992). Le rôle des mycorhizes et l'effet de celles-ci dans la prise du magnésium sont encore peu connus.

Le soufre fait partie intégrante de deux acides aminés et de certaines protéines. La quantité de soufre retrouvée chez les graminées de gazon est variable au cours d'une saison de croissance allant, par exemple, de 2,6 à 4,0 mg/g chez l'agrostide stolonifère (Waddington *et al.*, 1978). Goss *et al.* (1979) ont de plus montré un effet sur la croissance avec l'application de soufre. Brauen *et al.* (1975) ont observé une baisse de l'incidence de la fusariose chez l'agrostide stolonifère après l'application de soufre. Les mycorhizes semblent jouer un rôle dans la prise du soufre. Gray et Gerdermann (1973) ont montré que les racines mycorhizées de trèfle rouge absorbent plus de soufre radioactif (^{35}S) que les plantes non mycorhizées.

3.5 Les microéléments : Fe, Mn, Cu et Zn

Le fer est un des microéléments les plus étudiés chez les graminées de gazon car il constitue un élément clé de la " performance " du gazon. Le fer est un constituant principal d'enzymes et de transporteurs impliqués dans la synthèse de la chlorophylle (Turner et Hummer, 1992). La concentration en fer varie dans les feuilles selon les espèces et au cours de la saison de croissance (Waddington et Zimmerman, 1972).

Kurtz (1981) a observé chez le « zoysiagrass » une plus grande absorption de fer dans les sols légèrement acides (pH : 5,5) comparativement à des sols alcalins (pH : 7,5). L'application de fer sur le pâturin du Kentucky cultivé dans un sol pauvre accentue rapidement la couleur verte (Deal et Engel, 1965).

Le manganèse active quant à lui plusieurs enzymes, notamment dans les réactions d'oxydoréduction. Il joue également un rôle dans la synthèse de la chlorophylle et dans le processus de la photosynthèse (Turner et Hummel, 1992).

Le cuivre et le zinc jouent respectivement des rôles importants au niveau des enzymes et de la synthèse des auxines, un groupe d'hormones dont fait partie l'acide indole-3-acétique (AIA). Peu de recherches sur les graminées de gazon ont été menées sur ces deux éléments mais le rôle des mycorhizes dans leur absorption fait l'objet de plus en plus d'attention. Sylvia *et al.* (1993) ont montré une absorption du cuivre et du zinc par les mycorhizes chez le maïs, alors qu'Evans et Miller (1988) ont mis en évidence le rôle des mycorhizes dans la prise du zinc.

4.0 Les fertilisants

4.1. Engrais avec azote à relâchement rapide

Les engrais avec azote à relâchement rapide font référence à des substances solubles à l'eau et contenant de l'azote sous les formes de NO_3^- ou NH_4^+ qui peuvent directement être absorbées par les graminées de gazon mais aussi rapidement lessivées. Les sources principales d'azote à relâchement rapide incluent les sels de phosphate, de potassium ou de sulfate et l'urée. La transformation de NH_4^+ en NO_3^- se fait très rapidement dans la plupart des sols, ce qui rend l'azote accessible aux plantes (Turner et Hummel, 1992). Les sels inorganiques se retrouvent couramment dans la fertilisation des graminées de gazon sous forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 et parfois KH_2PO_4 . Leur application se fait sous forme granulaire ou liquide mais leur haute concentration en sels les rendent dangereux pour les brûlures foliaires. La récupération de l'azote à partir de ce type de formulation se fait entre 3 et 6 semaines après l'application (Starr et deRoo, 1981). L'urée est produite en combinant l'azote atmosphérique avec du méthane pour produire de l'ammoniaque et du CO_2 . L'ammoniaque réagit sous de très hautes températures avec le CO_2 pour ensuite donner de l'urée contenant de 45 à 46 % d'azote.

L'urée doit être hydrolysée par des uréases du sol pour former du NH_4^+ qui sera ensuite transformé en NO_3^- par le processus de nitrification. La récupération de l'azote à la suite d'une application foliaire se fait principalement dans les 24 heures (Wesely *et al*, 1985). Enfin, l'urée formaldéhyde (UF) est un nom générique pour quelques polymères méthylène-urée formés par condensation de l'urée et d'un formaldéhyde. Le méthylol est l'une des formes couramment utilisées dans la fertilisation et contient environ 50 % d'azote.

4.2 Les engrais à relâchement lent

Ces engrais contiennent de l'azote sous forme insoluble à l'eau ou encore de l'azote soluble encapsulée dans une couche imperméable. De façon générale, ce sont des engrais à faible concentration de sels et ayant un effet plus lent mais plus long sur la croissance des graminées de gazon. Ces engrais sont regroupés sous trois grandes catégories soient : les sources naturelles (les fumiers compostés, les tourteaux, les boues), les produits organiques de synthèse (urée) et les produits enrobés (Turner et Hummel, 1992).

4.2.1 Les engrais naturels

Ces engrais sont constitués d'os moulu, de farine de plumes, de produits sanguins séchés, de sous-produits des déchets de l'industrie agroalimentaire de transformation ainsi que de boues usées. L'azote se retrouve principalement à l'intérieur de protéines et de composés organiques complexes. La décomposition de ces molécules par les microorganismes du sol permet la libération de l'azote.

Le pH, l'humidité et la température influencent donc la vitesse à laquelle l'azote sera disponible pour la plante. Le Milorganite, l'un des produits les plus utilisés dans l'industrie du gazon, est fait à partir de boue activée et contient environ 6 % d'azote dont 92 % est insoluble.

4.2.2 Les produits organiques de synthèse (IBDU et UF)

Ces engrais incluent l'urée formaldéhyde (UF) et les isobutyliденediurée (IBDU). La source d'azote dans ce cas-ci est obtenue en combinant l'urée à d'autres produits chimiques afin de produire des produits complexes. L'urée formaldéhyde dépend de l'activité des microorganismes pour minéraliser les formes d'azote et ainsi la rendre disponible pour la plante (Hays et Haden, 1965).

L'IBDU, un fertilisant venu du Japon et introduit au milieu des années 60, ne dépend pas des microorganismes pour le relâchement de l'azote mais demeure influencé par la température, l'humidité du sol et le pH.

4.2.3. Les produits enrobés (SCU et RCU)

Ces engrais sont généralement fabriqués en enrobant de l'urée ou une forme d'azote dans une couche imperméable ou semi-perméable de soufre (SCU) ou de résine (RCU). Les urées enrobées de soufre (*SCU-sulfur coated urea*) sont faites en pulvérisant du soufre atomisé sur des granules d'urée préchauffées. La couche de soufre une fois solidifiée est souvent recouverte d'une couche de diatomite pour réduire l'adhérence entre les granules et les rendent plus hydrophiles.

On obtient un mélange final contenant environ 32 à 38 % d'azote et 13 à 22 % de soufre (Turner et Hummel, 1992). Le relâchement de l'azote se fait en fonction du temps que prend chaque granule à laisser passer l'azote par les porosités qui vont lentement apparaître à la surface de ces dernières.

Matériels et méthodes

1.0 Organismes utilisés

Pour cette expérience réalisée au champ, nous avons utilisé deux graminées de gazon, *Poa pratensis* L. cultivar Park (pâturin du Kentucky) et *Agrostis stolonifera* L. cultivar Penncross (agrostide stolonifère). Nous avons inoculé les parcelles de gazon avec trois souches endomycorhiziennes, soit *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* et *Glomus aggregatum*.

1.1 Le pâturin du Kentucky (*Poa pratensis* L.)

Le pâturin du Kentucky, du genre *Poa*, fait partie de la sous-famille des Festucoïdeae dans la tribu des *Festuceae*. Les pâturins forment un groupe de près de 200 espèces comprenant les espèces les mieux adaptées aux températures froides. Les pâturins se distinguent par un limbe avec une pointe en forme de bateau et par une rangée de cellules bulliformes parallèles que l'on retrouve de chaque côté de la nervure centrale (Turgeon, 1991).

Le pâturin du Kentucky, contrairement à ce que son nom pourrait laisser croire, n'est pas originaire du Midwest américain mais de l'Eurasie. Ce sont les colons européens qui ont introduit cette espèce en Amérique du Nord (Turgeon, 1991). Le pâturin est une plante rhizomateuse utilisée généralement dans des terrains bien drainés, avec un pH neutre à légèrement acide. C'est d'ailleurs l'une des espèces les plus utilisées pour les pelouses, les terrains sportifs, les golfs et les cimetières. Le cultivar « Park » utilisé pour cette expérience-ci est adapté à des pratiques culturales de faible intensité (Turgeon, 1991).

Ce cultivar de teinte verte moyennement foncée verdit rapidement au printemps. Il a un très bon taux d'établissement mais résiste moyennement à la sécheresse et à certaines maladies telles que le blanc (*Erysiphe graminis* DC.) et la tache en dollar (*Sclerotinia homeoecarpa* F.T. Bennett). Il est très sensible à la fonte helminthosporienne (*Helminthosporium* sp.) et à la brûlure fusarienne (*Fusarium* sp.). Ce cultivar ne tolère pas les tontes très courtes et préfère une coupe de 5 à 6 cm.

1.2 L'agrostide stolonifère (*Agrostis stolonifera* L.)

L'agrostide stolonifère fait partie de la tribu des *Avaneae* qui regroupe deux genres importants, soient les agrostides et les fléoles. Les agrostides comportent à elles seules près de 125 espèces dont cinq se retrouvent dans les pelouses. Elles sont principalement utilisées pour la production de gazon très dense et pour les verts de golf.

L'agrostide stolonifère est une espèce de texture très fine qui se propage par stolons. Elle supporte des tontes très basses (jusqu'à 2 mm). Mais à cause de ce régime de coupe extrême, elle est vulnérable à plusieurs maladies telles que la tache en dollar (*Sclerotinia homeoecarpa* F.T. Bennett), les moisissures nivéales et le piétain-échaudage (Desjardins, 1997). C'est une des espèces les plus rustiques que l'on retrouve dans l'Est du Canada. Elle a été introduite en Amérique du Nord au 19^e siècle par les colons anglais qui pratiquaient le golf en Angleterre. La variété Penncross, utilisée pour cette recherche, est issue d'un programme d'hybridation et de sélection fait par Dr Musser et Dr Duich de l'Université de Pennsylvanie (Desjardins, 1997).

Le cultivar Penncross est vigoureux, dense et résistant au piétinement. Ce cultivar s'adapte bien à des endroits humides et fertiles, dans un sol avec pH acide à légèrement acide.

1.3 *Glomus intraradices*

Glomus intraradices Schenck et Smith (DAOM 181602) possède à l'intérieur des racines de l'hôte des spores hyalines à jaune doré qui atteignent des dimensions de 93-113 x 112-131 μm . Les spores individuelles ont une paroi laminée allant de 4 à 8 μm d'épaisseur selon leur maturité. Fréquente en Europe et aux États-Unis, cette espèce est observée sporadiquement dans les sols cultivés et indigènes du Canada.

1.4 *Glomus mosseae*

Glomus mosseae (Nicol. et Gerd.) Gerdemann et Trappe (DAOM 198394) se différencie par des spores hyalines à jaune pâle à doré foncé d'une taille de 110-280 x 158-300-400 μm . La paroi double relativement mince des spores et leur hyphe suspenseur en entonnoir facilitent leur identification. Cette espèce qui abonde dans les sols cultivés de type loam sableux et argileux est associée à une grande variété de plantes (Dalpé, 1985).

1.5 *Glomus aggregatum*

Les spores de *Glomus aggregatum* Schenk et Smith emend. Koske (DAOM 198445) se retrouvent généralement en masses compactes ou en grappes lâches dans un réseau de filaments ou encore libres dans le sol. Jaune doré, quelques fois verdâtres, elles atteignent en taille 30-70-115 x 44-80-124µm. *Glomus aggregatum* se retrouve abondamment dans les dunes et les rivages sablonneux d'eau douce ou salée et plus rarement dans les sols graveleux (Dalpé, 1985a).

1.6 Production de l'inoculum

L'inoculum commercial « Mycorise » de *G. intraradices* a été obtenu de la compagnie Premier Tech, partenaire du projet de recherche. Les deux autres inoculats ont été produits en serre sur des plants de maïs, *Zea mays* L., cv Pioneer 3905, respectivement inoculés avec les souches de *G. mosseae* et *G. aggregatum* préalablement maintenues en collection de culture sur des plants de poireaux par le Dr Y. Dalpé à l'Herbier national d'AAC. Les plants de maïs ont été cultivés dans des pots de 5 L sur un substrat d'argile montmorillonite : vermiculite (1:1) ensemencés de 100 g d'inoculum. Pour chaque traitement, cinq pots contenant chacun trois plants ont été cultivés pendant 12 semaines (début avril-fin juin 1996) sous des conditions contrôlées de température, 22 °C le jour et 18 °C la nuit, sous une photopériode de 16 h de lumière naturelle et de lumière artificielle avec 70 % d'humidité relative. Les plantes ont été fertilisées (300 ml/pot/semaine) avec une solution de Long Ashton et arrosées au besoin.

Après 12 semaines de croissance, la colonisation racinaire a été vérifiée au microscope optique et les racines ont été sectionnées en portions de 2 à 3 cm avant d'être mélangées au substrat (montmorillonite : vermiculite, 1:1) pour la mise en forme de l'inoculum final.

L'inoculum témoin était aussi constitué d'un mélange montmorillonite : vermiculite (1:1) avec des portions de 2 à 3 cm de racines de maïs non colonisées.

1.7 Estimation de la quantité de propagules dans l'inoculum

Afin de déterminer et de comparer le pouvoir mycorhizien des trois inoculats utilisés dans cette étude, nous avons évalué leur contenu respectif en propagules mycorhiziennes par la technique de dénombrement (*Most Probable Number-MPN*) (Alexander, 1965). Pour ce faire, des poireaux ont été cultivés dans des tubes de 15 cm de longueur par 3 cm de diamètre sous les mêmes conditions mentionnées au paragraphe 7.1. Chaque inoculum à tester a été mélangé à de la vermiculite stérilisée sous 1 atmosphère de pression pendant 20 min de manière à obtenir pour chaque souche une série de dilutions correspondant à 0, 1/10, 1/100, 1/1 000, 1/10 000 de l'inoculum de départ. Chaque traitement de dilution et de mycorhization a été répété 5 fois et les cultures ont été réparties selon un dispositif aléatoire dans la serre. Dans chaque tube, 2 à 3 graines de poireau prégermées ont été déposées et leur nombre réduit à une seule quelques jours plus tard. Les poireaux ont été taillés et fertilisés à toutes les deux semaines avec 5 ml d'une solution N-P-K (20-20-20; 18 g/L rediluée 4 fois dans de l'eau distillée). Après 22 semaines de croissance, les racines de poireaux ont été récoltées, colorées et montées sur lame afin de déterminer la présence des mycorhizes (tableau 1.0).

Tableau 1.0: Technique de dénombrement (*Most probable number- MPN*) réalisée sur des racines de poireaux pour les trois espèces de champignons endomycorhiziens utilisées en plus des sols d'Agriculture Canada (AGsol) et Clarence Creek (CCsol). Les croix (x) indiquent la présence de colonisation alors que les traits (-) indiquent l'absence de colonisation.

RÉSULTATS DU MPN					
ESPECES	Dilution				
	0	1/10	1/100	1/1000	1/10000
<i>G. mosseae</i>	x	x	-	-	-
<i>G. intraradices</i>	x	x	-	-	-
<i>G. aggregatum</i>	x	x	-	-	-
AGsol	x	x	-	-	-
CCsol	x	x	-	-	-
Témoin	-	-	-	-	-

2.0 Dispositif expérimental

Deux sites expérimentaux ont été retenus pour cette étude, le premier à Clarence Creek, à 50 km à l'est d'Ottawa, et le deuxième à la Ferme expérimentale centrale (45° 24' N, 75° 43' O), Ottawa, Ontario. Vingt-quatre traitements répliqués quatre fois chacun, soit au total 96 parcelles, ont été réparties aléatoirement à chacun des sites (figures 1.1, 1.2 et 1.3).

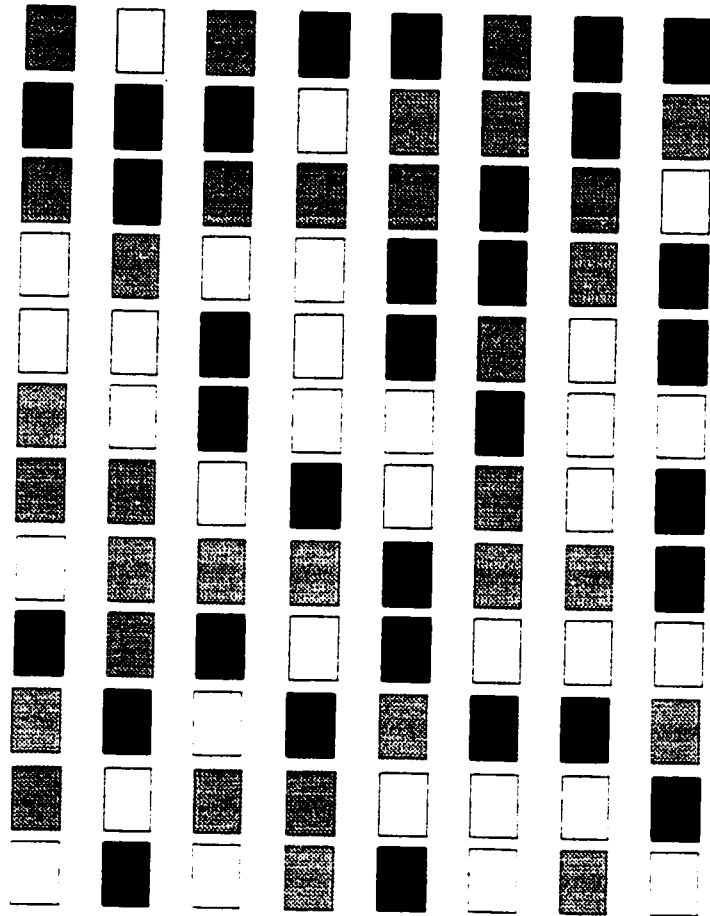
2.1 Description des types de sol

Les deux sites expérimentaux possèdent des sols de type loam sableux dont la composition minérale varie principalement au niveau des concentrations de phosphore disponible. Leurs compositions minérales respectives sont présentées au tableau 2.0.

2.2 Préparation du terrain de Clarence Creek - 1996

Le site de Clarence Creek, en friche depuis plus de dix ans, était couvert d'une végétation de premier stade de succession. On y retrouvait principalement de l'asclépiade (*Asclepias syriaca* L.), quelques framboisiers sauvages (*Rubus* sp.), des vesces (*Vicia cracca* L.), des marguerites (*Chrysanthemum* sp.) et autres plantes des champs. La première étape a consisté à faucher une superficie d'environ 11,5 m par 15,5 m et à débarasser l'espace des débris de racines et de feuilles. Le sol a ensuite été rotoculté à une profondeur de 15 à 20 cm, puis aplani au rouleau pour obtenir une surface égale, compacte et adéquate pour le semis de gazon.

Figure 1.1: Représentation schématique de la distribution aléatoire des parcelles pour les traitements de fertilisation à Agriculture et Agroalimentaire Canada et Clarence Creek pour les années 1996 et 1997.






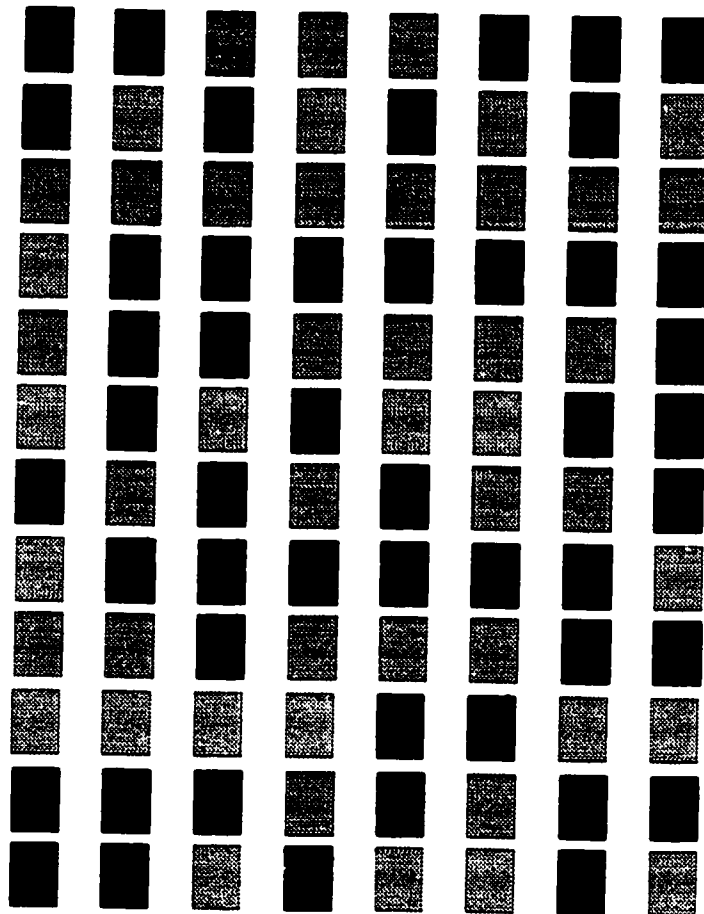
-  **Chimique 21-4-6**
-  **Naturel 9-2-4**
-  **Naturel 4-4-8 (1996) et Témoin (1997)**

Figure 1.2: Représentation schématique de la distribution aléatoire des parcelles de graminées de gazon à Agriculture et Agroalimentaire Canada et Clarence Creek pour les années 1996 et 1997.





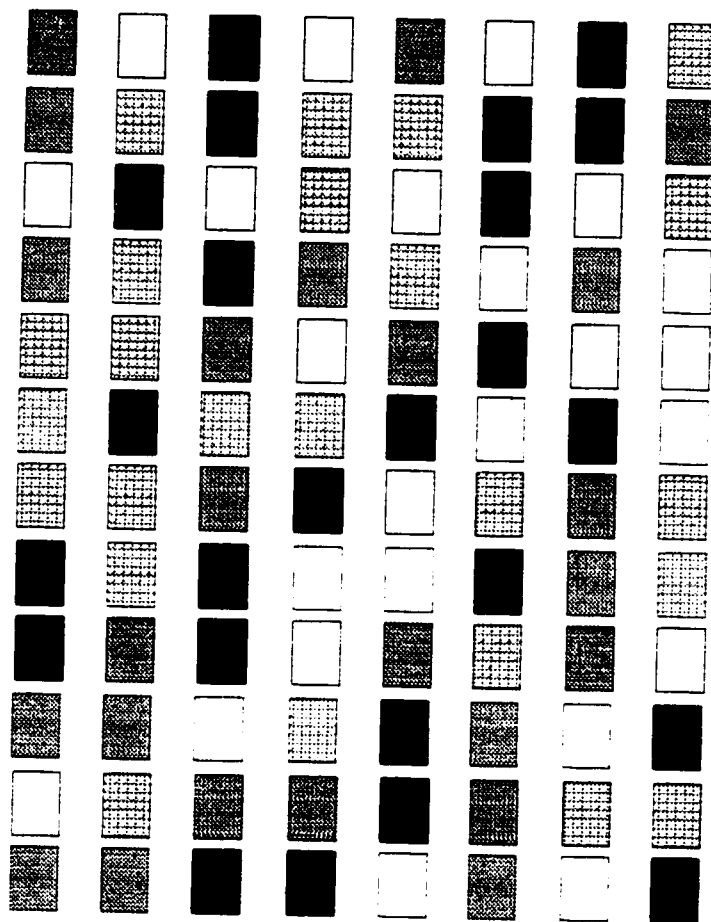
-  Pâturin du Kentucky
-  Agrostide stolonifère

Figure 1.3: Représentation schématique de la distribution aléatoire des parcelles pour les traitements mycorhiziens à Agriculture et Agroalimentaire Canada et Clarence Creek pour les années 1996 et 1997.







-  *G. intraradices*
-  *G. mosseae*
-  *G. aggregatum*
-  Témoin

Tableau 2.0: Analyses minérales des sols pour les saisons en 1996 et 1997. Les valeurs correspondent aux quantités de minéraux disponibles dans le sol et sont exprimées en ppm. Les erreurs standards sont indiquées entre parenthèses et (n) représente le nombre de répliquat.

Agriculture et Agroalimentaire Canada									
Année	Saison	P	Ca	K	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
1996	Été	298	599	58	71	25.2	3.7	5.6	259
	Automne (n=5)	313 (15.2)	655 (45.2)	56.8 (8.9)	81 (5.5)	31.1 (3.9)	5.4 (1.9)	6.7 (0.9)	332 (40.9)
1997	Printemps (n=3)	216 (6.3)	764 (23.8)	35.9 (2.0)	71.7 (1.4)	33.8 (1.3)	3.5 (0.3)	14.7 (0.3)	243 (3.7)
	Automne (n=3)	240 (4.1)	743 (2.7)	29.9 (0.7)	57.4 (0.3)	46.5 (2.2)	3.8 (0.3)	15.3 (0.5)	258 (5.6)
Clarence Creek									
1996	Été (n=2)	28.1 (8.6)	440 (61)	87.5 (7.5)	50.0 (16)	9.5 (0.1)	6.3 (1.3)	16.5 (0.9)	393 (23.5)
	Automne (n=5)	33.36 (6.7)	386 (26.7)	63.6 (13.3)	46.6 (9.8)	12.0 (10.6)	13.9 (4.0)	16.4 (5.6)	354 (65.6)
1997	Printemps (n=3)	56.7 (1.2)	441 (19.2)	47.6 (0.6)	40.4 (0.9)	18.9 (0.4)	3.5 (0.4)	36.6 (1.0)	324 (10.2)
	Automne (n=3)	61.3 (2.5)	416 (17.3)	47.1 (2.6)	35.5 (1.2)	8.4 (0.3)	3.7 (0.3)	34.3 (1.8)	291 (7.8)

Une fois mis en forme, le terrain a été recouvert d'une toile géotextile pour réduire l'incidence des mauvaises herbes pouvant entrer en compétition avec les nouveaux semis. Cette toile géotextile de type Texel ® laisse pénétrer l'eau mais bloque la lumière. Dans la toile géotextile, on a découpé 96 rectangles de 40 cm/60 cm espacés de 60 cm d'espace destinés à la production de plaques de gazon (figure 2.0). La toile a été fixée au sol à l'aide d'agrafes de métal longues de 12 cm. Une clôture d'un mètre de haut a été aménagée autour du site pour protéger la zone contre le piétinement et le broutage d'animaux.

2.3 Préparation du terrain à Agriculture et Agroalimentaire Canada - 1996

Le site d'AAC était semé d'orge en 1995. La préparation du terrain a été similaire à celle de CC. Le terrain a été labouré, nettoyé de ses débris végétaux et rotoculté pour ensuite être couvert d'une toile géotextile. Des rectangles de même dimension ont été découpés à même la toile selon le même plan que pour Clarence Creek. Tout autour du terrain, une clôture de 2 mètres a également été installée pour protéger le site.

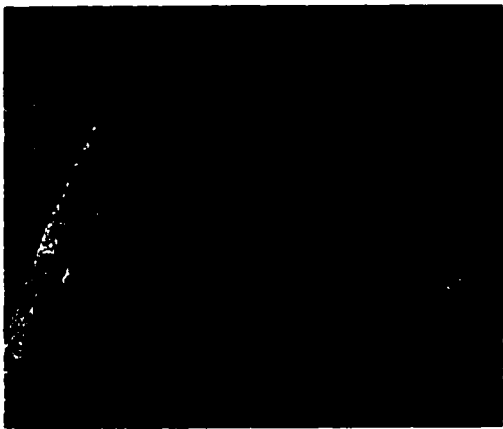
2.4 Semis et inoculation mycorhizienne

Pour chacun des sites, le semis s'est effectué fin juin 1996. Dans chaque rectangle, environ 2 à 3 cm de terre a été enlevée.

Figure 2.0: Représentation visuelle des parcelles expérimentales de CC (A). Zoom sur une parcelle d'agrostide stolonifère (B) et sur une parcelle de pâturin du Kentucky (C) à AAC.



A



B



C

Une première couche constituée de 300 ml d'inoculum contenant individuellement les différentes souches de champignons mycorhiziens ou de 150 ml d'inoculum témoin ont été distribués sur l'ensemble de la parcelle formant une couche d'un demi centimètre. Une mince couche de terre a servi à recouvrir l'inoculum. Ensuite, 6 g de semences d'*Agrotis stolonifera* L.cv. Pencross ou de *Poa pratensis* cv. Park ont été déposés manuellement et de façon homogène sur la parcelle. Une dernière couche de sol a été ajoutée pour recouvrir les graines. Chacune des parcelles a été arrosée abondamment pour entamer le processus de germination. Tous les semis ont été recouverts d'une toile géotextile afin de les protéger contre le vent et les oiseaux et faciliter ainsi la germination. Ces toiles ont été enlevées de 5 à 6 jours après la mise en place du semis. À la mi-juillet, un second ensemencement a été fait pour obtenir une densité uniforme de gazon dans chacune des parcelles. Pour toutes les parcelles, 12 g de graines ont été ajoutés en surface et recouvertes d'une mince couche de sol.

2.5 Arrosage

À l'été 1996, les parcelles ont été arrosées en fonction des précipitations saisonnières. À AAC, l'arrosage s'est fait à l'aide de trois gicleurs à tête rotative placés au centre du terrain. À CC, l'arrosage s'est fait à la main à l'aide d'un arrosoir, les installations sur place ne permettant pas d'installer de gicleurs. Durant l'été 1997, l'arrosage a été légèrement modifié afin d'accentuer l'effet des mycorhizes sur le gazon. Les parcelles, autant à CC qu'à AAC, n'ont reçu que l'eau provenant des précipitations saisonnières. Lors de la fertilisation, les parcelles ont été arrosées adéquatement pour éviter de brûler le feuillage et pour permettre aux granules de pénétrer dans le sol.

2.6 Fertilisation

En 1996 et 1997, la fertilisation a été faite selon les paramètres présentés aux annexes 1a et 1b. Il est à noter que la première dose des fertilisants ECOVAL 9-2-4 et 4-4-8 (N-P-K) a été mise au sol en même temps que l'inoculum. La fertilisation chimique équivalente, Botanix 21-4-6 (N-P-K), a été appliquée sur les nouvelles pousses environ deux semaines plus tard.

2.7 Coupe

Les parcelles de gazon ont été coupées manuellement durant les deux étés à raison de 1 à 2 fois par semaine en fonction du taux de croissance du gazon et des conditions climatiques. Le paturin des prés était coupé à 6 cm de hauteur alors que l'agrostide stolonifère était maintenue à une hauteur de 3 cm. Les rognures de gazon ont été enlevées des parcelles entre chaque coupe.

2.8 Conditions environnementales aux champs

Les températures minimales et maximales moyennes ainsi que le détail des précipitations pour chaque mois de l'étude sont compilés au tableau de l'annexe 2.0. Ces données ont été obtenues de la station météorologique située sur les terrains de la Ferme expérimentale centrale (Ottawa, Ontario).

3.0 Méthode de digestion des échantillons - 1996

La digestion des échantillons a été effectuée selon la méthode de Anderson et Henderson (1986). Chaque échantillon a été préalablement lyophilisé et ensuite réduit en poudre. Dans des tubes de digestion, 200 mg de matériel ont été ajoutés à 4 ml de solution contenant un mélange d'acide perchlorique (HClO_3) et de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) selon un ratio de 7:3. Les tubes maintenus au repos pendant 24 heures à la température de la pièce ont ensuite été chauffés sur une plaque chauffante jusqu'à ébullition, en ajoutant au besoin du peroxyde d'hydrogène afin de compléter la digestion. Celle-ci était considérée complète lorsque les solutions, après avoir virées du brun-orangé à l'orange puis au jaune, devenaient incolores. Une fois refroidis, les échantillons étaient ajustés à un volume final de 25 ml avec de l'eau déionisée et ensuite transférés dans des piluliers pour leur transport jusqu'au laboratoire d'analyse.

3.1 Analyses minérales des feuilles - 1996

Les analyses minérales de la portion foliaire du gazon ont été faites au laboratoire de la compagnie Premier Tech. à Rivière-du-Loup (Québec). Chaque échantillon a été analysé par absorption atomique pour déterminer la composition minérale en azote, potassium, phosphore, cuivre, zinc, calcium, fer, manganèse, magnésium et soufre. Deux séries de mesures ont été effectuées l'une pour la mi-saison (mi-août) et l'autre à la fin de la saison (octobre). Le détail des protocoles utilisés pour l'analyse des minéraux est fourni aux annexes 3a et 3b.

3.2 Méthode de digestion des échantillons - 1997

Les échantillons (5 mg) ont été réduits en cendre dans un four (LINBERG type 51442) à 500 °C pour ensuite être humidifiés avec de l'eau déionisée et transférés dans des béchers sur une plaque chauffante (120 °C) sous une hotte. Les échantillons ont été digérés en utilisant un mélange *Aqua Regia* composé d'acide nitrique (HNO₃) et d'acide chlorhydrique (HCl) dans les proportions 1:3 et auquel ont été ajoutés environ 3 ml d'acide hydrofluorhydrique (HF). Le mélange a ensuite été complètement évaporé afin d'éliminer la présence de l'acide fluorhydrique. Les échantillons ont ensuite été réhumidifiés avec de l'eau déionisée, resolubilisés dans le même mélange *Aqua Regia* et leur volume a été ajusté à 25 ml avec de l'eau déionisée. Les échantillons ont été gardés pour l'analyse minérale par ICAP-AES.

3.3 Analyse minérale des feuilles - 1997

Pour la saison 1997, seuls les échantillons de l'automne ont été traités. Une fois séchés puis broyés, les échantillons ont été analysés selon la technique de ICAP-AES (*Inductively Coupled Argon Plasma- Atomic Emission Sequential Spectrophotometry*) au département de Géologie de l'Université d'Ottawa sous la supervision de Monsieur John Loop. Les éléments analysés ont été les mêmes qu'en 1996 à l'exception de l'azote.

3.4 Analyse élémentaire C et N - 1996- 1997

Les contenus en carbone et en azote des échantillons ont été évalués par analyse élémentaire (Elemental Analyser, Carlo Elba, modèle # NC2500, Italie). Toutes les analyses ont été réalisées par Madame Carole Lafontaine du Centre de recherches de l'Est sur les céréales et les oléagineux d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Ottawa.

3.5 Analyse de sols - 1996- 1997

Les analyses de sols ont été réalisées au laboratoire d'analyse minérale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa. Les éléments minéraux des sols ont été extraits selon la méthode de Melich III (Tran et Simard, 1993), puis analysés par absorption atomique (Atomic Absorption Spectrophotometer, Varian AA-975, Australie). Le phosphore a été analysé séparément en utilisant la technique de Bray. Toutes les analyses ont été réalisées par Madame Viviane DesLauriers et Monsieur Richard Cloutier.

3.6 Détermination du pH - 1996/97

Dans un bécher, 20 mg de sol séché ont été dilués dans 40 ml d'eau déionisée, agités vigoureusement pendant trois minutes environ et laissés au repos pendant 30 minutes. Le pH du mélange eau-sol a ensuite été mesuré avec un pHmètre (Coming 240, Coming, NY, É.-U.). Les résultats obtenus sont présentés au tableau 3.0.

Tableau 3.0 : Valeurs du pH du sol à AAC et CC pour les années 1996 et 1997. Les valeurs entre parenthèses représentent l'erreur standard associée et (n), le nombre de répliquat utilisé pour les analyses.

Années	Saison	Sites	pH
1996	Été	AAC	5.62
		(n=1) CC	5.23
	Automne	AAC	5.67 (0.14)
		(n=5) CC	4.66 (0.16)
1997	Automne	AAC	5.23 (0.09)
		(n=6) CC	4.18 (0.04)

4.0 Colonisation racinaire - coloration

Pour chaque parcelle, une carotte de sol a été prélevée au centre de la parcelle à l'aide d'une tarière de 12 mm de diamètre. Les racines contenues dans la carotte ont été nettoyées dans l'eau afin d'en dégager les débris végétaux et de sol. Les échantillons racinaires frais et bien lavés ont été disposés dans des béciers contenant 20 ml d'une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium (KOH) à 2,5% et leur blanchiment a été effectué en les chauffant dans un four micro-ondes (Kenmore, modèle # 501-87455, 450 Watts) pendant 25 sec (10sec/10sec/5sec) à puissance maximale. Les racines ont été rincées plusieurs fois sous l'eau du robinet afin d'abaisser le pH du milieu. Les échantillons ont ensuite été recouverts d'une solution d'acide chlorhydrique 1N pendant plus de 12 heures pour permettre une bonne acidification des racines (pH entre 2,5 et 3,0). Cette étape a permis d'assurer une coloration efficace par le bleu d'aniline (Koske et Gemma, 1989). Les racines ont ensuite été plongées dans une solution de bleu d'aniline à 0.02% dans le glycérol, chauffées au four micro-ondes pendant 20 sec (2 x 10 sec) à puissance maximale et transférées dans le glycérol pour éliminer l'excès de colorant et pour les conserver intactes pour leur observation ultérieure.

4.1 Montage et observations des racines

Pour chaque carotte, 20 sections de racines de 1 à 1,5 cm de longueur ont été choisies au hasard et montées dans une solution de *polyvinyl-alcohol-lactic acid-glycerol* (PVLG). L'observation des sections de racines a été réalisée sous microscope (Optiphot de Nikon) à grossissement 200x et 400x.

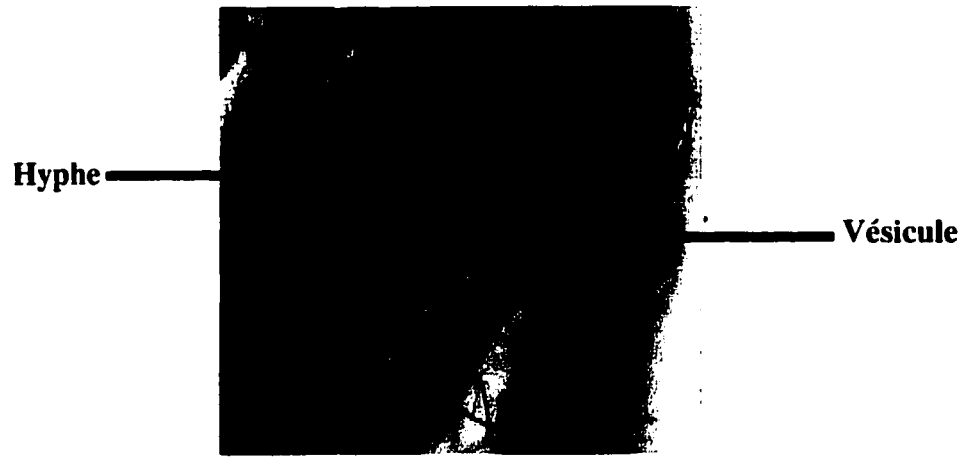
Les racines étaient considérées mycorhizées s'il y avait présence de vésicules, d'arbuscules, de spores à l'intérieur de la racine ou d'hyphe pénétrant la racine (figure 3.0). Le pourcentage de colonisation a été déterminé par la formule suivante (Read *et al.*, 1976) :

$$\% \text{ de colonisation racinaire} = \frac{\text{Nombre de racines mycorhizées}}{\text{Nombre total de racines montées}} \times 100 \quad (\text{a})$$

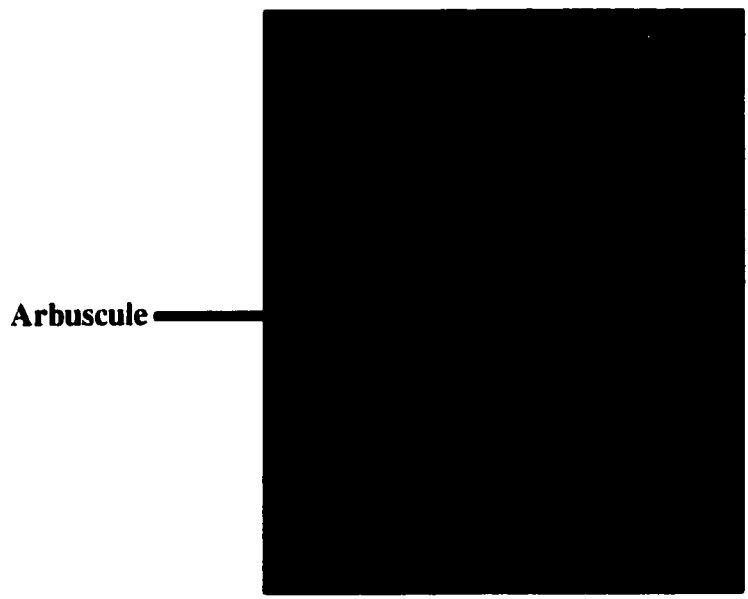
5.0 Extraction des spores indigènes

Cinq échantillons de sol ont été prélevés pour chacun des sites. Dix grammes de sol par échantillon récolté ont été mouillés abondamment de manière à obtenir une boue liquide, puis agités vigoureusement pour en déloger les spores. Sous le robinet, cette solution a été filtrée à travers une série de tamis (500 µm, 150 µm et 53 µm). La portion contenue dans le tamis de 500 µm a été jetée car les spores endomycorhiziennes ont rarement plus de 400 µm de diamètre. Les autres tamisats ont été récupérés et distribués également dans des tubes à centrifugation en prenant soin de bien laver les tamis avec 10 ml d'eau distillée afin de récupérer tout le matériel. Dans chacun des tubes, 10 ml d'une solution de saccharose à 50 % ont lentement été incorporés à l'aide d'une seringue de manière à ce que la solution passe au travers du culot de sol. Les échantillons ont ensuite été centrifugés à 2 000 rpm pendant 4 min et le surnageant, contenant les spores, récupérées sur un tamis aux mailles de 43 µm. Celles-ci ont été rincées abondamment sous l'eau du robinet pour enlever le maximum de la solution de saccharose qui peut endommager les spores et rendre plus difficile leur identification. Le contenu du tamis a été transféré dans un pilulier et conservé au réfrigérateur pour identification subséquente (tableau 4.0).

Figure 3.0 : Racines d'agrostide stolonifère colonisées par *Glomus intraradices*. On peut y observer des vésicules et des hyphes (A) et la présence d'un arbuscule est pointée (B) (DIC x 62.5).



A



B

Tableau 4.0 : Composition sporale indigène pour les sites d'Agriculture et Agroalimentaire Canada et de Clarence Creek pour les années 1996 et 1997. Les croix (X) indiquent l'observation de l'espèce dans au moins un des réplicats alors que les traits (-) indiquent l'absence de cette espèce. Le nombre de réplicats (n) utilisés pour les analyses est indiqué entre parenthèses.

Agriculture et Agroalimentaire Canada														
Année	Saison	Gcl	Gco	Gfa	Gµa	Gmo	Gim	Sru	Gci	Gsp	Sca	Gma	Gpé	Get
1996	Printemps (n=2)	X	X	X	-	X	X	-	X	X	-	-	-	-
	Automne (n=5)	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
1997	Printemps (n=5)	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-
	Automne (n=5)	X	-	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	-
Clarence Creek														
1996	Printemps (n=2)	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
	Automne (n=5)	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-
1997	Printemps (n=5)	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
	Automne (n=5)	X	X	X	-	X	-	X	-	-	X	X	-	X

Légende : Gcl: *G.clarum*; Gco: *G.constrictum*; Gfa: *G.fasciculatum*; Gµa: *G.microaggregatum*; Gmo: *G.mosseae*; Gim: *Gigaspora margarita*; Srub: *S. rubiformis*; Gci: *G.couleur citron*; Gsp: *G.brune sale*; Sca: *S.calospora*; Gma: *G. macrocarpum*; Gp: *G.paroï épaisse*; Get: *G. etunicatum*

5.1 Montage et identification des spores indigènes

Une fois extraites, les solutions de spores ont été filtrées sous vide et les filtrats observés à la loupe. Sous la loupe, les spores ont été isolées manuellement et montées sur lame microscopique dans le milieu PVLG (Omar *et al.*, 1979). L'identification des espèces, basée sur des caractères morphologiques des hyphes suspenseurs et des parois sporales a été effectuée au microscope optique au grossissement 200x et 400x (Optiphot de Nikon).

6.0 Analyse de la chlorophylle - 1996

L'analyse de la chlorophylle pour la saison 1996 a été réalisée à partir de matériel lyophilisé. Pour chaque échantillon, 50 mg de matériel lyophilisé ont été placés dans des fioles contenant 50 ml d'éthanol à 95 %. Les fioles ont été maintenues à température ambiante, à l'obscurité, pendant 24 heures ou jusqu'à décoloration totale (Bruinsma, 1963). L'absorbance (D.O.) a été lue sur un spectrophotomètre (Novaspec II, Pharmacia Biotech, Cambridge, Angleterre) à 663 et 645 nm afin de déterminer les concentrations en chlorophylles a, b et totale selon les formules suivantes :

$$\text{Chlorophylle a} = (\text{DO}_{663} \times 12.7) - (\text{DO}_{645} \times 2.7) \quad (\text{a})$$

$$\text{Chlorophylle b} = (\text{DO}_{645} \times 22.9) - (\text{DO}_{663} \times 4.7) \quad (\text{b})$$

$$\text{Chlorophylle totale} = \text{chlorophylle a} + \text{chlorophylle b} \quad (\text{c})$$

Un blanc composé exclusivement d'éthanol à 95 % a été utilisé pour calibrer le spectrophotomètre.

6.1 Analyse de la chlorophylle - 1997

L'analyse de la chlorophylle pour la saison 1997 s'est faite selon la même procédure que pour l'année 1996 mais en utilisant du matériel frais. Pour chaque traitement, 100 mg de matériel frais ont été placés dans des fioles contenant 20 ml d'éthanol à 95 %.

7.0 Mycorhization de plantes isolées

Cette expérience a été réalisée dans les serres d'AAC. Chaque contenant de plastique (2 x 3 x 4 cm), destiné à la culture d'un seul plant de gazon, a été rempli avec 3 cm de sol stérilisé sous 1 atmosphère de pression pendant 20 min provenant du site d'Agriculture et Agroalimentaire Canada et inoculé selon la même méthode décrite précédemment (section 2.4) mais en utilisant 10 ml d'inoculum de racines colonisées ou non selon le cas. Après germination, le nombre de plants (cinq au départ) par pot a été réduit à un seul afin de pouvoir évaluer l'effet des mycorhizes et des fertilisants sur une plantule unique de gazon. Les combinaisons de traitements et les inoculats utilisés étaient identiques à ceux utilisés dans le cadre des expériences réalisées aux champs. Au total, 96 plantules de gazon (48 d'agrostide stolonifère et 48 de pâturin du Kentucky), distribuées aléatoirement dans la serre, ont été cultivées sous un régime de lumière artificielle (Sylvania Cool White, V.H.O., 215 Watts, Drummondville, Québec) de 6 h à 22 h soient 16 heures par jour, à une température de 23 à 25 °C le jour et de 18 à 20 °C la nuit. Chaque plantule a été coupée au moins une fois par semaine à 3 cm pour l'agrostide et à 5 cm pour le pâturin. Les rognures ont été enlevées après chaque coupe.

Les plantules ont été arrosées régulièrement et fertilisées une fois par mois en suivant le même régime de fertilisation que les parcelles extérieures.

8.0 Estimation de la surface engazonnée

Afin de comparer la cinétique d'établissement du gazon, la surface occupée par le gazon dans chacune des parcelles a été estimée grâce à un cadre en bois de 20 cm x 30 cm quadrillé au cm². À la fin de 1996, l'ensemble des parcelles était entièrement gazonné.

8.1 Estimation de la couleur

Durant l'été 1997, nous avons évalué selon un barème de 1 à 5 la couleur du feuillage des parcelles de gazon. La valeur 5 correspondait à un gazon vert à 100 %, la valeur 4 à un gazon vert à 75 %, la valeur 3 à un gazon vert à 50 %, la valeur 2 à un gazon vert à 25 % et la valeur 1 à un gazon jaune et sec. Chaque valeur a été recueillie par une seule et même personne tout au long de la saison et ce, juste avant les coupes.

8.2 Estimation de la hauteur moyenne

Avant chacune des coupes, cinq mesures de la hauteur de la repousse foliaire ont été prises selon un schéma en domino, et ce pour chacune des parcelles afin de déterminer la valeur moyenne de cette repousse. Chaque mesure de hauteur a été prise de la couronne du plant de gazon jusqu'au sommet de la plus haute feuille.

8.3 Estimation de la longueur des racines

Pour chaque parcelle, une carotte de sol a été prélevée au centre des parcelles à l'aide d'une tarière de 12 mm de diamètre. Les racines contenues dans les carottes ont été nettoyées et conservées dans de l'éthanol dilué dans de l'eau distillée (1:1) avant d'être analysées avec le logiciel WinRhizo Pro (Regent Inc, Québec). Ce logiciel a permis de déterminer la longueur totale des racines pour un volume de sol donné ainsi que le gradient des diamètres racinaires.

Résultats

1.0 Colonisation racinaire - 1996

Après six semaines de croissance, les racines du pâturin et de l'agrostide étaient colonisées à moins de 1 % (figure 1.1) et aucune colonisation n'a été observée chez les parcelles témoins (figure 1.1).

Après seize semaines de croissance, les pourcentages de colonisation ont augmenté chez les deux graminées de gazon aux deux sites (figure 1.2). Chez le pâturin, le pourcentage de colonisation tendait à être plus élevé à Clarence Creek (moyenne d'environ 25 %) qu'à Agriculture et Agrolimentaire Canada (moyenne d'environ 10 %) quel que soit le traitement mycorhizien (figure 1.2). Chez l'agrostide à CC, les pourcentages de colonisation racinaire tendaient à être plus importants pour *Glomus intraradices* et *G. mosseae*, quel que soit le régime de fertilisation. À AAC, ces deux mêmes espèces tendaient à moins coloniser les racines de gazon en présence de fertilisation chimique. Chez *G. aggregatum*, la colonisation demeurait constante quel que soit le site ou le régime de fertilisation (figure 1.2). Enfin, les traitements témoins initialement non inoculés étaient colonisés autant que dans les autres traitements.

Figure 1.1 : Moyennes (n=4) des pourcentages de colonisation racinaire chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1996. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard associée à chaque traitement. Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle 1 B- Fertilisation Naturelle 2 C- Fertilisation Chimique

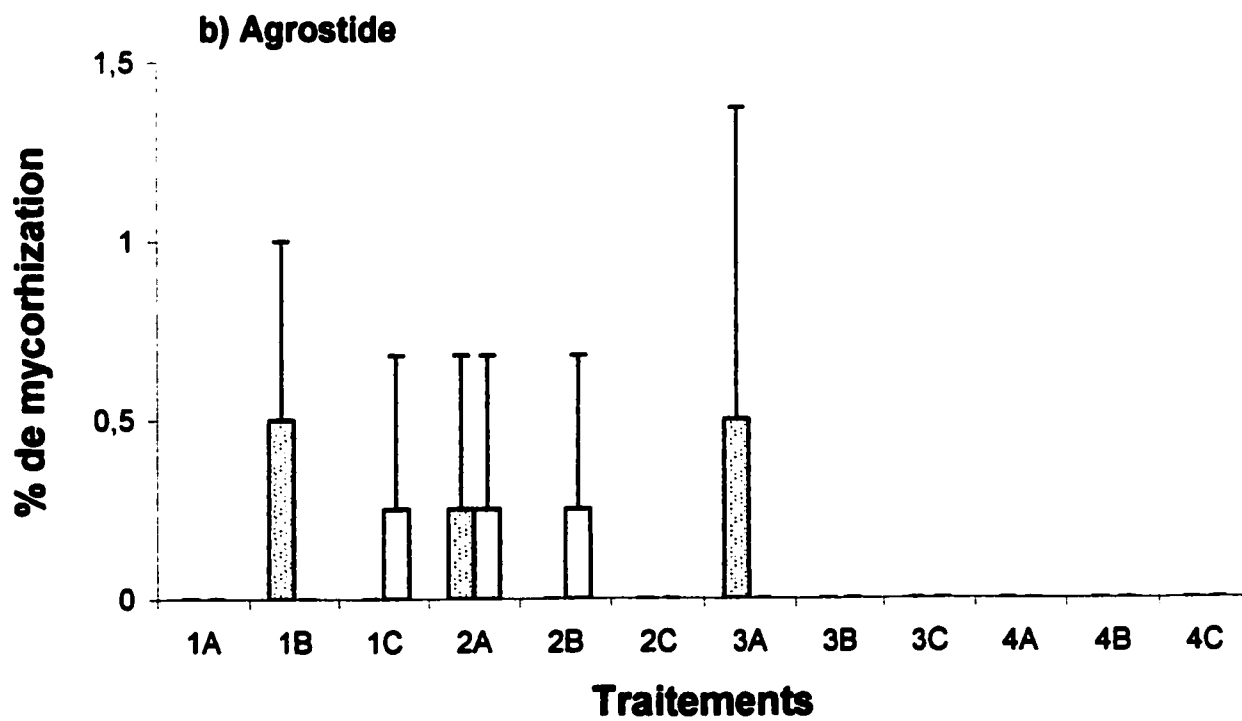
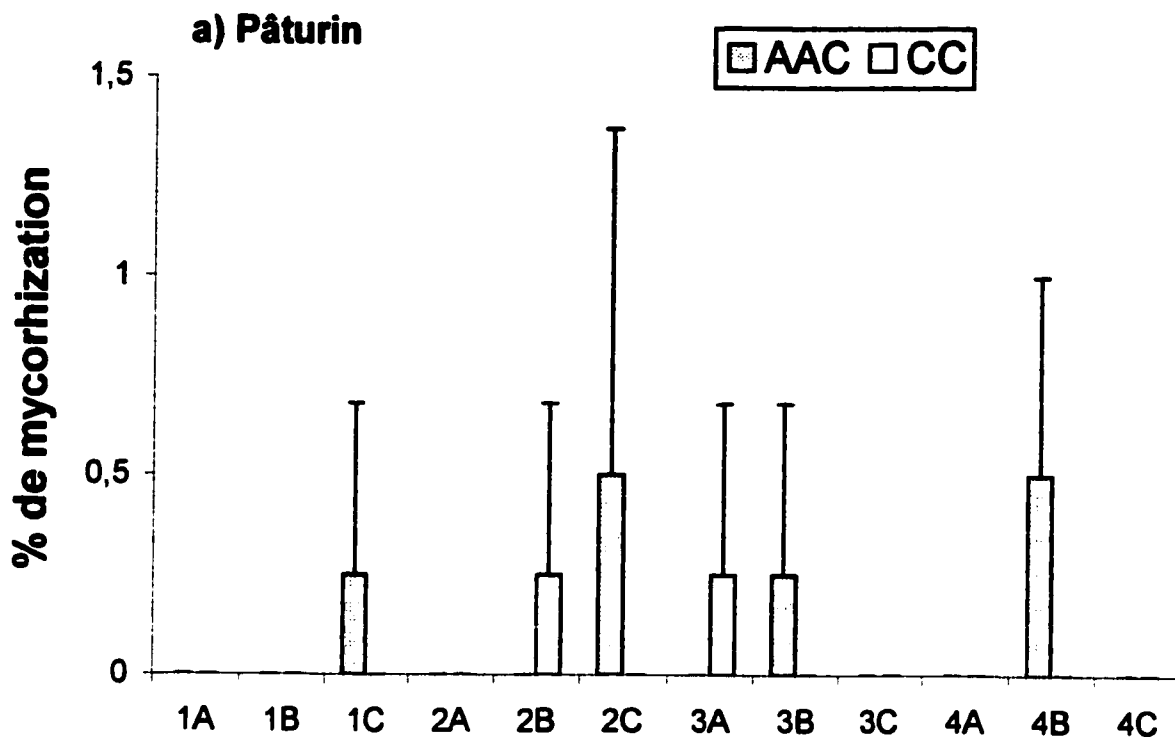
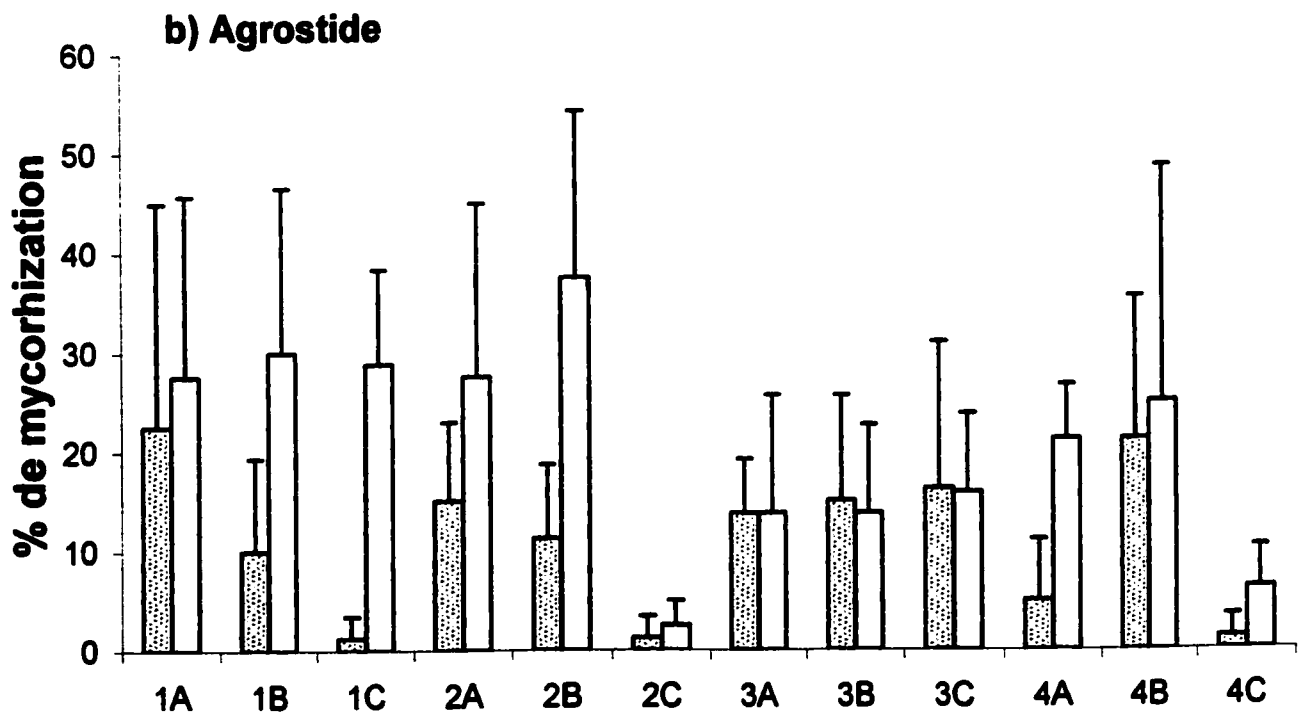
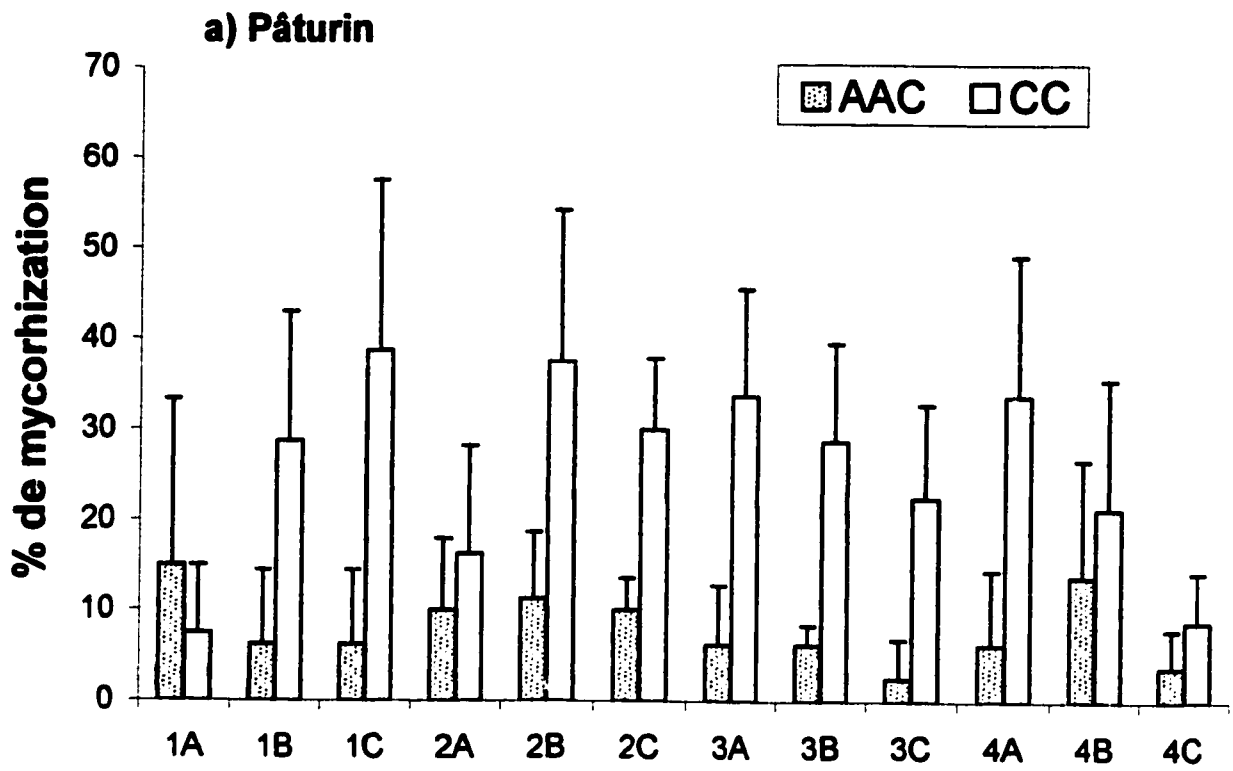


Figure 1.2 : Moyennes (n=4) des pourcentages de colonisation racinaire chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1996. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard associée à chaque traitement. Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle 1 B- Fertilisation Naturelle 2 C- Fertilisation Chimique



Traitements

1.2 Colonisation racinaire - 1997

Au printemps 1997, la colonisation était présente dans tous les traitements à AAC à l'exception du pâturin avec *G. mosseae* sous une fertilisation chimique. Les pourcentages de colonisation racinaire étaient très variables passant de nul à près de 50 % chez le pâturin et de 5 % à 30 % chez l'agrostide. Les parcelles témoins étaient colonisées par les populations indigènes de champignons mycorhiziens (figure 1.3).

À l'automne 1997, les pourcentages de colonisation ont augmenté chez les deux graminées de gazon (figure 1.4). À AAC, les parcelles de pâturin tendaient à être plus faiblement colonisées avec *G. mosseae* (figure 1.4). Chez l'agrostide, le pourcentage de colonisation était plus élevé (~ 60 %) que chez le pâturin (~ 30 %). Les parcelles fertilisées avec engrais chimique à AAC tendaient à être moins colonisées que les autres parcelles, et ce quel que soit le type de champignon mycorhizien considéré (figure 1.4).

Figure 1.3 : Moyennes (n=4) des pourcentages de colonisation racinaire chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour le printemps 1997. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard associée à chaque traitement. Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

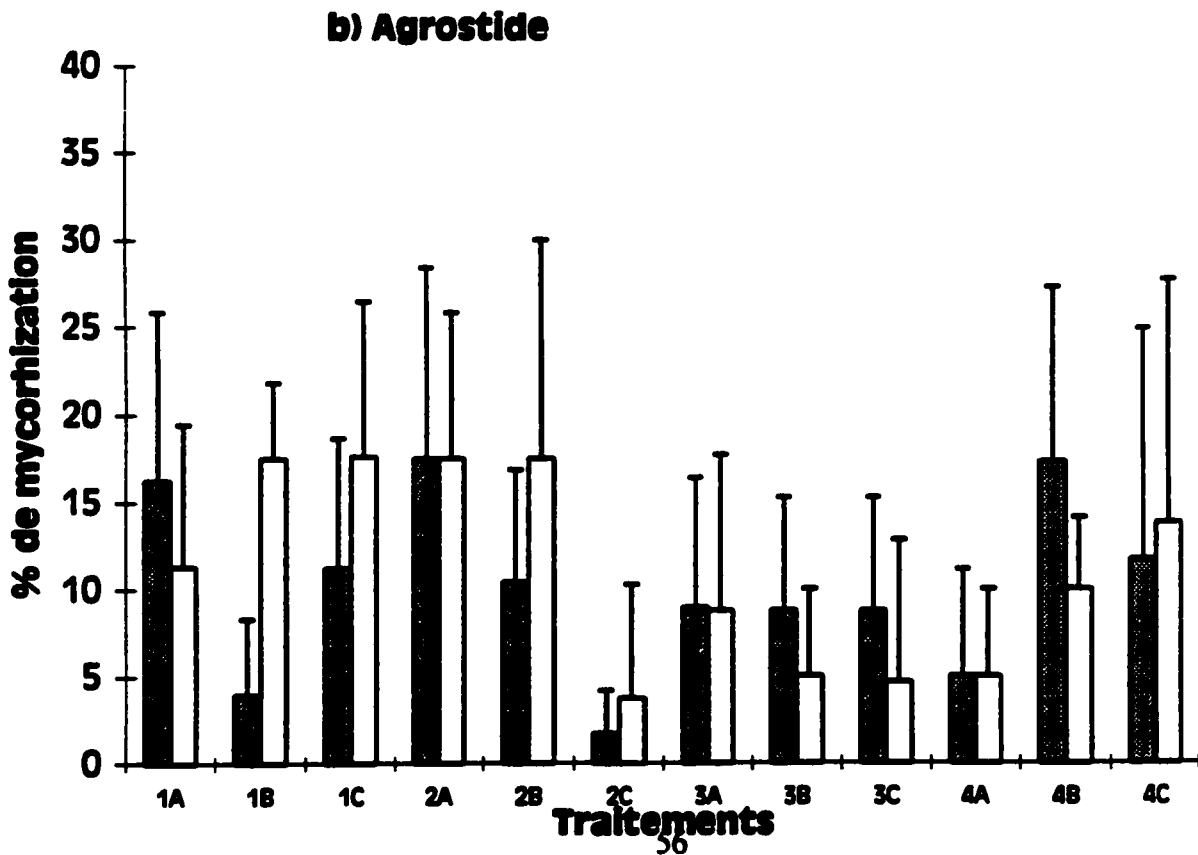
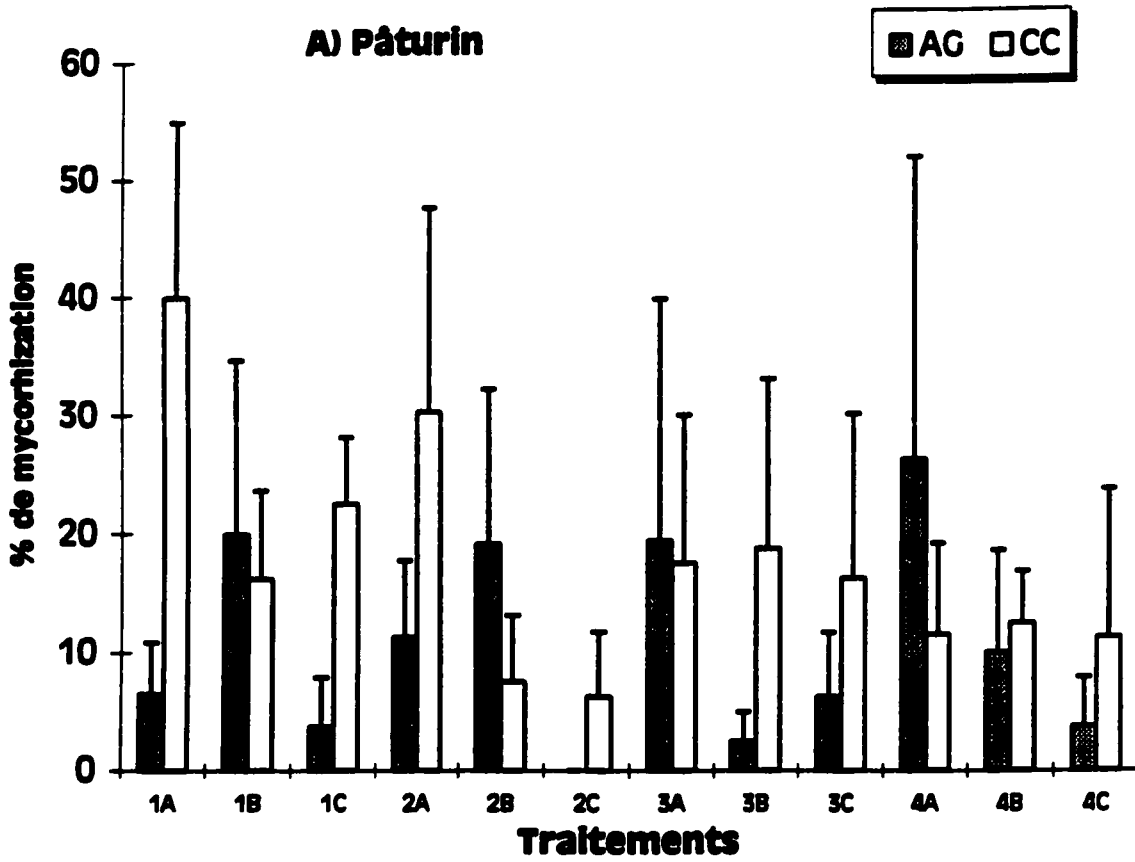
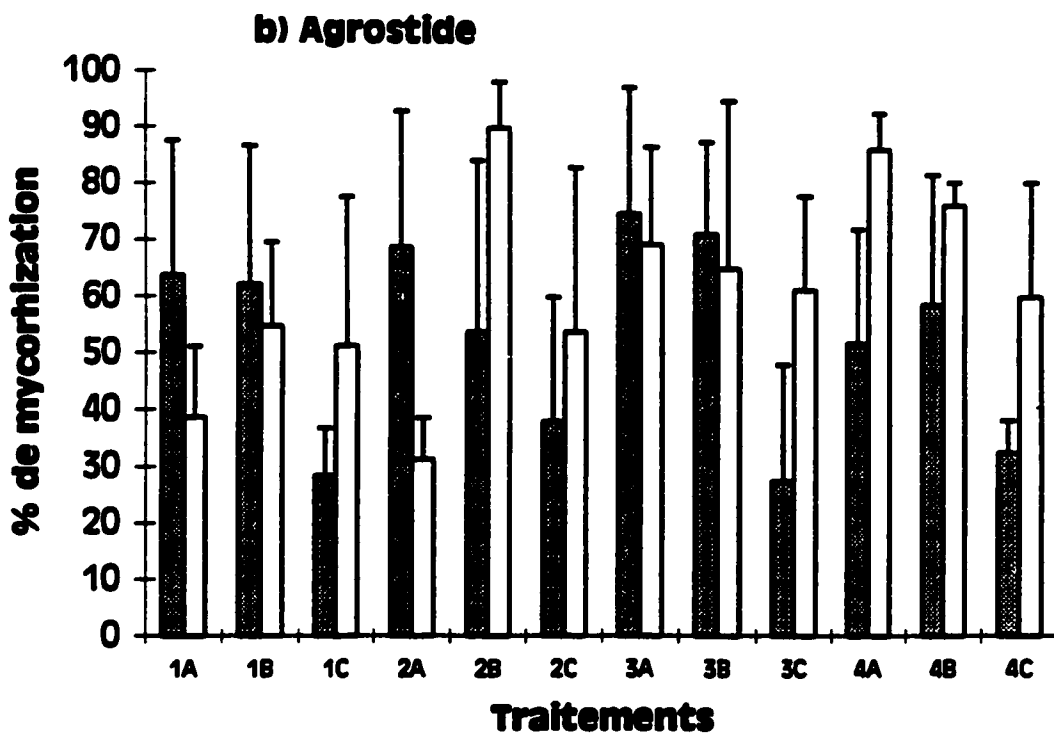
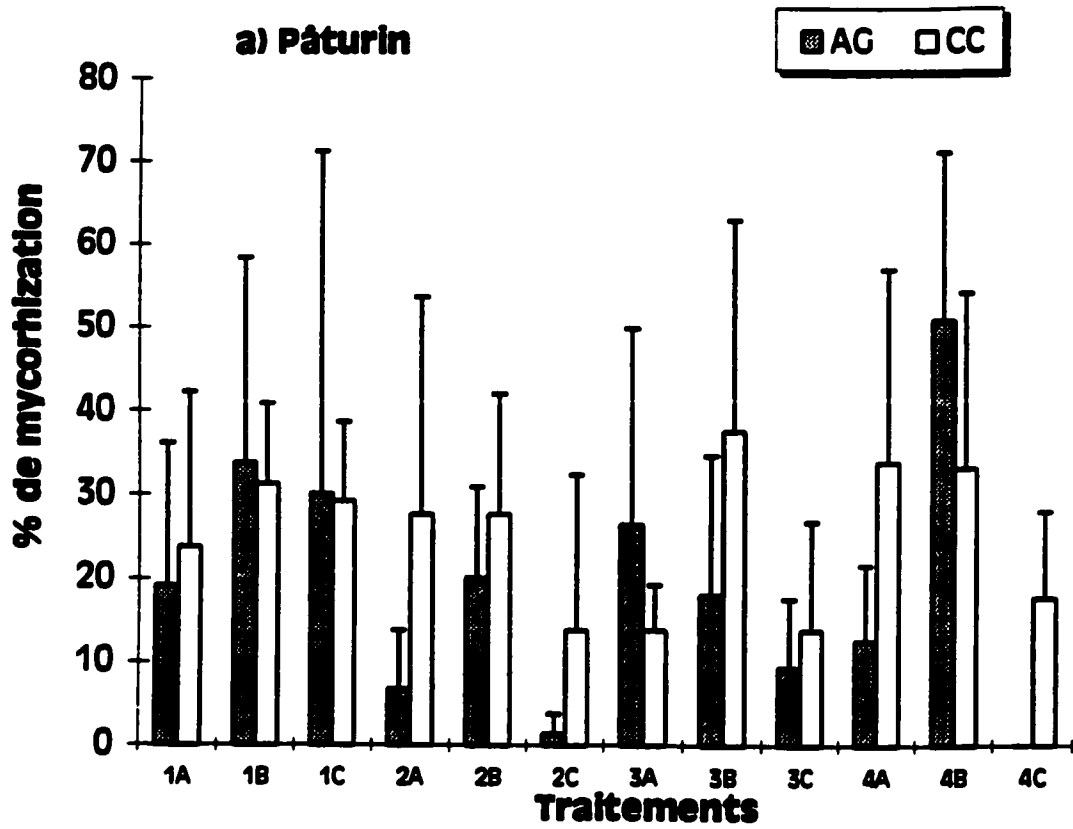


Figure 1.4 : Moyennes (n=4) des pourcentages de colonisation racinaire chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard associée à chaque traitement. Avec comme légende : **1-** *Glomus intraradices* **2-** *Glomus mosseae* **3-** *Glomus aggregatum* **4-** Témoin non inoculé et **A-** Fertilisation Naturelle **B-** Témoin non fertilisé **C-** Fertilisation Chimique



2.0 Analyses minérales foliaires

2.1 Azote (N)

Après huit semaines de croissance (été 1996), la concentration d'azote dans les feuilles des deux graminées était significativement ($p \leq 0.001$) plus élevée de près de 30 % à CC qu'à AAC (tableaux 2.1 et 2.2; annexe 4a). Chez le pâturin, les parcelles inoculées avec *Glomus intraradices* et fertilisées avec les engrais naturel 1 et chimique ont les plus hautes concentrations d'azote à CC (tableau 2.1). À AAC, la concentration d'azote dans les feuilles est la moins élevée en présence de *G. aggregatum* lorsque les parcelles ont été traitées par l'un ou l'autre des fertilisants naturels. Les concentrations d'azote tendent à être plus élevées en présence de *G. intraradices* ou de *G. mosseae* que dans les témoins non inoculés avec ces deux mêmes fertilisants. Chez l'agrostide, les parcelles ayant reçu une fertilisation chimique tendent à avoir légèrement plus d'azote par rapport à celles traitées aux fertilisants naturels (tableau 2.2).

À l'automne 1996, chez le pâturin, il y a une différence significative ($p \leq 0.05$) entre les traitements mycorhiziens ainsi que des interactions significatives : S x F et S x F x M ($p \leq 0.001$) (annexe 4a). Cependant, le test de Tukey montre très peu de différences significatives entre les traitements (tableau 2.3). Les concentrations d'azote dans les feuilles du pâturin tendaient à être plus élevées chez les parcelles inoculées avec *G. intraradices* en présence de fertilisant naturel, et ce quel que soit le site considéré (tableau 2.3). À CC, la concentration d'azote paraît plus élevée avec *G. aggregatum* et le témoin que dans les deux autres traitements (tableau 2.3). Chez l'agrostide, cependant, il n'y a aucune différence significative entre les traitements (tableau 2.4 et annexe 4b).

Enfin, à l'automne 1997, la concentration d'azote dans les feuilles du pâturin tend à être légèrement supérieure dans les parcelles fertilisées avec un engrais naturel (tableau 2.5). Les parcelles d'agrostide, fertilisées durant la saison 1997, ont tendance à avoir des concentrations d'azote supérieures dans leurs feuilles par rapport au témoin non fertilisé (tableau 2.6).

2.2 Phosphore (P)

À l'été 1996, la concentration de phosphore dans les feuilles des deux graminées de gazon est significativement ($p \leq 0.001$) plus élevée d'environ 25 % à AAC par rapport à CC (tableaux 2.1 et 2.2). Pour le pâturin, les parcelles fertilisées avec engrais chimique ont tendance à avoir une concentration de phosphore légèrement supérieure par rapport à celles qui ont reçu un engrais naturel (tableau 2.1). L'ANOVA montre en ce sens un effet significatif ($p \leq 0.05$) de fertilisant (annexe 4a). Pour l'agrostide, les concentrations en phosphore tendent à être légèrement supérieures chez les parcelles inoculées avec *G. mosseae* ou *G. intraradices* (tableau 2.2) à AAC. À CC, les parcelles mises en présence de *G. aggregatum* ou sans inoculum ont tendance à avoir des concentrations plus élevées en phosphore qu'avec les deux autres espèces mycorhiziennes (tableau 2.2). D'ailleurs, l'ANOVA indique une interaction significative ($p \leq 0.05$) : S x M (annexe 4b).

À l'automne 1996, la concentration de phosphore dans les feuilles des deux graminées est significativement ($p \leq 0.001$) plus élevée à AAC qu'à CC (tableaux 2.3 et 2.4). Les parcelles de pâturin ayant reçu une fertilisation naturelle montrent des différences significatives entre les sites alors que cette dernière disparaît presque entièrement pour les parcelles qui ont reçu une fertilisation chimique (tableau 2.3).

L'ANOVA montre une interaction : S x F très hautement significative ($p \leq 0.001$) (annexe 4a). Chez l'agrostide et plus particulièrement à AAC, les concentrations de phosphore sont légèrement supérieures dans les parcelles fertilisées avec engrais chimique que naturel (tableau 2.4).

Enfin, à l'automne 1997, les concentrations de phosphore sont significativement ($p \leq 0.001$) plus élevées à AAC qu'à CC de près de 20 % et 25 % chez le pâturin et l'agrostide respectivement (tableaux 2.5 et 2.6). Chez l'agrostide, les parcelles inoculées avec *G. mosseae* et *G. intraradices* ont tendance à contenir légèrement plus de phosphore que dans les autres traitements à AAC (tableau 2.6).

2.3 Potassium (K)

Chez le pâturin, à l'été 1996, la concentration de potassium dans les feuilles est significativement supérieure ($p \leq 0.001$) à CC qu'à AAC quel que soit le traitement de fertilisation (tableaux 2.1 et 2.2). Les plus hautes concentrations de potassium se retrouvent dans les parcelles inoculées par *G. mosseae* suivies de près par *G. intraradices* à CC. Similairement à AAC, les parcelles inoculées avec *G. intraradices* et *G. mosseae* ont tendance à avoir de plus grandes concentrations de potassium que les témoins, principalement lorsque fertilisés avec de l'engrais naturel 2 et de l'engrais chimique (tableau 2.1). L'ANOVA indique une différence très hautement significative ($p \leq 0.001$) entre les traitements mycorhiziens (annexe 4a). Pour la même période chez l'agrostide, la concentration de potassium tend à être plus importante dans les traitements inoculés avec *G. mosseae* ou *G. intraradices* et fertilisés avec de l'engrais naturel (tableau 2.2).

De plus, à CC, sous le régime de fertilisant naturel 2, les parcelles ayant été inoculées avec *G. mosseae* ont une concentration significativement ($p \leq 0.05$) plus élevée en potassium (tableau 2.2). L'ANOVA supporte ces observations en indiquant des effets significatifs de site, de mycorhize, ainsi qu'une interaction significative : M x S (annexe 4b).

À l'automne 1996, l'ANOVA indique une interaction : M x S très hautement significative ($p \leq 0.001$) chez le pâturin (annexe 4a). À CC, la concentration de potassium est généralement plus élevée lorsque les parcelles sont en présence de *G. mosseae* ou de *G. intraradices* et ce quel que soit la fertilisation (tableaux 2.3 et 2.4). Cette relation s'inverse à AAC, alors que les concentrations de potassium les plus élevées s'observent au niveau de *G. aggregatum* et du témoin non inoculé (tableaux 2.3 et 2.4).

À l'automne 1997, les parcelles de pâturin et d'agrostide fertilisées ont tendance à avoir des concentrations de potassium plus élevées que les parcelles témoins non fertilisées (tableaux 2.5 et 2.6). L'ANOVA indique d'ailleurs un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de fertilisant (annexes 4a et 4b). Chez l'agrostide, la concentration en potassium est significativement plus élevée ($p \leq 0.001$) à AAC qu'à CC, avec une différence de près de 20 % entre les deux sites (tableau 2.5 et annexe 4b).

2.4 Calcium (Ca)

Bien que l'ANOVA (annexe 4a) indique des effets très hautement significatifs ($p \leq 0.001$) de mycorhize, de fertilisation et une interaction : S x M, pour l'été 1996, chez le pâturin, le test de Tukey indique très peu de différences significatives entre les traitements (tableau 2.1).

Pour les deux graminées à AAC, les parcelles inoculées par *G. intraradices* ou par *G. mosseae* ont tendance à avoir des concentrations de calcium plus élevées par rapport aux deux autres traitements mycorhiziens (tableau 2.1). Par contre, à CC, les concentrations de calcium ont tendance à être légèrement plus élevées chez les parcelles inoculées par *G. aggregatum* et les parcelles témoins (tableau 2.2). D'ailleurs, l'ANOVA indique une interaction très hautement significative ($p \leq 0.001$) : S x M (annexe 4b).

À l'automne 1996, la concentration de calcium dans les feuilles tend à être plus élevée à AAC qu'à CC (tableau 2.3 et annexe 4a) chez le pâturin. La fertilisation chimique tend à augmenter légèrement la concentration de calcium dans les feuilles du pâturin (tableau 2.3). L'ANOVA indique d'ailleurs un effet significatif de fertilisation ($p \leq 0.05$) (annexe 4a). Bien que l'ANOVA indique des effets significatifs de site et de mycorhize chez l'agrostide, le test de Tukey révèle très peu de différences entre les traitements (tableau 2.4 et annexe 4b).

Enfin, chez le pâturin à l'automne 1997, la concentration de calcium tend à être plus élevée à AAC qu'à CC et ce principalement dans les parcelles non fertilisées (tableau 2.5). De plus, la concentration moyenne de calcium est plus élevée dans les parcelles témoins que dans les parcelles fertilisées (tableau 2.5). L'ANOVA indique d'ailleurs des effets significatifs de site et de fertilisant (annexe 4a). Chez l'agrostide, l'ANOVA et le test de Tukey ne montrent aucune différence entre les traitements (tableau 2. et annexe 4b) .

2.5 Magnésium (Mg)

Bien que l'ANOVA révèle un effet très significatif ($p \leq 0.01$) de fertilisant (annexe 4a) chez le pâturin à l'été 1996, la concentration de magnésium a tendance à être plus élevée en

présence de fertilisant chimique (tableau 2.1). La concentration de magnésium tend à être légèrement plus basse chez les parcelles avec *G. aggregatum* fertilisées avec engrais naturel à AAC (tableau 2.1). Bien que l'ANOVA indique une interaction très hautement significative ($p \leq 0.001$) entre site et mycorhize (annexe 4a), le test de Tukey ne révèle que très peu de différences significatives entre les traitements (tableau 2.1). Chez l'agrostide, à la même période, les concentrations de magnésium tendent à être plus élevées avec les traitements *G. intraradices* et *G. mosseae* dans les parcelles fertilisées avec un engrais naturel à CC (tableau 2.1). Cette tendance ne se maintient cependant pas pour les traitements avec engrais chimique. À AAC, ce sont les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et *G. mosseae* qui ont les plus hautes concentrations lorsque fertilisées avec de l'engrais chimique (tableau 2.2). Il y a une interaction significative ($p \leq 0.05$) : S x M (annexe 4b).

À l'automne 1996, la concentration de magnésium est significativement ($p \leq 0.001$) supérieure à AAC qu'à CC chez les deux graminées (tableaux 2.1 et 2.2; annexes 4a et 4b). Des différences d'environ 10 % et 32 % sont mesurées entre les deux sites pour le pâturin et l'agrostide respectivement. De plus, les parcelles ayant reçu une fertilisation avec engrais naturel ont des concentrations de magnésium significativement plus élevées que celles fertilisées avec engrais chimique chez l'agrostide (tableau 2.4). D'ailleurs, la fertilisation a un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) (annexe 4b).

Enfin, à l'automne 1997, bien que l'ANOVA indique une différence très hautement significative ($p \leq 0.001$) entre les sites (annexe 4a), le test de Tukey indique peu de différences entre les traitements. Cependant, les parcelles de pâturin et d'agrostide à AAC ont tendance à contenir plus de magnésium que celles de CC. Des différences d'environ 15 % et 20 % sont observées entre les deux sites pour le pâturin et l'agrostide respectivement (tableaux 2.5 et 2.6).

Chez l'agrostide, les parcelles n'ayant pas reçu de fertilisant et celles ayant reçu une fertilisation chimique tendent à avoir des concentrations de magnésium plus faibles que les parcelles fertilisées avec l'engrais naturel (tableau 2.6). L'ANOVA indique un effet de site très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de fertilisant (annexe 4b).

2.6 Soufre (S)

À l'été 1996, la concentration de soufre est significativement ($p \leq 0.001$) plus élevée à CC qu'à AAC (tableau 2.1 et annexe 4a) chez le pâturin. À CC, pour le pâturin, les traitements ayant reçu une fertilisation avec engrais naturel ont tendance à avoir une concentration de soufre plus élevée que les traitements avec engrais chimique (tableau 2.1). De plus, les traitements inoculés avec *G. mosseae* ont tendance à avoir une concentration plus importante de soufre dans leurs feuilles (tableau 2.1). Chez l'agrostide, bien que l'ANOVA indique des effets significatifs (annexe 4b), le test de Tukey montre très peu de différences entre les traitements (tableau 2.2). Cependant, la concentration de soufre tend à être plus importante chez les parcelles inoculées avec *G. intraradices* alors que les concentrations les plus basses sont observées en présence de *G. aggregatum* pour le site de CC (tableau 2.2).

À l'automne 1996, la concentration de soufre dans les feuilles d'agrostide est significativement plus élevée d'environ 32 % à AAC qu'à CC (tableaux 2.3 et 2.4). La concentration de soufre tend à être supérieure dans les traitements fertilisés avec engrais naturel qu'avec engrais chimique (tableaux 2.3 et 2.4) pour les deux graminées. Chez l'agrostide, des concentrations de 1,5 à 2 fois supérieures ont été observées entre les deux types de fertilisants (tableau 2.4).

Cette observation correspond d'ailleurs à l'ANOVA qui indique une très forte interaction ($p \leq 0.001$) : S x F (annexe 4b). Chez le pâturin à AAC, les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et les témoins ont tendance à avoir des concentrations de soufre plus élevées que les deux autres traitements mycorhiziens, sous un régime de fertilisation naturel (tableau 2.3).

L'ANOVA (annexes 4a et 4b) ainsi que le test de Tukey (tableaux 2.5 et 2.6) ne révèlent aucune différence entre les traitements à l'automne 1997, et ce chez les deux graminées.

Tableau 2.1: Concentrations (mg/g) des macroéléments dans les feuilles du pâturin du Kentucky (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1996. Les différentes lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		N	P	K	Ca	Mg	S
Fertilisation Naturel 1							
GI	AAC	13.1 ^{fgh} (0.9)	3.0 ^{a-f} (0.3)	21.0 ^{d-h} (2.1)	5.0 ^{ab} (0.4)	2.3 ^{abc} (0.3)	1.6 ^{c-f} (0.2)
	CC	19.8 ^{ab} (2.2)	2.3 ^B (0.3)	26.5 ^{ab} (1.9)	4.0 ^{a-f} (0.4)	2.2 ^{abc} (0.2)	2.2 ^{a-d} (0.2)
GM	AAC	14.7 ^{d-f} (0.4)	3.3 ^{abc} (0.2)	22.0 ^{b-h} (0.7)	4.7 ^{a-c} (0.5)	2.1 ^{abc} (0.1)	1.6 ^{def} (0.2)
	CC	16.8 ^{b-f} (0.5)	2.4 ^{efg} (0.3)	26.2 ^{abc} (1.3)	3.8 ^{b-f} (0.2)	2.1 ^{abc} (0.2)	2.5 ^{ab} (0.2)
GA	AAC	9.4 ⁱ (1.1)	2.8 ^{a-g} (0.4)	19.3 ^{gh} (1.6)	3.2 ^f (0.5)	1.8 ^c (0.2)	1.6 ^{def} (0.3)
	CC	17.5 ^{a-d} (1.0)	2.3 ^{fg} (0.1)	25.3 ^{a-d} (1.1)	4.3 ^{a-f} (0.4)	2.1 ^{abc} (0.2)	2.1 ^{a-d} (0.2)
T	AAC	10.7 ^{hi} (0.6)	3.1 ^{a-f} (0.2)	19.0 ^{d-h} (0.4)	3.6 ^{def} (0.1)	1.9 ^{abc} (0.1)	1.3 ^{ef} (0.1)
	CC	16.6 ^{a-f} (1.5)	2.5 ^{d-g} (0.4)	24.5 ^{a-f} (1.3)	3.8 ^{c-f} (0.7)	2.2 ^{abc} (0.1)	1.7 ^{b-f} (0.5)
Fertilisation Naturel 2							
GI	AAC	14.0 ^{d-h} (0.3)	3.1 ^{a-c} (0.2)	21.3 ^{d-h} (0.3)	5.0 ^{abc} (0.1)	2.1 ^{abc} (0.1)	1.6 ^{c-f} (0.5)
	CC	15.3 ^{c-g} (0.7)	2.5 ^{efg} (0.3)	23.6 ^{a-g} (1.7)	3.9 ^{b-f} (0.4)	2.0 ^{abc} (0.1)	1.9 ^{b-f} (0.1)
GM	AAC	13.3 ^{e-h} (0.8)	3.3 ^{a-d} (0.3)	21.5 ^{c-h} (1.6)	4.8 ^{a-d} (0.3)	2.1 ^{abc} (0.1)	1.6 ^{def} (0.1)
	CC	17.4 ^{a-d} (2.1)	2.5 ^{efg} (0.1)	27.3 ^a (1.5)	4.4 ^{a-c} (0.2)	2.1 ^{abc} (0.1)	2.7 ^a (0.2)
GA	AAC	9.0 ⁱ (0.6)	2.7 ^{a-g} (0.1)	18.5 ^h (1.6)	3.8 ^{b-f} (0.3)	1.8 ^{bc} (0.1)	1.2 ^f (0.3)
	CC	17.2 ^{a-d} (1.2)	2.4 ^{efg} (0.2)	24.7 ^{a-c} (1.9)	4.8 ^{a-d} (0.1)	2.2 ^{abc} (0.1)	1.6 ^{c-f} (0.2)
T	AAC	11.9 ^{ghi} (1.1)	3.1 ^{a-c} (0.1)	18.6 ^h (1.5)	3.8 ^{b-f} (0.2)	2.0 ^{abc} (0.0)	1.6 ^{c-f} (0.1)
	CC	15.3 ^{c-g} (0.6)	2.5 ^{d-g} (0.1)	22.4 ^{a-h} (1.6)	4.5 ^{a-c} (0.1)	2.2 ^{abc} (0.1)	2.4 ^{abc} (0.3)
Fertilisation chimique							
GI	AAC	14.9 ^{d-g} (0.7)	3.3 ^{a-d} (0.2)	19.7 ^{fgh} (0.9)	4.8 ^{a-d} (0.7)	2.5 ^a (0.4)	1.4 ^{def} (0.4)
	CC	20.3 ^a (0.9)	2.6 ^{c-g} (0.3)	26.6 ^{ab} (1.2)	4.7 ^{a-c} (0.6)	2.2 ^{abc} (0.4)	1.9 ^{b-f} (0.2)
GM	AAC	13.2 ^{e-h} (0.3)	3.2 ^{a-d} (0.2)	21.8 ^{b-h} (1.1)	4.8 ^{a-c} (0.2)	2.3 ^{ab} (0.1)	1.6 ^{c-f} (0.2)
	CC	18.9 ^{ab} (2.6)	2.2 ^B (0.3)	27.6 ^a (2.7)	4.4 ^{a-c} (0.4)	2.1 ^{abc} (0.1)	2.2 ^{a-d} (0.4)
GA	AAC	13.6 ^{e-h} (1.1)	3.4 ^{ab} (0.3)	18.8 ^{gh} (2.4)	3.8 ^{c-f} (0.4)	2.1 ^{abc} (0.2)	2.0 ^{a-f} (0.1)
	CC	18.6 ^{abc} (0.8)	2.5 ^{efg} (0.3)	24.2 ^{a-f} (2.1)	5.3 ^a (0.3)	2.5 ^a (0.2)	1.2 ^{ef} (0.1)
T	AAC	12.8 ^{fgh} (0.6)	3.5 ^a (0.2)	19.8 ^{e-h} (1.0)	3.5 ^{ef} (0.2)	2.0 ^{abc} (0.1)	2.0 ^{a-c} (0.3)
	CC	18.5 ^{abc} (1.1)	2.5 ^{d-g} (0.2)	22.1 ^{b-h} (1.2)	4.5 ^{a-c} (0.6)	2.2 ^{abc} (0.3)	1.5 ^{def} (0.2)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.2: Concentrations (mg/g) des macroéléments dans les feuilles d'agrostide stolonifère (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1996. Les lettres différentes à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		N	P	K	Ca	Mg	S
Fertilisation Naturel 1							
GI	AAC	18.4 ^{efg} (1.1)	4.7 ^{ab} (0.2)	28.5 ^{a-d} (1.1)	7.2 ^{ab} (0.5)	2.8 ^{abc} (0.2)	2.9 ^{ab} (0.4)
	CC	23.8 ^{a-d} (0.6)	3.7 ^{a-c} (0.4)	26.9 ^{a-d} (1.0)	5.6 ^{def} (0.3)	2.8 ^{abc} (0.1)	4.0 ^a (0.2)
GM	AAC	18.2 ^{efg} (0.8)	4.7 ^{ab} (0.2)	28.0 ^{a-d} (0.2)	6.4 ^{b-f} (0.3)	2.4 ^{ab} (0.1)	3.3 ^{ab} (0.5)
	CC	24.7 ^{abc} (1.9)	2.8 ^c (0.4)	29.4 ^{abc} (2.3)	5.8 ^{c-f} (0.2)	2.6 ^{abc} (0.2)	3.5 ^{ab} (0.7)
GA	AAC	17.2 ^{fg} (1.5)	4.6 ^{abc} (0.5)	27.6 ^{a-d} (1.6)	5.6 ^{cf} (0.7)	2.6 ^{abc} (0.3)	4.0 ^a (0.7)
	CC	26.5 ^a (1.6)	4.3 ^{a-d} (1.2)	28.4 ^{a-d} (0.3)	8.0 ^a (0.4)	2.1 ^{abc} (0.2)	3.3 ^{ab} (0.3)
T	AAC	16.8 ^{fg} (1.4)	4.3 ^{abc} (0.2)	22.0 ^c (2.6)	5.3 ^f (0.5)	2.6 ^{abc} (0.3)	3.7 ^{ab} (0.8)
	CC	22.8 ^{a-c} (1.6)	3.6 ^{a-c} (0.4)	25.5 ^{cde} (2.4)	7.5 ^{ab} (0.5)	2.2 ^{abc} (0.1)	3.4 ^{ab} (0.2)
Fertilisation Naturel 2							
GI	AAC	19.9 ^{c-g} (1.1)	4.7 ^a (0.1)	29.5 ^{abc} (1.3)	7.1 ^{abc} (0.8)	2.5 ^{abc} (0.2)	3.1 ^{ab} (0.3)
	CC	24.3 ^{a-d} (2.6)	3.3 ^{cdc} (0.3)	26.9 ^{a-d} (1.4)	6.5 ^{b-f} (0.4)	2.7 ^{abc} (0.1)	3.8 ^a (0.3)
GM	AAC	16.6 ^g (0.9)	4.5 ^{abc} (0.1)	26.9 ^{a-d} (0.5)	6.8 ^{a-c} (0.3)	2.6 ^{ab} (0.1)	3.0 ^{ab} (0.2)
	CC	24.1 ^{a-d} (3.4)	3.4 ^{a-c} (0.5)	30.7 ^{ab} (1.0)	6.6 ^{b-f} (0.1)	2.6 ^{abc} (0.1)	3.7 ^{ab} (0.1)
GA	AAC	16.9 ^{fg} (2.0)	4.3 ^{a-d} (0.1)	25.4 ^{cdc} (1.3)	5.6 ^{def} (0.1)	2.4 ^{ab} (0.2)	3.7 ^a (0.3)
	CC	21.9 ^{a-f} (1.5)	3.6 ^{a-c} (0.3)	25.9 ^{cde} (1.1)	7.9 ^a (0.2)	2.2 ^c (0.1)	3.6 ^{ab} (0.4)
T	AAC	16.6 ^{fg} (1.7)	4.4 ^{abc} (0.1)	26.3 ^{a-c} (1.3)	5.8 ^{c-f} (0.4)	2.5 ^{abc} (0.2)	3.4 ^{ab} (0.1)
	CC	20.7 ^{b-g} (1.0)	3.5 ^{a-c} (0.8)	24.7 ^{de} (0.7)	7.4 ^{ab} (0.7)	2.2 ^{abc} (0.1)	3.9 ^a (0.5)
Fertilisation chimique							
GI	AAC	19.4 ^{d-g} (1.7)	4.6 ^{abc} (0.1)	26.7 ^{a-d} (0.5)	6.9 ^{a-d} (0.6)	2.7 ^{abc} (0.2)	2.8 ^{ab} (0.5)
	CC	25.8 ^{ab} (1.0)	3.3 ^{b-c} (0.5)	28.1 ^{a-d} (2.0)	6.5 ^{b-f} (0.2)	2.7 ^{abc} (0.3)	3.7 ^{ab} (0.3)
GM	AAC	21.2 ^{b-g} (1.7)	4.6 ^{abc} (0.2)	27.8 ^{a-d} (0.6)	7.2 ^{ab} (0.5)	2.3 ^{bc} (0.3)	3.5 ^{ab} (0.1)
	CC	25.9 ^{ab} (1.4)	3.0 ^{de} (0.3)	30.9 ^a (2.7)	6.2 ^{b-f} (0.3)	2.1 ^{abc} (0.1)	3.4 ^{ab} (0.4)
GA	AAC	17.8 ^{efg} (1.1)	4.4 ^{abc} (0.1)	26.1 ^{b-c} (0.4)	5.3 ^f (0.2)	3.0 ^a (0.1)	3.5 ^{ab} (1.2)
	CC	24.9 ^{abc} (1.4)	3.3 ^{cde} (0.7)	29.0 ^{a-d} (0.9)	7.3 ^{ab} (0.4)	2.5 ^{abc} (0.2)	2.5 ^b (0.3)
T	AAC	17.7 ^{efg} (1.4)	4.4 ^{abc} (0.2)	26.8 ^{a-d} (1.5)	5.6 ^{def} (0.5)	2.5 ^{abc} (0.2)	3.6 ^{ab} (0.5)
	CC	24.8 ^{abc} (2.6)	3.5 ^{a-c} (0.5)	26.8 ^{a-d} (2.5)	7.3 ^{ab} (0.2)	2.2 ^{abc} (0.3)	3.0 ^{ab} (0.3)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.3: Concentrations (mg/g) des macroéléments dans les feuilles de pâturin du Kentucky (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1996. Les lettres différentes à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		N	P	K	Ca	Mg	S
Fertilisation Naturel 1							
GI	AAC	19.3 ^a (3.0)	4.5 ^{a-d} (0.4)	24.1 ^{c-g} (0.8)	4.8 ^{abc} (0.6)	2.8 ^{abc} (0.2)	2.4 ^{a-f} (0.3)
	CC	19.3 ^a (1.1)	3.7 ^{c-f} (0.1)	24.4 ^{c-g} (3.7)	4.2 ^{a-c} (0.4)	2.5 ^{b-c} (0.2)	2.3 ^{a-f} (0.2)
GM	AAC	17.1 ^{ab} (1.0)	4.4 ^{a-d} (0.1)	21.3 ^{fg} (0.4)	4.8 ^{abc} (0.1)	2.7 ^{a-d} (0.1)	2.5 ^{a-f} (0.4)
	CC	18.0 ^{ab} (1.8)	3.8 ^{c-f} (0.2)	28.2 ^{abc} (0.6)	3.5 ^c (0.2)	2.3 ^{de} (0.1)	2.8 ^{a-c} (0.5)
GA	AAC	19.4 ^a (0.8)	4.5 ^{a-d} (0.2)	26.8 ^{a-d} (0.5)	4.5 ^{a-d} (0.2)	2.9 ^{ab} (0.1)	3.1 ^a (0.5)
	CC	16.8 ^{ab} (0.8)	3.5 ^{cf} (0.2)	21.9 ^{ef} (0.9)	4.1 ^{a-c} (0.4)	2.5 ^{b-c} (0.2)	2.1 ^{b-f} (0.2)
T	AAC	17.9 ^{ab} (0.7)	4.7 ^{ab} (0.1)	25.0 ^{ab} (1.0)	4.3 ^{a-c} (0.2)	2.8 ^{abc} (0.1)	2.8 ^{abc} (0.4)
	CC	20.2 ^a (1.7)	4.0 ^{c-f} (0.7)	19.7 ^c (0.5)	4.3 ^{a-c} (0.4)	2.6 ^{b-c} (0.4)	4.0 ^{a-f} (2.9)
Fertilisation Naturel 2							
GI	AAC	20.2 ^a (1.0)	4.6 ^{ab} (0.3)	23.6 ^{c-g} (0.5)	4.9 ^{ab} (0.3)	3.0 ^a (0.2)	2.5 ^{a-f} (0.2)
	CC	19.5 ^a (1.3)	3.7 ^{c-f} (0.4)	30.1 ^a (1.3)	3.8 ^{de} (0.2)	2.4 ^{cde} (0.2)	2.5 ^{a-f} (0.2)
GM	AAC	19.3 ^a (1.4)	4.7 ^{ab} (0.2)	23.6 ^{c-g} (1.0)	4.6 ^{a-d} (0.1)	2.9 ^{ab} (0.1)	2.8 ^{a-d} (0.1)
	CC	14.8 ^b (2.0)	3.3 ^f (0.3)	26.4 ^{a-c} (1.1)	4.0 ^{cde} (0.6)	2.5 ^{b-c} (0.3)	2.5 ^{a-d} (0.2)
GA	AAC	19.2 ^{ab} (1.0)	5.0 ^a (0.4)	26.3 ^{a-c} (1.2)	4.3 ^{a-c} (0.2)	2.8 ^{abc} (0.1)	3.0 ^{ab} (0.1)
	CC	19.5 ^a (2.3)	3.6 ^{def} (0.3)	22.6 ^{d-g} (2.1)	3.9 ^{cde} (0.4)	2.6 ^{a-c} (0.1)	2.3 ^{a-f} (0.4)
T	AAC	18.5 ^{ab} (1.4)	4.7 ^{ab} (0.2)	24.6 ^{c-g} (0.8)	4.5 ^{a-c} (0.3)	2.9 ^{a-c} (0.2)	2.7 ^{a-d} (0.2)
	CC	19.1 ^{ab} (0.9)	3.7 ^{def} (0.4)	21.6 ^{fg} (0.9)	4.1 ^{b-c} (0.2)	2.5 ^{b-c} (0.2)	2.9 ^{ab} (0.3)
Fertilisation chimique							
GI	AAC	17.8 ^{ab} (1.4)	4.4 ^{a-c} (0.1)	23.4 ^{d-g} (0.8)	5.1 ^a (0.2)	2.5 ^{a-c} (0.1)	1.9 ^{def} (0.3)
	CC	17.4 ^{ab} (0.7)	4.6 ^{abc} (0.5)	28.2 ^{abc} (0.2)	3.6 ^{de} (0.2)	2.1 ^c (0.1)	2.0 ^{c-f} (0.2)
GM	AAC	17.8 ^{ab} (1.0)	4.1 ^{b-f} (0.1)	21.1 ^{fg} (0.8)	5.1 ^a (0.3)	2.5 ^{b-c} (0.1)	1.9 ^{c-f} (0.1)
	CC	18.8 ^{ab} (2.1)	4.5 ^{a-d} (0.4)	29.3 ^{ab} (1.4)	4.6 ^{a-d} (0.3)	2.3 ^{de} (0.2)	2.2 ^{a-c} (0.4)
GA	AAC	17.2 ^{ab} (0.9)	4.4 ^{a-c} (0.1)	26.7 ^{a-d} (1.1)	4.4 ^{a-c} (0.3)	2.5 ^{b-c} (0.2)	2.1 ^{b-f} (0.2)
	CC	19.6 ^a (1.0)	4.5 ^{a-d} (0.1)	22.2 ^{d-g} (3.1)	4.2 ^{a-c} (0.3)	2.3 ^{de} (0.1)	1.6 ^f (0.3)
T	AAC	18.2 ^{ab} (1.9)	4.1 ^{b-f} (0.2)	24.2 ^{c-g} (1.3)	4.8 ^{abc} (0.4)	2.5 ^{b-c} (0.2)	2.0 ^{c-f} (0.4)
	CC	20.3 ^a (0.9)	4.5 ^{a-d} (0.3)	22.5 ^{d-g} (3.1)	4.2 ^{a-c} (0.2)	2.3 ^{de} (0.1)	1.8 ^{cf} (0.4)

GI= *Glomus intraradices*, GM= *Glomus mosseae*, GA= *Glomus aggregatum*, T= Témoin non inoculé

Tableau 2.4: Concentrations (mg/g) des macroéléments dans les feuilles d'agrostide stolonifère (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1996. Les différentes lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		N	P	K	Ca	Mg	S
Fertilisation Naturel 1							
GI	AAC	20.3 ^a (1.2)	5.4 ^{ab} (0.4)	26.0 ^{c-g} (2.3)	5.6 ^b (0.6)	4.2 ^a (0.5)	7.3 ^{a-c} (1.0)
	CC	21.5 ^a (0.2)	4.1 ^c (0.3)	28.2 ^{abc} (1.4)	5.4 ^b (0.1)	2.8 ^{cd} (0.2)	4.4 ^{a-i} (0.3)
GM	AAC	21.7 ^a (1.0)	5.9 ^a (0.1)	27.3 ^{b-f} (1.0)	6.4 ^{ab} (0.4)	4.2 ^{ab} (0.8)	7.2 ^{a-f} (2.3)
	CC	22.6 ^a (1.6)	4.2 ^c (0.3)	29.9 ^{abc} (1.3)	4.9 ^b (0.7)	2.7 ^{cd} (0.1)	5.2 ^{d-i} (0.5)
GA	AAC	22.2 ^a (1.6)	5.8 ^a (0.4)	31.6 ^a (2.0)	6.3 ^{ab} (0.7)	4.9 ^a (0.1)	9.7 ^a (0.8)
	CC	23.1 ^a (2.4)	4.4 ^{bc} (0.2)	23.8 ^{d-h} (1.2)	6.5 ^{ab} (0.5)	2.9 ^{cd} (0.2)	5.3 ^{c-h} (0.4)
T	AAC	16.1 ^a (6.4)	4.5 ^{ab} (1.6)	22.8 ^{a-g} (8.0)	6.3 ^{ab} (0.2)	3.9 ^a (1.6)	8.5 ^a (3.8)
	CC	24.4 ^a (3.8)	4.2 ^{bc} (0.1)	20.8 ^h (0.8)	5.9 ^b (0.4)	2.9 ^c (0.2)	4.6 ^{a-g} (1.4)
Fertilisation Naturel 2							
GI	AAC	24.7 ^a (1.8)	5.9 ^a (0.2)	27.8 ^{a-c} (0.9)	6.4 ^{ab} (0.2)	4.8 ^a (0.5)	8.2 ^{a-d} (1.1)
	CC	24.1 ^a (1.5)	4.3 ^c (0.1)	30.8 ^{ab} (0.4)	5.8 ^b (0.4)	2.9 ^{cd} (0.1)	5.2 ^{d-i} (0.2)
GM	AAC	21.5 ^a (1.5)	5.5 ^a (0.2)	25.9 ^{c-g} (0.5)	5.8 ^b (0.2)	4.6 ^a (0.3)	8.3 ^{a-d} (0.7)
	CC	20.4 ^a (1.8)	4.3 ^c (0.1)	28.9 ^{abc} (1.7)	6.0 ^b (0.8)	2.7 ^{cd} (0.1)	5.7 ^{c-h} (0.6)
GA	AAC	22.4 ^a (2.6)	5.5 ^a (0.3)	29.3 ^{abc} (0.4)	6.0 ^b (0.7)	4.9 ^a (0.8)	9.6 ^{ab} (1.7)
	CC	23.9 ^a (1.8)	4.3 ^c (0.2)	22.9 ^{gh} (1.6)	6.3 ^{ab} (0.3)	3.0 ^{cd} (0.3)	5.4 ^{c-h} (0.4)
T	AAC	23.5 ^a (2.0)	5.8 ^a (0.3)	29.6 ^{abc} (1.2)	5.9 ^b (0.4)	4.4 ^a (0.5)	8.7 ^{abc} (1.1)
	CC	23.2 ^a (2.5)	4.2 ^c (0.2)	23.2 ^{fgh} (0.3)	5.8 ^b (0.4)	2.8 ^{cd} (0.2)	5.8 ^{b-h} (0.4)
Fertilisation chimique							
GI	AAC	21.1 ^a (1.8)	6.1 ^a (0.6)	26.3 ^{c-g} (1.4)	6.1 ^b (1.2)	3.2 ^{bc} (0.6)	4.5 ^{fi} (2.1)
	CC	21.9 ^a (2.8)	4.4 ^{bc} (0.2)	28.5 ^{abc} (1.0)	4.8 ^b (0.2)	2.4 ^{cd} (0.1)	3.8 ^{ghi} (0.2)
GM	AAC	22.2 ^a (1.7)	5.8 ^a (0.2)	23.6 ^{e-h} (1.6)	6.4 ^{ab} (0.9)	2.9 ^{cd} (0.1)	3.9 ^{ghi} (0.3)
	CC	21.0 ^a (1.8)	4.0 ^c (0.2)	27.9 ^{a-d} (2.2)	5.1 ^b (0.3)	2.3 ^d (0.1)	3.5 ^{hi} (0.1)
GA	AAC	22.3 ^a (1.2)	6.0 ^a (0.5)	30.7 ^{ab} (2.1)	6.0 ^b (0.7)	2.8 ^c (0.2)	3.7 ^{ghi} (0.2)
	CC	21.4 ^a (0.1)	4.1 ^c (0.3)	20.9 ^h (1.3)	6.4 ^{ab} (1.3)	2.5 ^{cd} (0.1)	3.2 ⁱ (0.2)
T	AAC	21.6 ^a (0.8)	6.0 ^a (0.9)	29.2 ^{abc} (1.0)	8.7 ^a (1.1)	2.8 ^{cd} (0.2)	3.7 ^{hi} (0.3)
	CC	22.4 ^a (1.4)	4.1 ^c (0.2)	20.3 ^h (1.7)	6.6 ^{ab} (1.9)	2.6 ^{cd} (0.1)	4.3 ^{fi} (1.4)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.5 : Concentrations (mg/g) des macroéléments dans les feuilles de pâturin du Kentucky (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les différentes lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		N	P	K	Ca	Mg	S
Fertilisation Naturel 1							
GI	AAC	37.7 ^{ab} (1.8)	3.8 ^a (0.4)	20.7 ^{ab} (0.9)	3.2 ^{abc} (0.1)	2.8 ^{a-d} (0.1)	4.2 ^a (1.1)
	CC	39.2 ^a (1.6)	2.7 ^{b-c} (0.2)	18.7 ^{ab} (2.1)	2.9 ^{bc} (0.2)	2.5 ^{a-d} (0.1)	3.9 ^a (0.9)
GM	AAC	37.5 ^{ab} (0.9)	3.4 ^{a-c} (0.2)	20.2 ^{ab} (3.7)	3.1 ^{abc} (0.2)	2.9 ^{abc} (0.1)	2.5 ^a (0.3)
	CC	36.4 ^{ab} (2.1)	2.6 ^{bc} (0.2)	20.7 ^{ab} (2.7)	3.2 ^{abc} (0.3)	2.4 ^{a-d} (0.1)	4.3 ^a (1.6)
GA	AAC	38.0 ^{ab} (1.2)	3.2 ^{a-c} (0.3)	21.1 ^{ab} (2.4)	3.2 ^{abc} (0.4)	3.0 ^{abc} (0.1)	3.6 ^a (1.6)
	CC	39.1 ^a (1.5)	2.9 ^{a-c} (0.4)	20.8 ^{ab} (2.3)	3.2 ^{abc} (0.2)	2.5 ^{a-d} (0.1)	3.7 ^a (0.9)
T	AAC	37.4 ^{ab} (1.4)	3.8 ^a (0.3)	19.9 ^{ab} (2.2)	3.0 ^{abc} (0.2)	3.1 ^{abc} (0.1)	4.1 ^a (0.7)
	CC	37.6 ^{ab} (1.5)	3.1 ^{a-c} (0.2)	19.6 ^{ab} (1.7)	3.1 ^{abc} (0.3)	2.5 ^{a-d} (0.0)	4.6 ^a (1.4)
Témoin							
GI	AAC	35.0 ^{ab} (0.9)	3.6 ^{abc} (0.4)	18.2 ^{ab} (2.8)	3.7 ^{ab} (0.1)	2.8 ^{a-d} (0.1)	3.1 ^a (0.5)
	CC	36.1 ^{ab} (1.2)	2.9 ^{a-c} (0.3)	16.9 ^{ab} (1.1)	3.3 ^{abc} (0.3)	2.4 ^{a-d} (0.2)	4.2 ^a (0.5)
GM	AAC	36.1 ^{ab} (1.9)	3.6 ^{abc} (0.3)	19.3 ^{ab} (1.1)	3.4 ^{abc} (0.1)	2.7 ^{a-d} (0.1)	3.4 ^a (0.9)
	CC	35.3 ^{ab} (2.8)	2.8 ^{b-c} (0.6)	17.3 ^{ab} (0.8)	3.0 ^{abc} (0.3)	2.2 ^{cd} (0.1)	3.2 ^a (0.8)
GA	AAC	35.4 ^{ab} (1.4)	3.2 ^{a-c} (0.3)	17.1 ^{ab} (1.2)	3.6 ^{ab} (0.3)	2.7 ^{a-d} (0.2)	2.6 ^a (0.6)
	CC	35.8 ^{ab} (3.2)	2.7 ^{cd} (0.4)	15.1 ^b (2.6)	3.2 ^{abc} (0.4)	2.4 ^{a-d} (0.4)	3.5 ^a (0.9)
T	AAC	34.3 ^{ab} (2.0)	3.2 ^{a-c} (0.2)	16.8 ^{ab} (2.9)	3.8 ^a (0.3)	3.4 ^{ab} (1.1)	2.8 ^a (0.4)
	CC	32.9 ^b (2.8)	2.5 ^c (0.3)	16.3 ^b (1.7)	3.3 ^{abc} (0.4)	2.3 ^{bcd} (0.2)	3.2 ^a (1.1)
Fertilisation chimique							
GI	AAC	36.5 ^{ab} (1.6)	3.6 ^{ab} (0.3)	21.2 ^{ab} (0.9)	2.9 ^{bc} (0.2)	2.7 ^{a-d} (0.3)	2.9 ^a (0.7)
	CC	37.4 ^{ab} (2.1)	3.1 ^{a-c} (0.2)	19.3 ^{ab} (1.2)	3.0 ^{bc} (0.2)	2.3 ^{a-d} (0.2)	3.5 ^a (1.2)
GM	AAC	36.8 ^{ab} (1.1)	3.6 ^{ab} (0.1)	22.8 ^a (1.9)	3.0 ^{bc} (0.5)	2.7 ^{a-d} (0.3)	3.3 ^a (1.1)
	CC	37.2 ^{ab} (1.8)	2.7 ^{b-c} (0.3)	20.4 ^{ab} (1.1)	3.3 ^{abc} (0.4)	2.3 ^{bcd} (0.3)	3.8 ^a (1.3)
GA	AAC	33.8 ^{ab} (0.5)	3.4 ^{a-d} (0.2)	19.8 ^{ab} (2.2)	3.4 ^{abc} (0.2)	2.9 ^{a-d} (0.5)	3.1 ^a (0.8)
	CC	35.5 ^{ab} (1.5)	2.8 ^{a-c} (0.4)	19.6 ^{ab} (2.3)	2.9 ^{bc} (0.2)	2.2 ^{cd} (0.1)	2.6 ^a (0.6)
T	AAC	35.6 ^{ab} (1.2)	3.4 ^{a-d} (0.3)	21.4 ^{ab} (2.4)	3.2 ^{abc} (0.2)	3.4 ^a (0.9)	3.5 ^a (1.1)
	CC	34.8 ^{ab} (2.3)	2.5 ^{de} (0.1)	21.0 ^{ab} (3.3)	2.7 ^c (0.2)	2.0 ^d (0.2)	2.5 ^a (1.2)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.6: Concentrations (mg/g) des macroéléments dans les feuilles d'agrostide stolonifère (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les différentes lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		N	P	K	Ca	Mg	S
Fertilisation Naturel 1							
GI	AAC	43.1 ^a (0.7)	4.6 ^{abc} (0.2)	26.6 ^{abc} (3.4)	5.2 ^a (0.0)	3.9 ^{ab} (0.2)	5.3 ^a (0.6)
	CC	42.4 ^a (3.4)	3.5 ^{bc-f} (0.6)	25.9 ^{a-d} (4.0)	5.4 ^a (0.4)	3.3 ^{abc} (0.2)	4.5 ^a (1.2)
GM	AAC	42.1 ^a (2.9)	4.9 ^a (0.3)	26.8 ^{abc} (2.0)	5.3 ^a (0.4)	3.8 ^{ab} (0.4)	6.7 ^a (1.7)
	CC	42.5 ^a (5.0)	3.0 ^f (0.2)	19.3 ^{def} (1.5)	5.4 ^a (0.3)	3.2 ^{abc} (0.2)	6.4 ^a (2.0)
GA	AAC	42.9 ^a (2.5)	4.5 ^{a-d} (0.5)	26.8 ^{abc} (3.7)	5.8 ^a (0.7)	4.0 ^a (0.7)	5.3 ^a (1.5)
	CC	46.4 ^a (0.5)	3.5 ^{bc-f} (0.4)	21.2 ^{bc-f} (2.4)	5.4 ^a (0.4)	3.1 ^{abc} (0.2)	6.3 ^a (1.6)
T	AAC	41.2 ^a (2.0)	4.7 ^{ab} (0.5)	24.4 ^{a-c} (2.3)	5.5 ^a (0.6)	3.8 ^{abc} (0.4)	5.9 ^a (1.0)
	CC	44.0 ^a (0.9)	3.6 ^{a-f} (0.5)	23.8 ^{a-f} (1.0)	5.7 ^a (0.5)	3.5 ^{abc} (0.3)	6.1 ^a (2.4)
Témoin							
GI	AAC	39.2 ^a (2.1)	4.8 ^a (0.9)	22.9 ^{a-f} (0.5)	5.7 ^a (0.5)	3.4 ^{abc} (0.2)	5.7 ^a (1.2)
	CC	37.6 ^a (4.1)	2.9 ^f (0.1)	17.6 ^{ef} (2.9)	6.0 ^a (0.7)	2.9 ^{bc} (0.1)	5.7 ^a (1.1)
GM	AAC	38.1 ^a (3.2)	4.6 ^{abc} (0.6)	21.9 ^{b-f} (1.8)	5.6 ^a (0.5)	3.5 ^{abc} (0.3)	5.9 ^a (1.1)
	CC	38.6 ^a (1.0)	3.0 ^f (0.4)	19.6 ^{def} (0.5)	6.1 ^a (0.1)	2.9 ^{bc} (0.1)	6.1 ^a (2.5)
GA	AAC	39.4 ^a (2.6)	4.1 ^{a-f} (0.2)	21.5 ^{b-f} (2.7)	5.3 ^a (0.5)	3.3 ^{abc} (0.1)	4.7 ^a (0.5)
	CC	36.7 ^a (4.6)	3.3 ^{c-f} (0.3)	17.2 ^f (2.8)	5.8 ^a (0.6)	2.9 ^{bc} (0.3)	6.1 ^a (0.9)
T	AAC	38.7 ^a (2.2)	4.2 ^{a-f} (0.2)	24.1 ^{a-f} (1.4)	5.3 ^a (0.4)	3.3 ^{abc} (0.3)	5.8 ^a (1.4)
	CC	40.0 ^a (0.5)	3.2 ^{ef} (0.5)	18.6 ^{ef} (0.8)	5.6 ^a (0.7)	3.0 ^{bc} (0.2)	6.6 ^a (1.3)
Fertilisation chimique							
GI	AAC	42.1 ^a (2.0)	4.5 ^{a-d} (0.4)	24.9 ^{a-f} (0.9)	5.3 ^a (0.5)	3.3 ^{abc} (0.5)	5.4 ^a (1.4)
	CC	44.9 ^a (1.2)	3.6 ^{a-f} (0.3)	20.5 ^{c-f} (0.6)	5.6 ^a (0.4)	3.0 ^{bc} (0.3)	6.3 ^a (0.6)
GM	AAC	41.7 ^a (0.5)	4.9 ^a (0.3)	27.2 ^{abc} (2.7)	5.5 ^a (0.4)	3.7 ^{abc} (0.2)	6.0 ^a (2.2)
	CC	41.0 ^a (4.0)	3.2 ^{def} (0.4)	21.2 ^{b-f} (1.1)	5.6 ^a (0.3)	3.0 ^{bc} (0.1)	5.7 ^a (1.4)
GA	AAC	42.0 ^a (1.5)	4.7 ^{ab} (0.4)	28.0 ^{ab} (3.5)	5.6 ^a (0.3)	3.6 ^{abc} (0.2)	4.5 ^a (0.9)
	CC	39.9 ^a (4.1)	3.4 ^{c-f} (0.2)	19.3 ^{def} (0.7)	5.4 ^a (0.2)	2.8 ^c (0.2)	5.7 ^a (1.5)
T	AAC	40.9 ^a (2.8)	4.4 ^{a-c} (0.4)	30.2 ^a (0.8)	5.4 ^a (0.3)	3.7 ^{abc} (0.6)	5.0 ^a (1.6)
	CC	38.2 ^a (4.4)	3.8 ^{a-f} (0.4)	20.6 ^{b-f} (2.5)	5.5 ^a (0.4)	3.2 ^{abc} (0.3)	6.0 ^a (0.8)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

2.7 Fer (Fe)

À l'automne 1996, quel que soit le site considéré, les concentrations de fer dans les feuilles des deux graminées tendent à être plus élevées dans les parcelles témoins ou inoculées avec *G. aggregatum* (tableaux 2.7 et 2.8). Chez le pâturin, l'effet significatif ($p \leq 0.01$) de fertilisant indiqué par l'ANOVA (annexe 4a) se reflète dans les parcelles avec engrais naturel 2 qui ont tendance à avoir des concentrations en fer plus élevées que dans les autres traitements de fertilisation, et ce quel que soit le type de mycorhize (tableau 2.7). Les parcelles non inoculées ont une concentration plus élevée de fer à CC qu'à AAC selon le test de Tukey (tableau 2.7) et constituent les traitements avec la plus haute concentration de fer (tableau 2.3). Chez l'agrostide, la concentration en fer tend à être plus élevée d'environ 35 % à CC qu'à AAC (tableau 2.8).

À l'automne 1996, chez le pâturin, les concentrations de fer dans les feuilles ont tendance à être plus élevées dans les parcelles inoculées par *G. intraradices* et *G. mosseae*, quel que soit le type de fertilisation (tableau 2.9). D'ailleurs, l'ANOVA indique un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de fertilisant (annexe 4a). Chez l'agrostide, bien que l'ANOVA indique un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de site (annexe 4b), le test de Tukey ne révèle aucune différence entre les traitements (tableau 2.10). Malgré tout, la concentration en fer dans les feuilles d'agrostide à AAC tend à être plus élevée que celle de CC (tableau 2.10).

Enfin, chez le pâturin, l'ANOVA (annexe 4a) et le test de Tukey (tableau 2.11) n'ont révélé aucune différence significative entre les traitements pour l'automne 1997. Cependant, dans les parcelles d'agrostide non fertilisées à AAC, la concentration en fer est significativement plus élevée dans les parcelles inoculées que dans les parcelles témoins (tableau 2.14). L'ANOVA indique d'ailleurs une interaction : F x M très hautement significative ($p \leq 0.001$) (tableau 2.8).

2.8 Manganèse (Mn)

L'ANOVA et le test de Tukey indiquent que la concentration de manganèse est significativement supérieure à CC par rapport à AAC (tableau 2. et annexe 4a). Des différences d'environ 60 % et 67 %, respectivement pour le pâturin et l'agrostide, sont observées entre les deux sites. Chez le pâturin, les traitements ayant reçu une fertilisation avec engrais chimique ont tendance à contenir légèrement plus de manganèse que les traitements avec engrais naturel (tableau 2.7). L'ANOVA a révélé un effet très significatif ($p \leq 0.01$) de fertilisant (annexe 4a) mais il n'existe pas de différences significatives selon le test de Tukey. Chez l'agrostide, à AAC, les concentrations de manganèse tendent à être plus élevées dans les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et les parcelles témoins que pour les deux autres traitements mycorhiziens alors que les concentrations demeurent constantes à CC (tableau 2.8). De plus, les parcelles d'AAC, ayant reçu une fertilisation chimique, ont tendance à avoir des concentrations légèrement supérieures que celles fertilisées avec les engrais naturels (tableau 2.8). Ceci correspond à un effet très significatif ($p \leq 0.01$) de fertilisant indiqué par l'ANOVA (annexe 4b).

À l'automne 1996, les concentrations de manganèse sont significativement plus élevées à CC qu'à AAC. Des différences significatives ($p \leq 0.001$) de près de 50 % et de 72 % sont mesurées entre les deux sites, respectivement chez le pâturin et l'agrostide (tableaux 2.8 et 2.9; annexes 4a et 4b). Chez le pâturin, sous le régime de fertilisation naturelle, les concentrations de manganèse tendent à être plus élevées dans les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et les témoins pour le site d'AAC (tableau 2.9). De plus, les parcelles fertilisées avec engrais naturel tendent à contenir légèrement plus de manganèse que les traitements fertilisés avec engrais chimique (tableau 2.9). Ceci corrobore l'effet de fertilisant ($p \leq 0.001$) de l'ANOVA (annexe 4a).

Chez l'agrostide, à CC, les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* ou le témoin ont tendance à avoir des concentrations plus élevées que les autres traitements mycorhiziens (tableau 2.10).

Enfin, les concentrations de manganèse dans les feuilles des deux graminées à l'automne 1997 sont significativement ($p \leq 0.001$) plus élevées à CC qu'à AAC, avec des différences d'environ 44 % et 63 % pour le pâturin et l'agrostide, respectivement (tableaux 2.11 et 2.12; annexes 4a et 4b). Chez le pâturin, les concentrations de manganèse ont tendance à être supérieures à CC dans les traitements inoculés avec *G. aggregatum* et les témoins en présence de fertilisants naturels et dans le témoin non fertilisé (tableau 2.11). Chez l'agrostide, à AAC, les concentrations de manganèse tendent à être plus basses dans les parcelles non fertilisées par rapport aux parcelles fertilisées (tableau 2.12). Des différences de près de 18 % et de 25 % ont été mesurées entre les parcelles témoins et celles fertilisées avec de l'engrais chimique et de l'engrais naturel, respectivement (tableau 2.12).

2.9 Cuivre (Cu)

Bien que l'ANOVA montre une différence très hautement significative ($p \leq 0.001$) entre les sites pour les deux graminées de gazon (annexes 4a et 4b), la concentration de cuivre dans les feuilles a tendance à être plus importante à AAC qu'à CC (tableaux 2.7 et 2.8) à l'été 1996. Chez le pâturin à AAC sous un régime de fertilisation avec engrais naturel, la concentration de cuivre tend à être plus élevée dans les traitements inoculés avec *G. aggregatum* et dans les témoins (tableau 2.7) que dans les deux autres traitements mycorhiziens.

Sous le régime de fertilisation avec engrais chimique à AAC, les parcelles de pâturin inoculées avec *G. aggregatum* ont des concentrations de cuivre significativement ($p \leq 0.05$) plus élevées que dans les autres traitements selon l'analyse de Tukey (tableau 2.7).

À l'automne 1996, chez le pâturin, l'ANOVA indique une interaction : S x M très hautement significative ($p \leq 0.001$) (annexe 4a). Le test de Tukey montre d'ailleurs que les concentrations de cuivre dans les feuilles sont significativement plus importantes dans les parcelles inoculées avec *G. intraradices* et *G. mosseae* que dans les autres traitements à AAC (tableau 2.9). Chez l'agrostide, malgré un effet hautement significatif ($p \leq 0.01$) de mycorhize (annexe 4b), le test de Tukey ne montre aucune différence significative entre les traitements (tableau 2.10).

Enfin, bien que l'ANOVA indique un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de site (annexes 4a et 4b), la concentration de cuivre ne tend qu'à être plus élevée, selon le test de Tukey à AAC qu'à CC à l'automne 1997 chez les deux graminées (tableaux 2.11 et 2.12). Une différence d'environ 25 % est observable entre les deux sites pour le pâturin; pour l'agrostide cette différence est très faible.

2.10 Zinc (Zn)

À l'été 1996 à AAC, les concentrations de zinc tendent à être légèrement plus élevées pour les parcelles de pâturin et d'agrostide inoculées avec *G. mosseae* et *G. intraradices*. Ces tendances s'inversent à CC où les concentrations de zinc sont plus élevées dans les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et les parcelles témoins (tableaux 2.7 et 2.8).

Pour le pâturin seulement, l'ANOVA montre une interaction : S x M très hautement significative ($p \leq 0.001$) (annexe 4a).

À l'automne 1996, les concentrations de zinc ont tendance à être légèrement plus élevées à AAC qu'à CC dans les parcelles de pâturin inoculées avec *G. aggregatum* et les parcelles témoins pour les traitements de fertilisation naturelle 2 et chimique (tableau 2.9). D'ailleurs l'ANOVA indique une interaction : S x M hautement significative ($p \leq 0.001$) (annexe 4a). Chez l'agrostide, aucune différence significative n'a été mesurée entre les divers traitements bien que les concentrations de zinc soient légèrement plus élevées à AAC qu'à CC (tableau 2.10). De plus, à AAC, les concentrations de zinc dans les feuilles des parcelles inoculées avec *G. mosseae* et *G. intraradices* ont tendance à être légèrement plus élevées que pour les deux autres traitements mycorhiziens (tableau 2.10).

Enfin, bien que l'ANOVA montre un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de site (annexe 4a) à l'automne 1997, la concentration de zinc chez le pâturin tend à être supérieure à AAC par rapport à CC (tableau 2.11), avec une différence de 25 % entre les deux sites. De plus, la concentration de zinc tend à être légèrement plus importante dans les parcelles ayant reçu une fertilisation avec engrais naturel par rapport aux deux autres traitements (tableau 2.11). Ceci est supporté par l'effet significatif ($p \leq 0.05$) indiqué par l'ANOVA (annexe 4a). Chez l'agrostide, la concentration en zinc tend à être plus basse à CC qu'à AAC (tableau 2.12 et annexe 4b), avec une différence de près de 20 % entre les deux sites. De plus, les parcelles non fertilisées semblent avoir une concentration en zinc légèrement inférieure à celles qui ont reçu une fertilisation avec engrais naturel ou chimique (tableau 2.12 et annexe 4b).

Tableau 2.7: Concentrations (ppm) des microéléments dans les feuilles de pâturin du Kentucky (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1996. Les lettres différentes à l'intérieur de chaque colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		Fe	Mn	Cu	Zn
Fertilisation Naturel 1					
GI	AAC	179 ^{def} (23)	40 ^c (11)	33 ^{b-f} (3)	125 ^{a-d} (46)
	CC	188 ^{c-f} (10)	123 ^a (17)	23 ^{fg} (2)	61 ^e (7)
GM	AAC	157 ^{cf} (10)	34 ^c (8)	28 ^{d-g} (1)	105 ^{a-c} (31)
	CC	147 ^f (28)	110 ^{ab} (15)	28 ^{d-g} (3)	60 ^e (5)
GA	AAC	203 ^{b-c} (24)	42 ^c (6)	37 ^{a-c} (6)	68 ^{de} (15)
	CC	193 ^{b-f} (6)	106 ^{ab} (9)	25 ^{d-g} (3)	60 ^{de} (11)
T	AAC	200 ^{b-f} (12)	58 ^c (7)	42 ^{ab} (2)	65 ^{de} (10)
	CC	345 ^a (39)	92 ^a (25)	25 ^{efg} (4)	184 ^{ab} (40)
Fertilisation Naturel 2					
GI	AAC	183 ^{def} (11)	38 ^c (8)	33 ^{a-f} (7)	130 ^{abc} (25)
	CC	178 ^{def} (20)	104 ^{ab} (7)	22 ^{fg} (5)	59 ^c (12)
GM	AAC	188 ^{def} (11)	35 ^c (7)	30 ^{b-g} (2)	67 ^{de} (6)
	CC	184 ^{def} (33)	106 ^{ab} (9)	20 ^g (1)	64 ^{de} (7)
GA	AAC	224 ^{bcd} (31)	51 ^c (13)	38 ^{a-d} (6)	53 ^c (3)
	CC	265 ^{abc} (46)	98 ^{ab} (4)	29 ^{c-g} (4)	182 ^{ab} (75)
T	AAC	229 ^{bcd} (14)	43 ^c (9)	45 ^a (4)	59 ^c (3)
	CC	325 ^a (30)	104 ^{ab} (4)	33 ^{a-g} (5)	103 ^{a-c} (31)
Fertilisation chimique					
GI	AAC	145 ^f (8)	42 ^c (10)	27 ^{d-g} (2)	94 ^{b-c} (25)
	CC	179 ^{def} (9)	120 ^{ab} (13)	30 ^{c-g} (5)	62 ^{de} (9)
GM	AAC	154 ^{cf} (9)	46 ^c (9)	28 ^{d-g} (2)	72 ^{cde} (14)
	CC	159 ^{cf} (14)	129 ^a (4)	25 ^{efg} (4)	65 ^{de} (13)
GA	AAC	210 ^{b-c} (9)	58 ^c (7)	41 ^{abc} (1)	66 ^{de} (3)
	CC	266 ^{ab} (38)	105 ^{ab} (7)	36 ^{a-f} (2)	183 ^a (39)
T	AAC	229 ^{bcd} (18)	47 ^c (3)	26 ^{d-g} (4)	69 ^{cde} (10)
	CC	326 ^a (51)	105 ^{ab} (16)	29 ^{c-g} (7)	96 ^{a-c} (24)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.8: Concentrations (ppm) des microéléments dans les feuilles d'agrostide stolonifère (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1996. Les différentes lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		Fe	Mn	Cu	Zn
Fertilisation Naturel 1					
GI	AAC	160 ^{def} (4)	36 ^{cd} (7)	42 ^{ab} (6)	122 ^{bcd} (40)
	CC	198 ^{b-f} (24)	159 ^a (17)	29 ^b (7)	57 ^{ef} (1)
GM	AAC	136 ^f (6)	34 ^d (5)	32 ^{ab} (3)	91 ^{c-f} (27)
	CC	314 ^{a-c} (138)	149 ^a (13)	45 ^{ab} (14)	67 ^{c-f} (12)
GA	AAC	230 ^{a-f} (63)	67 ^b (7)	56 ^a (4)	68 ^{c-f} (9)
	CC	316 ^{a-d} (96)	147 ^a (5)	38 ^{ab} (8)	61 ^{d-f} (8)
T	AAC	186 ^{b-f} (48)	54 ^{bc} (3)	50 ^{ab} (9)	66 ^{def} (18)
	CC	348 ^{ab} (76)	149 ^a (10)	38 ^{ab} (6)	126 ^{bc} (23)
Fertilisation Naturel 2					
GI	AAC	213 ^{a-f} (78)	36 ^{cd} (1)	43 ^{ab} (9)	96 ^{b-f} (16)
	CC	209 ^{a-f} (35)	156 ^a (11)	36 ^{ab} (7)	55 ^f (7)
GM	AAC	168 ^{c-f} (8)	36 ^d (8)	42 ^b (4)	86 ^{c-f} (28)
	CC	198 ^{b-f} (32)	151 ^a (16)	30 ^b (2)	56 ^{ef} (5)
GA	AAC	184 ^{b-f} (17)	59 ^b (7)	48 ^{ab} (5)	64 ^{def} (8)
	CC	329 ^{ab} (45)	143 ^a (9)	40 ^{ab} (12)	315 ^a (48)
T	AAC	203 ^{a-f} (14)	50 ^{bcd} (6)	31 ^{ab} (3)	74 ^{c-f} (24)
	CC	289 ^{a-c} (51)	155 ^a (16)	30 ^b (5)	115 ^{b-c} (53)
Fertilisation chimique					
GI	AAC	155 ^{ef} (25)	52 ^{bcd} (11)	42 ^{ab} (6)	90 ^{c-f} (7)
	CC	273 ^{a-f} (126)	155 ^a (10)	40 ^{ab} (11)	59 ^{ef} (8)
GM	AAC	160 ^{def} (16)	43 ^{bcd} (6)	40 ^{ab} (5)	65 ^{c-f} (7)
	CC	219 ^{a-f} (51)	157 ^a (17)	38 ^{ab} (2)	62 ^{def} (8)
GA	AAC	158 ^{def} (19)	63 ^b (15)	46 ^{ab} (4)	61 ^{def} (8)
	CC	396 ^a (97)	150 ^a (23)	41 ^b (6)	190 ^{ab} (67)
T	AAC	214 ^{a-f} (8)	66 ^b (13)	36 ^{ab} (7)	59 ^{ef} (8)
	CC	324 ^{abc} (92)	161 ^a (21)	34 ^b (4)	102 ^{b-f} (20)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.9 : Concentrations (ppm) des microéléments dans les feuilles de pâturin du Kentucky (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1996. Les lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		Fe	Mn	Cu	Zn
Fertilisation Naturel 1					
GI	AAC	214 ^{ab} (36)	57 ^{ef} (6)	78 ^a (4)	51 ^{def} (11)
	CC	195 ^{a-d} (33)	112 ^a (16)	28 ^b (2)	56 ^{e-f} (7)
GM	AAC	169 ^{b-c} (37)	47 ^{ef} (9)	79 ^a (3)	41 ^f (8)
	CC	185 ^{a-d} (4)	100 ^{abc} (11)	34 ^b (4)	64 ^{a-d} (8)
GA	AAC	133 ^{cde} (32)	75 ^{b-c} (5)	36 ^b (8)	61 ^{a-d} (3)
	CC	147 ^{de} (10)	108 ^a (5)	36 ^b (2)	67 ^{a-d} (6)
T	AAC	154 ^{b-c} (22)	71 ^{def} (11)	30 ^b (2)	73 ^{abc} (3)
	CC	177 ^{a-c} (11)	150 ^{abc} (82)	26 ^b (7)	68 ^{a-d} (8)
Fertilisation Naturel 2					
GI	AAC	189 ^{a-d} (30)	53 ^{ef} (9)	80 ^a (4)	57 ^{b-f} (10)
	CC	211 ^{a-d} (15)	98 ^{a-d} (9)	27 ^b (3)	56 ^{b-f} (4)
GM	AAC	216 ^{ab} (9)	46 ^{ef} (8)	82 ^a (2)	48 ^{ef} (3)
	CC	161 ^{b-c} (11)	110 ^a (11)	32 ^b (6)	67 ^{a-d} (7)
GA	AAC	114 ^c (10)	73 ^{cde} (6)	33 ^b (8)	70 ^{abc} (6)
	CC	184 ^{a-d} (35)	106 ^a (10)	44 ^b (10)	67 ^{a-d} (3)
T	AAC	171 ^{a-c} (8)	59 ^{ef} (8)	41 ^b (9)	78 ^a (3)
	CC	160 ^{b-c} (12)	95 ^{a-d} (9)	31 ^b (3)	62 ^{a-d} (4)
Fertilisation chimique					
GI	AAC	173 ^{a-c} (2)	47 ^{ef} (8)	81 ^a (3)	44 ^{ef} (2)
	CC	185 ^{a-d} (14)	90 ^{a-d} (6)	27 ^b (2)	59 ^{cde} (4)
GM	AAC	237 ^a (16)	42 ^f (7)	76 ^a (7)	57 ^{b-f} (7)
	CC	196 ^{a-d} (18)	108 ^a (5)	40 ^b (2)	68 ^{a-d} (6)
GA	AAC	137 ^{de} (13)	57 ^{ef} (8)	35 ^b (9)	70 ^{abc} (2)
	CC	198 ^{a-d} (22)	104 ^{ab} (19)	34 ^b (5)	67 ^{a-d} (3)
T	AAC	161 ^{b-c} (30)	46 ^{ef} (4)	41 ^b (12)	74 ^{ab} (4)
	CC	138 ^{cde} (17)	91 ^{a-d} (5)	28 ^b (4)	60 ^{b-c} (3)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.10: Concentrations (ppm) des microéléments dans les feuilles d'agrostide stolonifère (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1996. Les différentes lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		Fe	Mn	Cu	Zn
Fertilisation Naturel 1					
GI	AAC	399 ^a (92)	73 ^{bc} (22)	66 ^a (3)	69 ^{bc} (15)
	CC	772 ^a (494)	268 ^a (22)	58 ^a (10)	53 ^c (2)
GM	AAC	497 ^a (95)	70 ^{bc} (6)	81 ^a (9)	74 ^{bc} (10)
	CC	550 ^a (195)	258 ^a (26)	96 ^a (49)	62 ^c (3)
GA	AAC	393 ^a (68)	90 ^b (14)	65 ^a (12)	57 ^c (7)
	CC	466 ^a (104)	252 ^a (9)	79 ^a (28)	66 ^{bc} (4)
T	AAC	357 ^a (148)	85 ^b (31)	65 ^a (27)	60 ^{bc} (17)
	CC	500 ^a (320)	223 ^a (71)	58 ^a (25)	67 ^{bc} (9)
Fertilisation Naturel 2					
GI	AAC	381 ^a (38)	68 ^{bc} (14)	75 ^a (3)	95 ^{ab} (20)
	CC	458 ^a (60)	236 ^a (35)	61 ^a (27)	57 ^c (3)
GM	AAC	319 ^a (54)	61 ^{bc} (13)	73 ^a (5)	73 ^{bc} (7)
	CC	548 ^a (86)	255 ^a (33)	60 ^a (12)	63 ^{bc} (3)
GA	AAC	409 ^a (195)	85 ^{bc} (11)	66 ^a (15)	74 ^{bc} (14)
	CC	485 ^a (74)	265 ^a (13)	40 ^a (12)	62 ^c (3)
T	AAC	322 ^a (42)	74 ^{bc} (9)	41 ^a (11)	68 ^{bc} (5)
	CC	467 ^a (123)	239 ^a (17)	39 ^a (3)	56 ^c (6)
Fertilisation chimique					
GI	AAC	389 ^a (36)	67 ^{bc} (10)	73 ^a (1)	74 ^{bc} (20)
	CC	533 ^a (105)	275 ^a (4)	81 ^a (36)	64 ^{bc} (4)
GM	AAC	586 ^a (105)	50 ^c (7)	75 ^a (4)	140 ^a (33)
	CC	591 ^a (240)	279 ^a (27)	68 ^a (18)	66 ^{bc} (4)
GA	AAC	384 ^a (104)	68 ^{bc} (11)	60 ^a (4)	66 ^{bc} (4)
	CC	667 ^a (144)	272 ^a (30)	75 ^a (43)	68 ^{bc} (7)
T	AAC	453 ^a (139)	70 ^{bc} (21)	75 ^a (25)	62 ^c (5)
	CC	429 ^a (53)	252 ^a (15)	45 ^a (6)	58 ^c (4)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.11 : Concentrations (ppm) des microéléments dans les feuilles de pâturin du Kentucky (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les différentes lettres à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		Fe	Mn	Cu	Zn
Fertilisation Naturel 1					
GI	AAC	115 ^a (12)	63 (8)	20 ^{abc} (3)	48 ^a (6)
	CC	112 ^a (12)	88 (9)	15 ^{bc} (1)	28 ^c (2)
GM	AAC	131 ^a (28)	58 (8)	19 ^{abc} (2)	41 ^{abc} (3)
	CC	120 ^a (32)	90 (7)	15 ^{bc} (2)	30 ^{bc} (2)
GA	AAC	138 ^a (26)	54 (17)	22 ^{ab} (2)	55 ^{abc} (21)
	CC	132 ^a (13)	113 (11)	19 ^{abc} (1)	38 ^{abc} (6)
T	AAC	159 ^a (36)	59 (6)	20 ^{abc} (3)	43 ^{ab} (3)
	CC	126 ^a (12)	103 (23)	16 ^{bc} (2)	33 ^{abc} (3)
Témoin					
GI	AAC	125 ^a (16)	52 (9)	19 ^{abc} (3)	38 ^{abc} (7)
	CC	131 ^a (22)	98 (5)	14 ^{bc} (2)	34 ^{abc} (5)
GM	AAC	151 ^a (28)	52 (14)	30 ^a (13)	42 ^{ab} (8)
	CC	125 ^a (8)	93 (14)	14 ^{bc} (1)	33 ^{bc} (2)
GA	AAC	123 ^a (18)	54 (17)	19 ^{abc} (2)	39 ^{abc} (6)
	CC	130 ^a (29)	99 (22)	18 ^{abc} (4)	30 ^{bc} (5)
T	AAC	137 ^a (40)	48 (12)	19 ^{abc} (3)	43 ^{ab} (6)
	CC	153 ^a (49)	104 (11)	16 ^{bc} (3)	32 ^{bc} (4)
Fertilisation chimique					
GI	AAC	155 ^a (18)	57 (6)	21 ^{abc} (2)	40 ^{abc} (3)
	CC	133 ^a (39)	95 (11)	16 ^{bc} (1)	30 ^{bc} (2)
GM	AAC	104 ^a (10)	49 (3)	20 ^{abc} (1)	40 ^{abc} (4)
	CC	125 ^a (16)	84 (8)	16 ^{bc} (2)	29 ^{bc} (3)
GA	AAC	139 ^a (54)	51 (6)	20 ^{abc} (3)	38 ^{abc} (4)
	CC	142 ^a (38)	86 (10)	15 ^{bc} (1)	31 ^{bc} (3)
T	AAC	111 ^a (27)	46 (4)	21 ^{abc} (3)	37 ^{abc} (5)
	CC	112 ^a (3)	85 (11)	13 ^c (1)	28 ^c (3)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

Tableau 2.12 : Concentrations (ppm) des microéléments dans les feuilles d'agrostide stolonifère (n=4) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les lettres différentes à l'intérieur d'une colonne représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey (p≤0.05). L'erreur standard est indiquée entre parenthèses.

Sites		Fe	Mn	Cu	Zn
Fertilisation Naturel 1					
GI	AAC	149 ^{bcd} (18)	88 ^{bcd} (7)	25 ^a (3)	37 ^{ab} (4)
	CC	162 ^{a-d} (2)	260 ^a (34)	25 ^a (2)	36 ^{ab} (3)
GM	AAC	176 ^{bcd} (52)	90 ^{bcd} (15)	32 ^a (7)	41 ^{ab} (9)
	CC	223 ^{a-d} (58)	175 ^a (13)	28 ^a (4)	30 ^{ab} (5)
GA	AAC	221 ^{a-d} (88)	94 ^{bc} (12)	30 ^a (8)	41 ^{ab} (6)
	CC	147 ^{cd} (38)	200 ^a (10)	25 ^a (2)	31 ^{ab} (5)
T	AAC	158 ^{bcd} (24)	98 ^{cd} (17)	29 ^a (8)	41 ^{ab} (7)
	CC	151 ^{bcd} (38)	210 ^a (26)	25 ^a (11)	32 ^{ab} (3)
Témoin					
GI	AAC	394 ^a (90)	76 ^{cd} (13)	30 ^a (3)	42 ^a (3)
	CC	213 ^{a-d} (39)	198 ^a (27)	35 ^a (7)	29 ^{ab} (2)
GM	AAC	268 ^{abc} (64)	61 ^{cd} (4)	32 ^a (9)	36 ^{ab} (3)
	CC	167 ^{bcd} (8)	198 ^a (36)	27 ^a (4)	30 ^{ab} (6)
GA	AAC	301 ^{ab} (90)	73 ^{cd} (7)	28 ^a (3)	35 ^{ab} (6)
	CC	106 ^d (1)	233 ^a (68)	26 ^a (5)	30 ^{ab} (2)
T	AAC	137 ^{cd} (16)	61 ^d (9)	24 ^a (2)	30 ^{ab} (1)
	CC	154 ^{bcd} (25)	221 ^a (43)	20 ^a (1)	30 ^{ab} (1)
Fertilisation chimique					
GI	AAC	159 ^{bcd} (23)	90 ^{bcd} (15)	34 ^a (10)	40 ^{ab} (7)
	CC	128 ^d (45)	223 ^{ab} (30)	23 ^a (3)	30 ^{ab} (3)
GM	AAC	173 ^{bcd} (28)	87 ^{cd} (19)	28 ^a (2)	39 ^{ab} (2)
	CC	203 ^{a-d} (19)	220 ^a (36)	24 ^a (5)	30 ^{ab} (4)
GA	AAC	174 ^{bcd} (16)	70 ^{cd} (10)	32 ^a (2)	41 ^{ab} (5)
	CC	150 ^{bcd} (33)	204 ^a (45)	20 ^a (1)	28 ^{ab} (5)
T	AAC	158 ^{bcd} (14)	83 ^{cd} (21)	27 ^a (1)	36 ^{ab} (2)
	CC	200 ^{a-d} (49)	229 ^a (25)	21 ^a (4)	28 ^b (3)

GI= *Glomus intraradices*; GM= *Glomus mosseae*; GA= *Glomus aggregatum*; T= Témoin non inoculé

3.0 Ratio carbone/azote

Après huit semaines de croissance (été 1996), une différence significative ($p \leq 0.05$) est indiquée entre les deux sites pour les ratios C/N et ce pour les deux graminées. Les ratios C/N sont significativement plus élevés dans les feuilles du pâturin à AAC par rapport à CC (figure 3.1), mais ces différences sont beaucoup moins importantes chez l'agrostide.

À l'automne 1996, bien qu'il y ait une interaction hautement significative ($p \leq 0.01$), F x S (annexe 4c) chez le pâturin, le test de Tukey n'indique aucune différence entre les traitements, tant chez le pâturin que chez l'agrostide en ce qui a trait aux rapports C/N (figure 3.2).

Enfin, à l'automne 1997 l'ANOVA indique un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de fertilisant (annexe 4c). Cependant, le test de Tukey ne montre aucune différence significative dans les ratios C/N pour les deux graminées de gazon (figure 3.3). Les ratios C/N des parcelles n'ayant reçu aucune fertilisation en 1997 ont tendance à être plus élevés que ceux des parcelles fertilisées (figure 3.3).

Figure 3.1 : Ratio C/N moyen (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1996. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle 1 B- Fertilisation Naturelle 2 C- Fertilisation Chimique

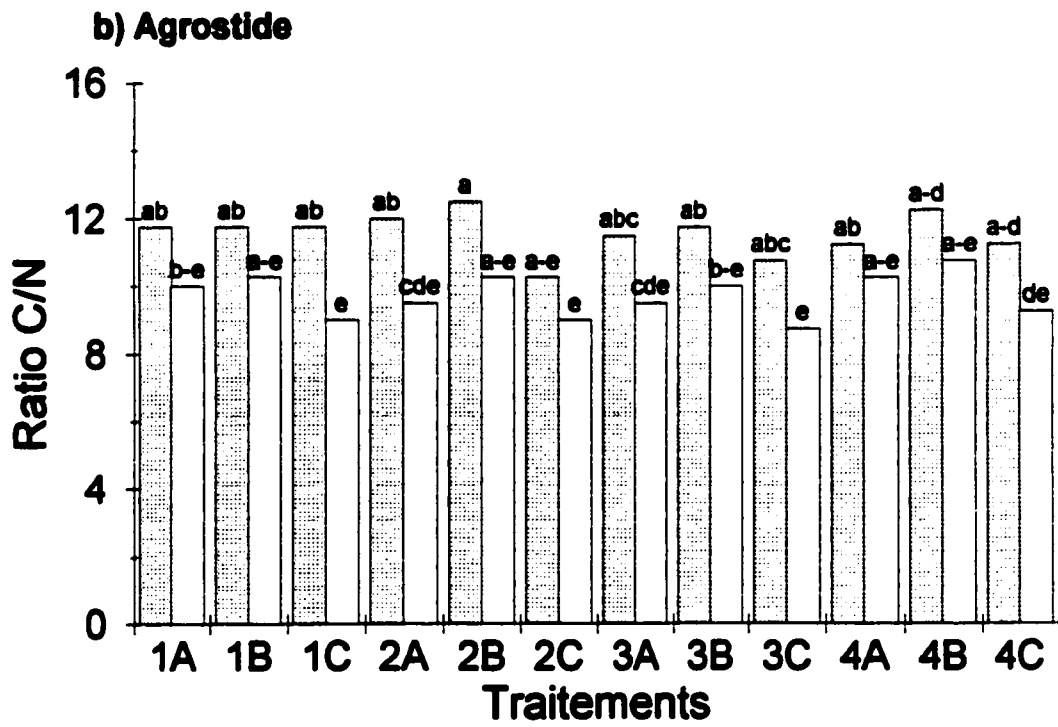
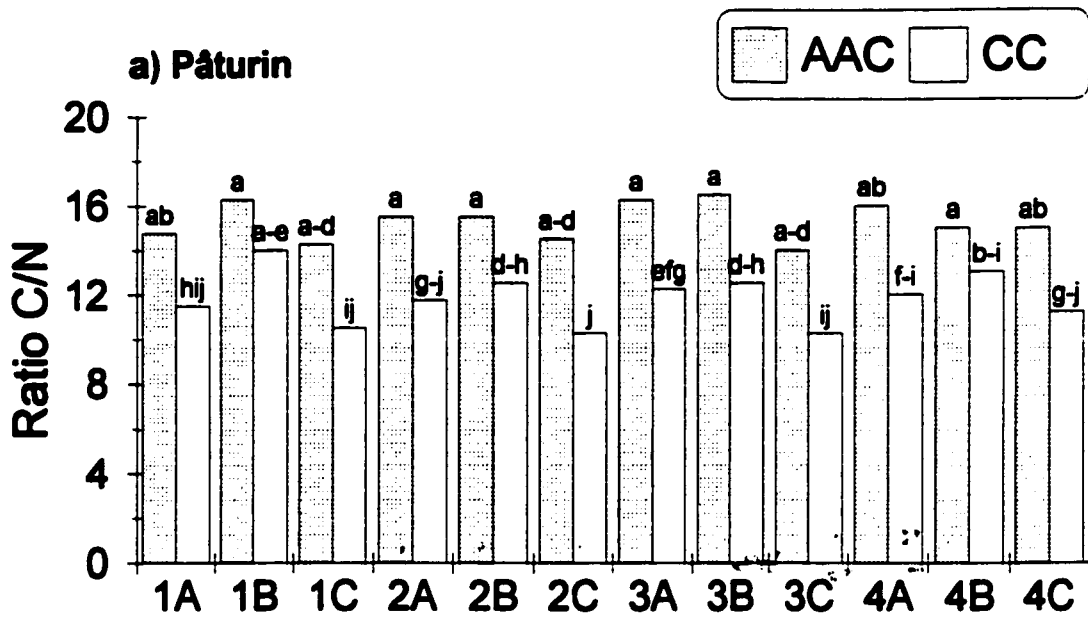


Figure 3.2 : Ratio C/N moyen (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1996. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle 1 B- Fertilisation Naturelle 2 C- Fertilisation Chimique

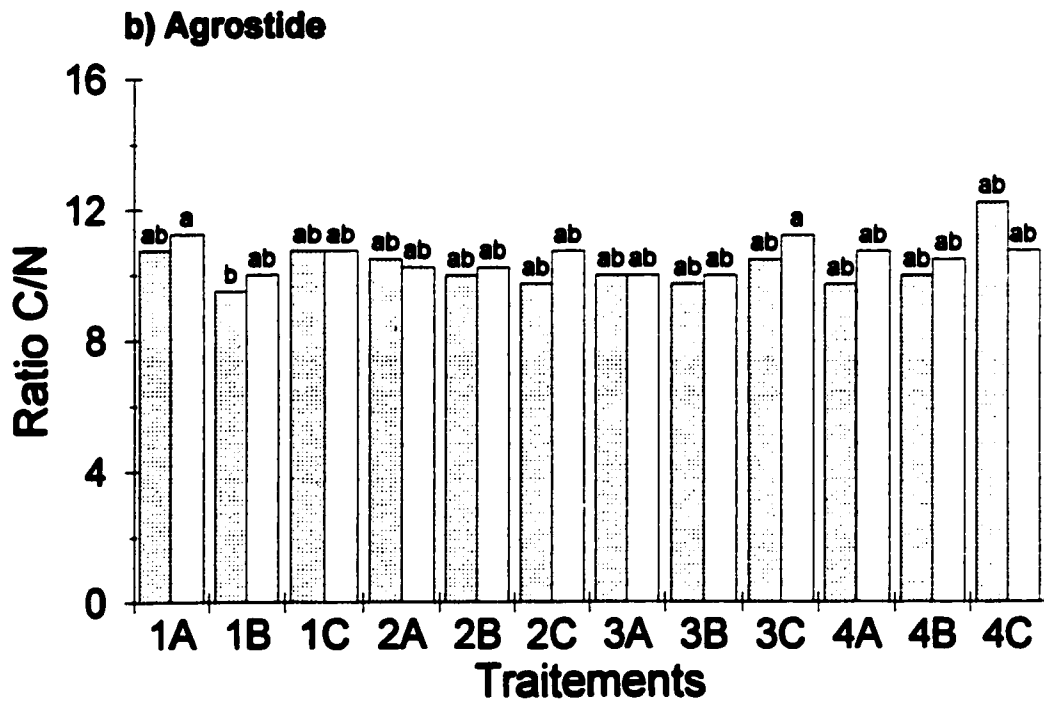
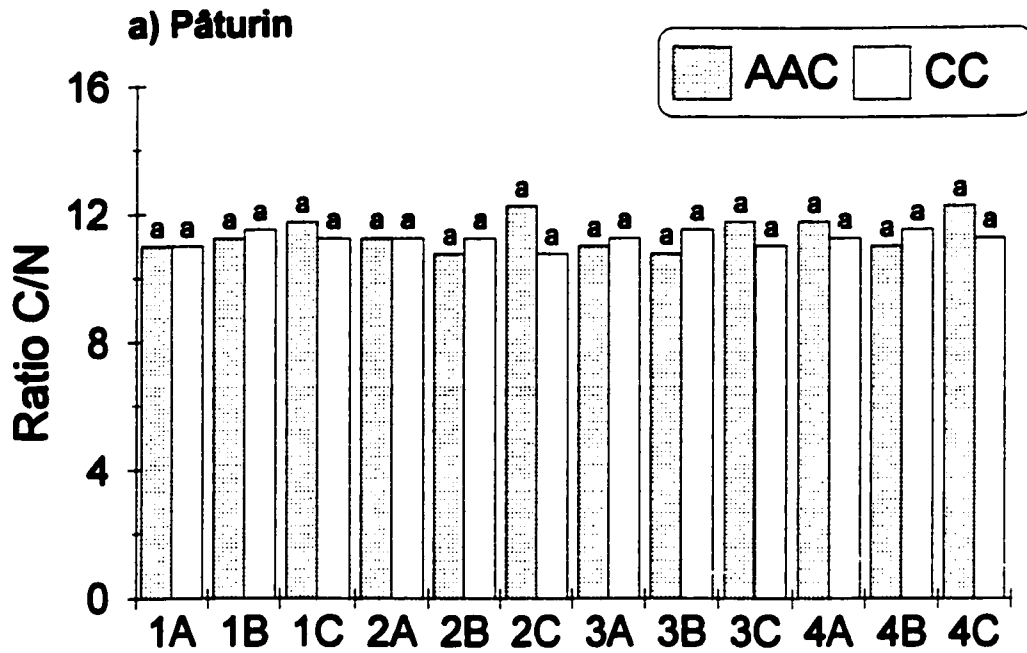
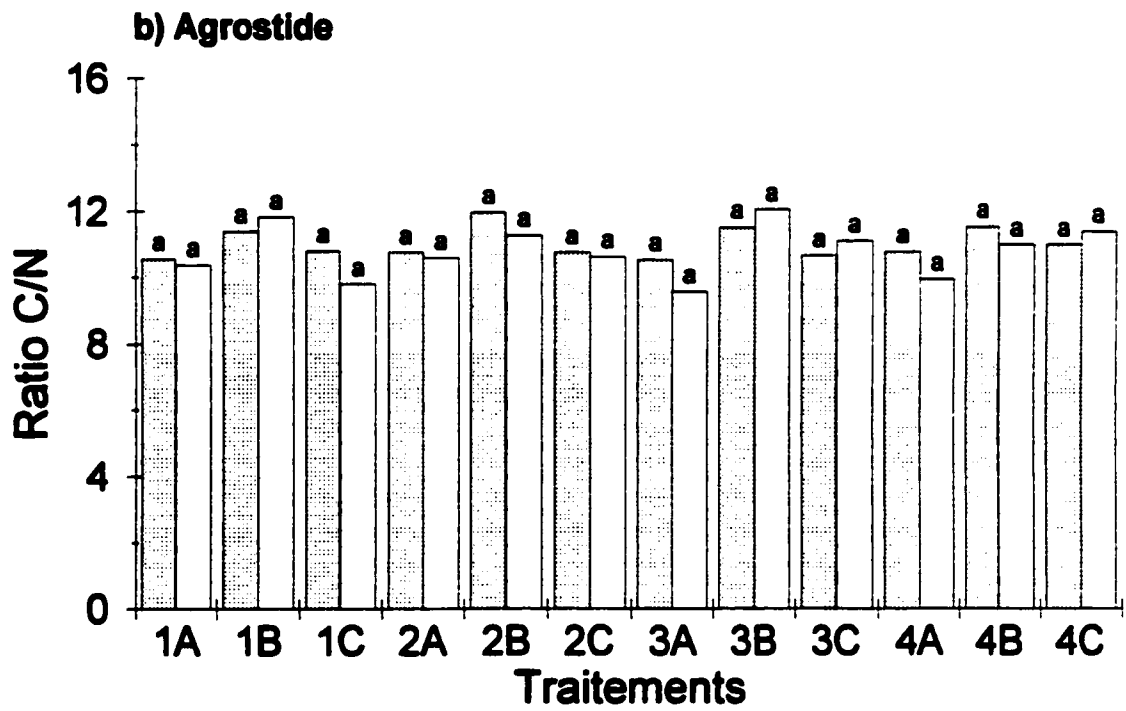
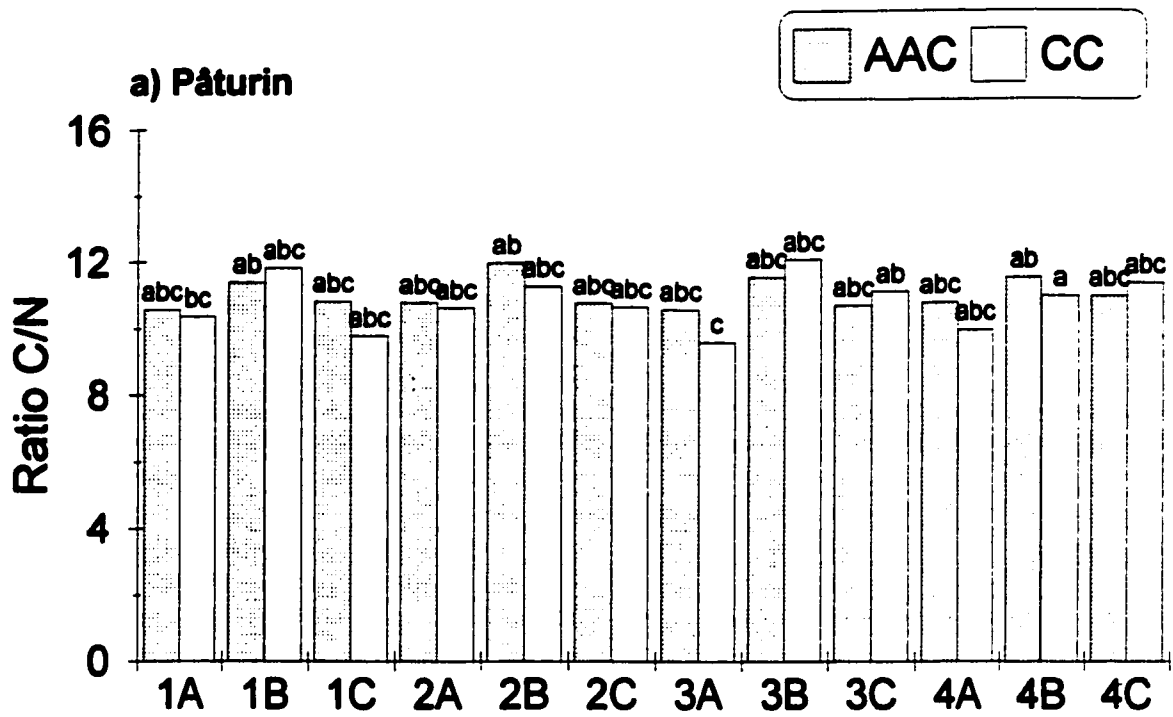


Figure 3.3 : Ratio C/N moyen (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : **1**- *Glomus intraradices* **2**- *Glomus mosseae* **3**- *Glomus aggregatum* **4**- Témoin non inoculé et **A**- Fertilisation Naturelle **B**- Témoin non fertilisé **C**- Fertilisation Chimique



4.0 Taux de croissance

Les taux de croissance du pâturin et de l'agrostide à l'été 1996 tendent en général à être plus élevés à AAC qu'à CC (figure 4.1). L'ANOVA indique d'ailleurs un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de site (annexe 4d). De plus, les parcelles fertilisées avec un engrais chimique semblent avoir des taux de croissance supérieurs, quel que soit le traitement mycorhizien considéré (figure 4.1).

À l'automne 1996, les taux de croissance du pâturin semblent être inférieurs chez les parcelles fertilisées avec engrais chimique, et ce dans tous les traitements mycorhiziens à l'exception de *G. aggregatum* (figure 4.2). Bien que l'ANOVA indique un effet hautement significatif ($p \leq 0.01$) de fertilisant (annexe 4d), le test de Tukey ne révèle aucune différence significative entre les traitements (figure 4.2). Chez l'agrostide, les taux de croissance sont plus élevés lorsque les parcelles ont été inoculées avec *G. intraradices* pour le site d'AAC (figure 4.2). L'ANOVA indique d'ailleurs une interaction significative ($p \leq 0.05$) : S x M (annexe 4d).

À l'été 1997, les taux de croissance des deux graminées ne diffèrent pas de façon significative (figure 4.3 et annexe 4d). À l'automne 1997, les taux de croissance des deux graminées avaient tendance à être légèrement plus élevés à AAC qu'à CC et chez les parcelles fertilisées par comparaison aux parcelles non fertilisées (figure 4.4). Chez le pâturin, l'ANOVA indique un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de fertilisation (annexe 4d). Pour l'agrostide, il y a des effets très hautement significatifs ($p \leq 0.001$) de site et de fertilisant (annexe 4d).

Figure 4.1 :Taux de croissance moyen (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1996. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturel 1 B- Fertilisation Naturel 2 C- Fertilisation chimique.

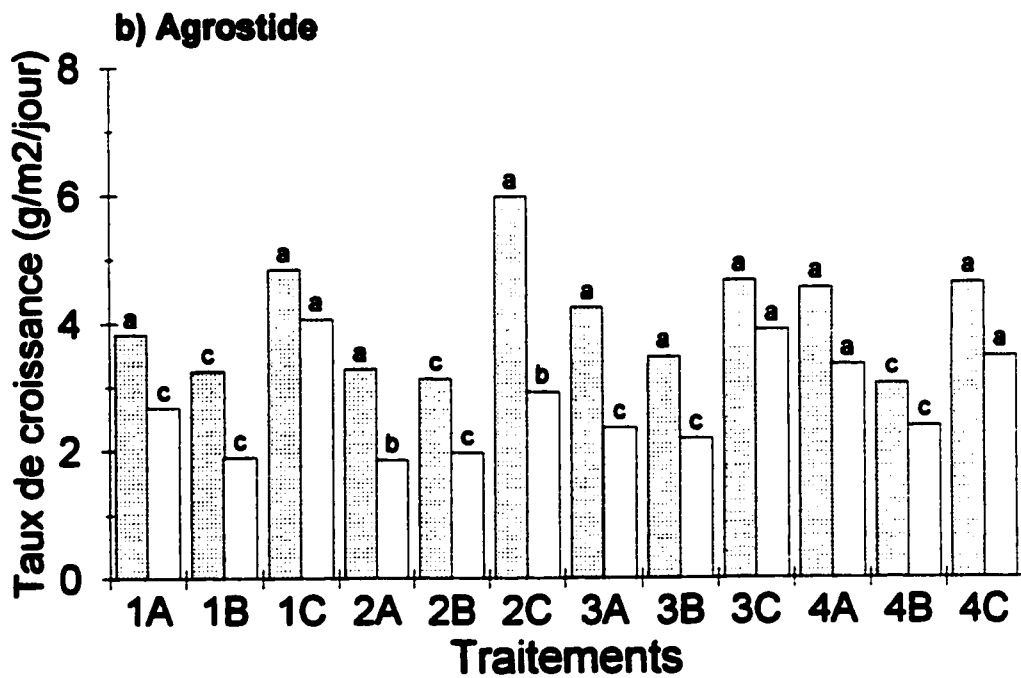
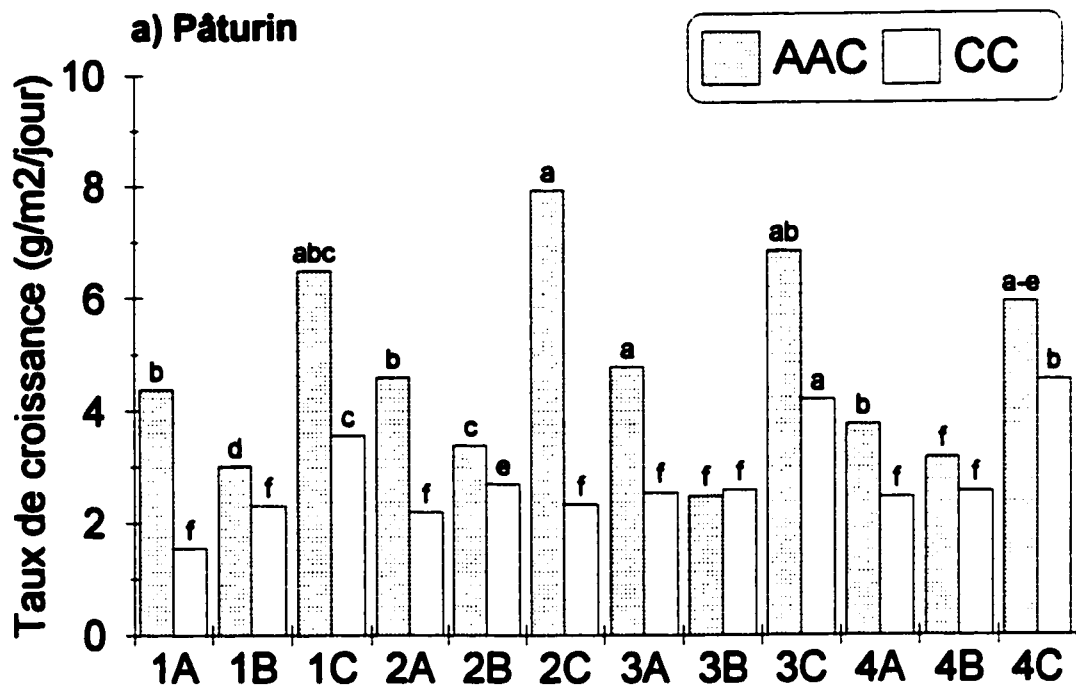


Figure 4.2 : Taux de croissance moyen (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1996. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin et A- Fertilisation Naturel 1 B- Fertilisation Naturel 2 C- Fertilisation chimique.

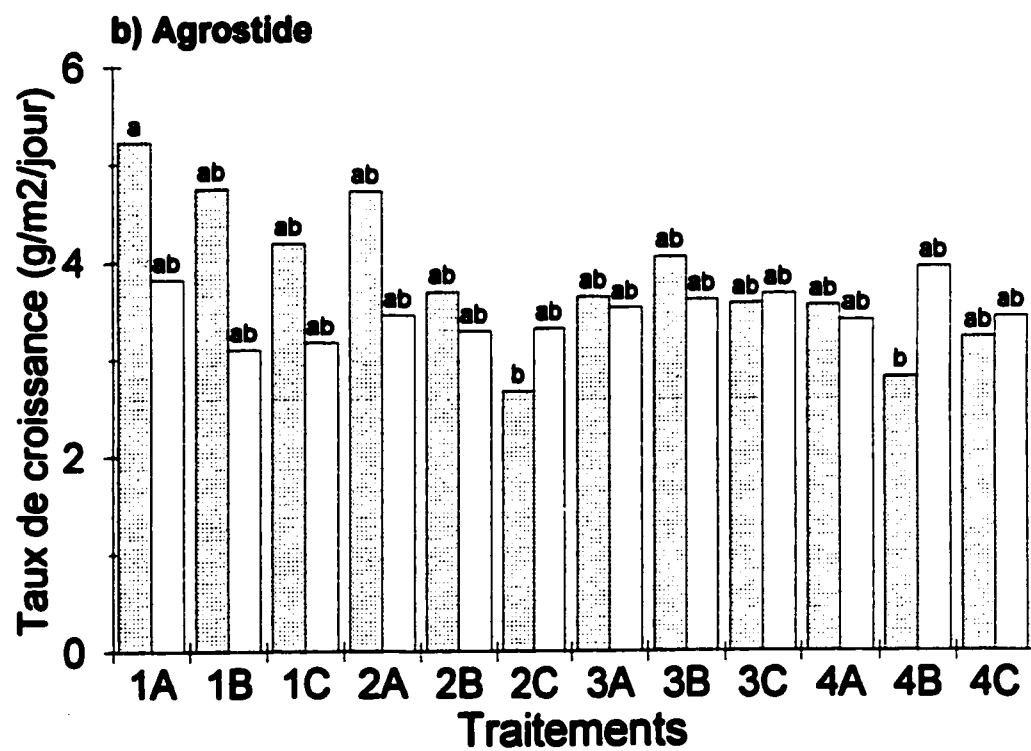
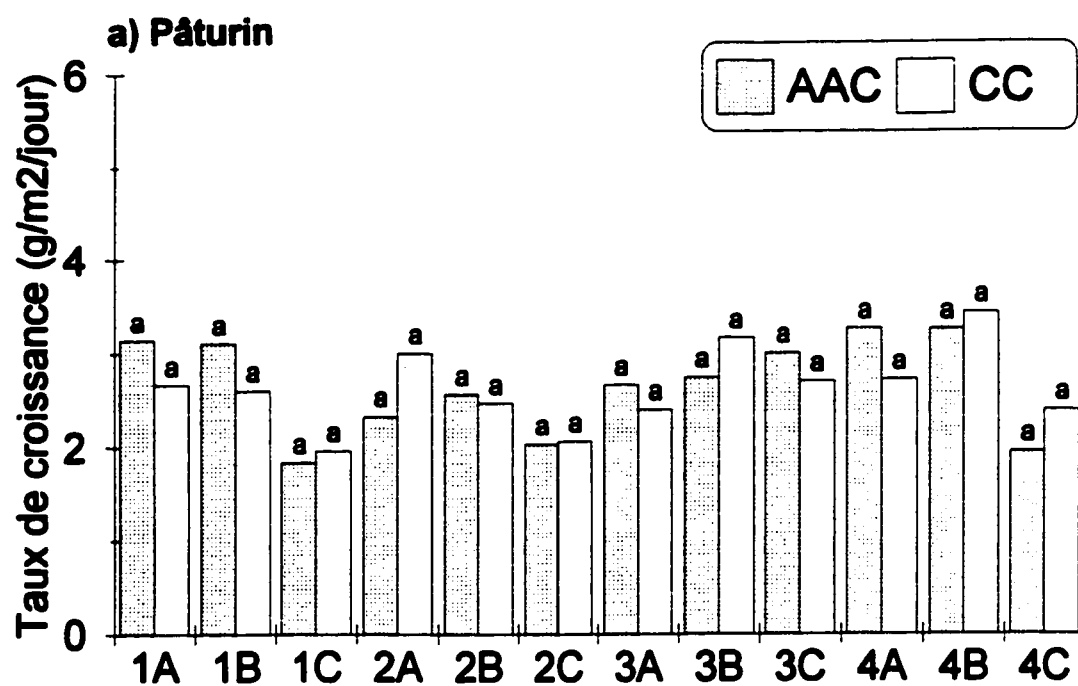


Figure 4.3 : Taux de croissance moyen (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1997. L'analyse de Tukey ne révèle aucune différence significative entre les traitements ($p>0.05$). Avec comme légende : **1-** *Glomus intraradices* **2-** *Glomus mosseae* **3-** *Glomus aggregatum* **4-** Témoin non inoculé et **A-** Fertilisation Naturelle **B-** Témoin non fertilisé **C-** Fertilisation Chimique

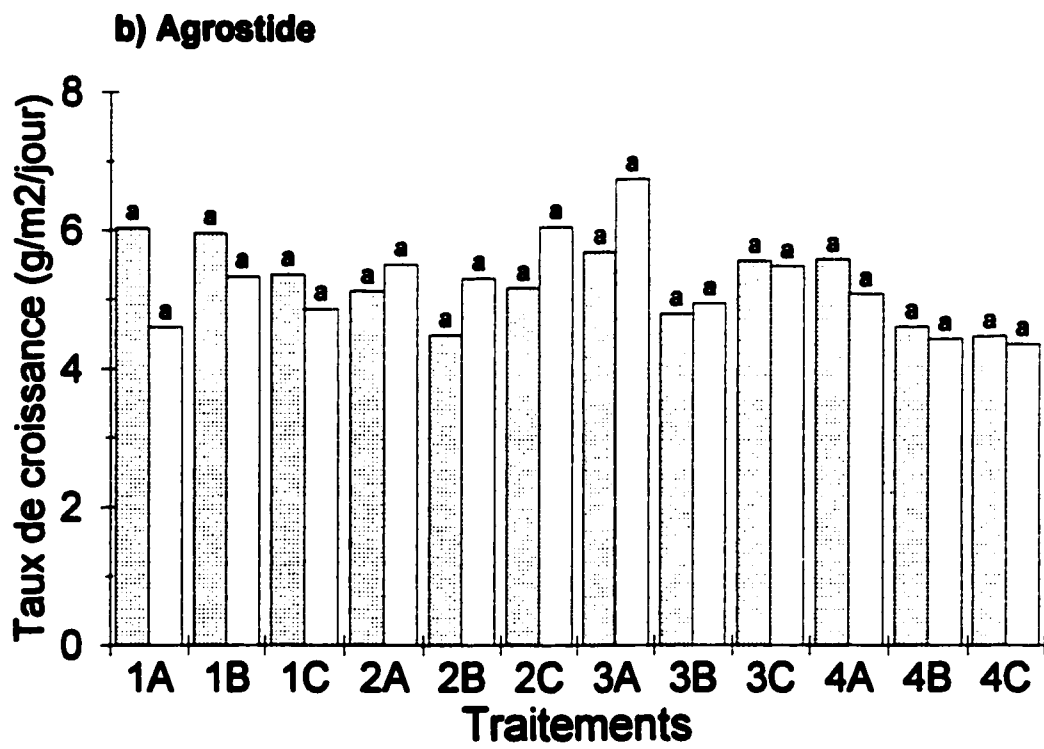
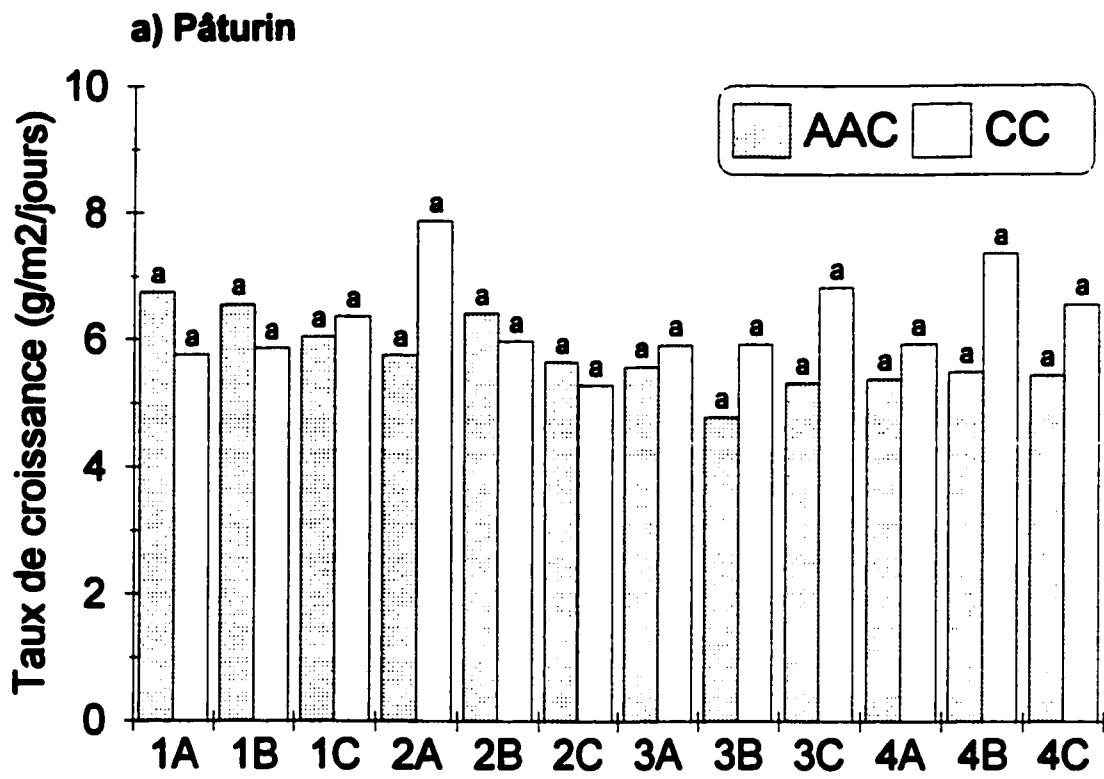
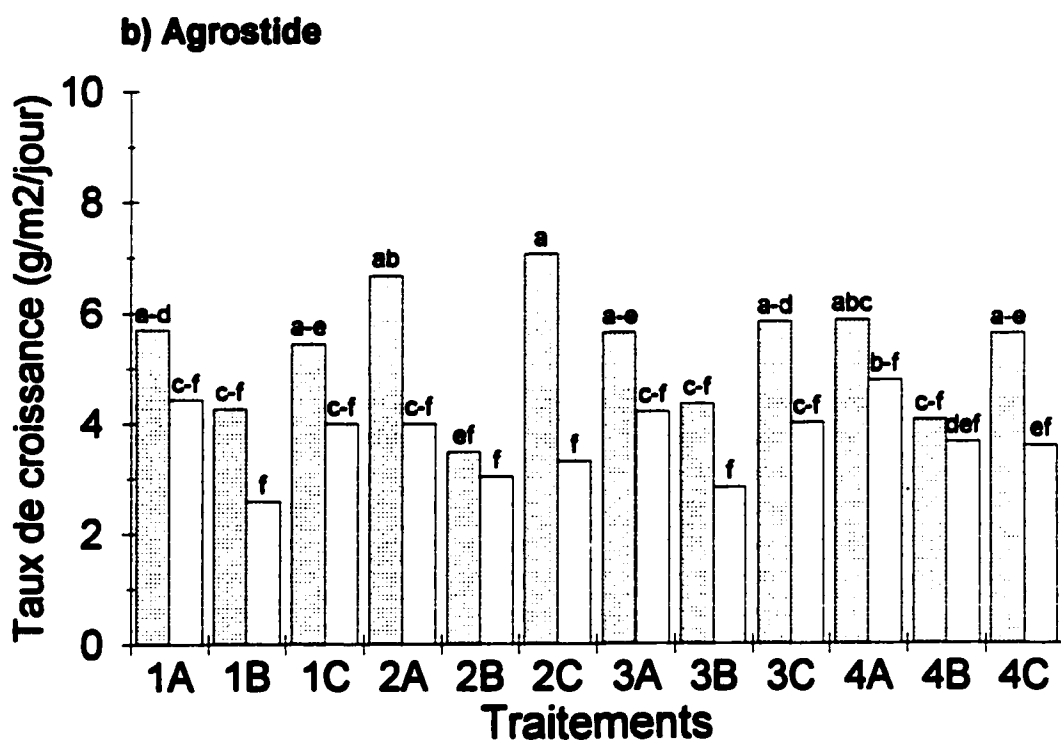
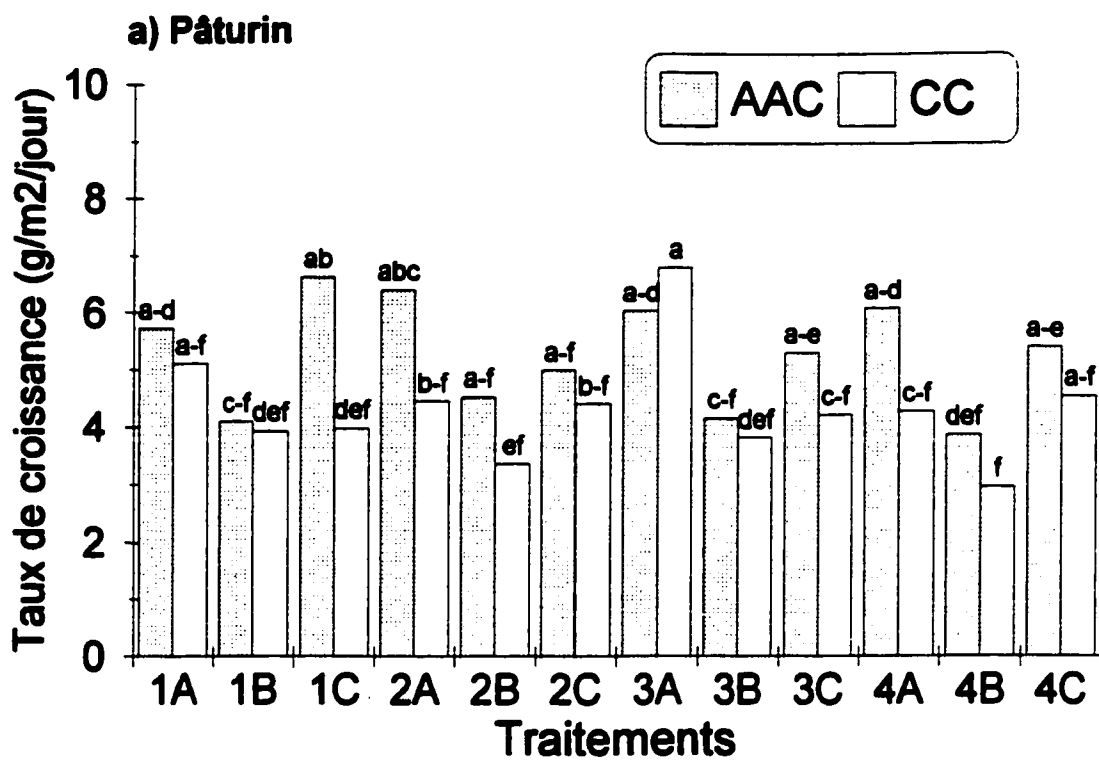


Figure 4.4 : Taux de croissance moyen (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique



5.0 Hauteur cumulée

Les hauteurs cumulées des deux graminées tendaient à être supérieures chez les parcelles fertilisées par rapport aux parcelles non fertilisées (figure 5.1 et annexe 4e). De plus, la hauteur cumulée a tendance, chez le pâturin, à être supérieure à CC qu'à AAC (figure 5.1 et annexe 4e).

6.0 Observations visuelles

Les parcelles de pâturin et d'agrostide qui n'avaient pas été fertilisées en 1997 tendaient à être plus jaunes que les parcelles fertilisées avec engrais naturel ou chimique (figure 6.1 et annexe 4f). Pour l'agrostide, cette tendance était plus marquée à AAC qu'à CC.

Figure 5.1 : Hauteur cumulée moyenne (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour la saison 1997. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle | B-Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

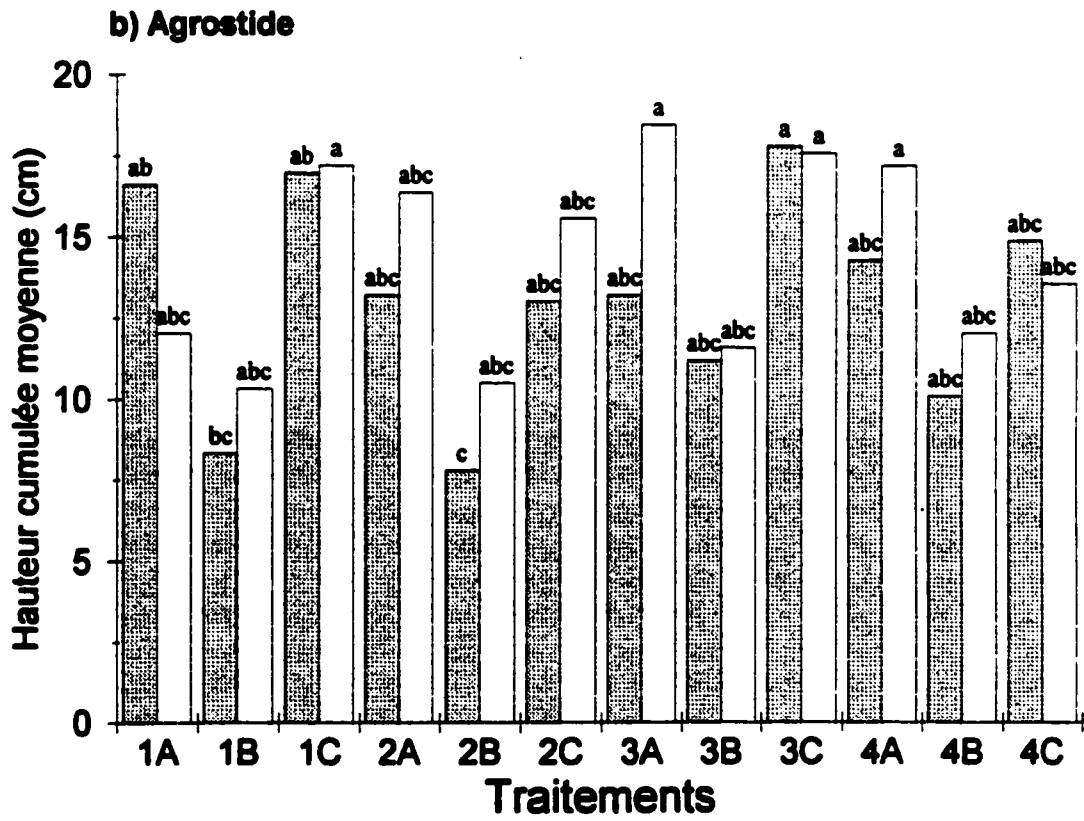
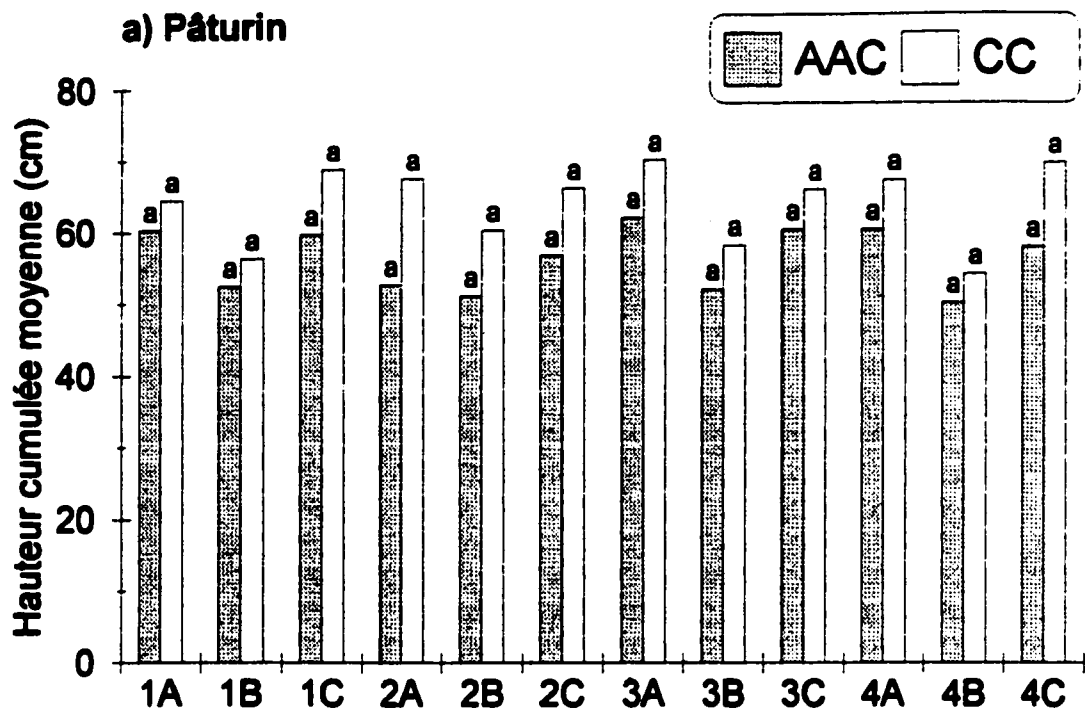
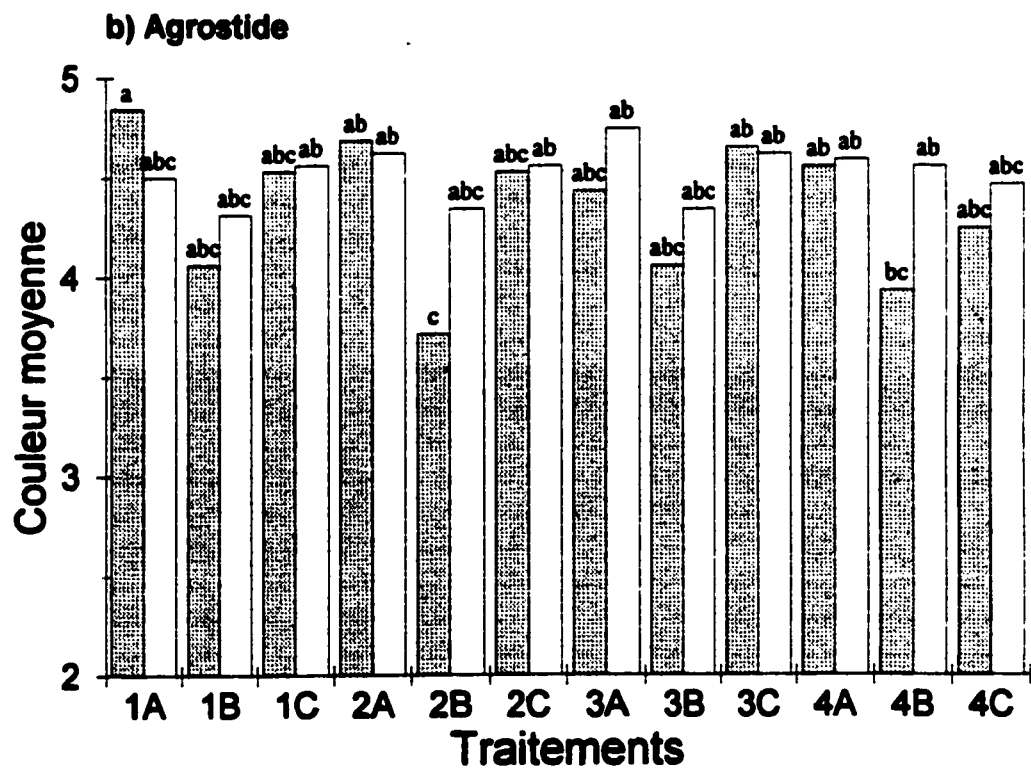
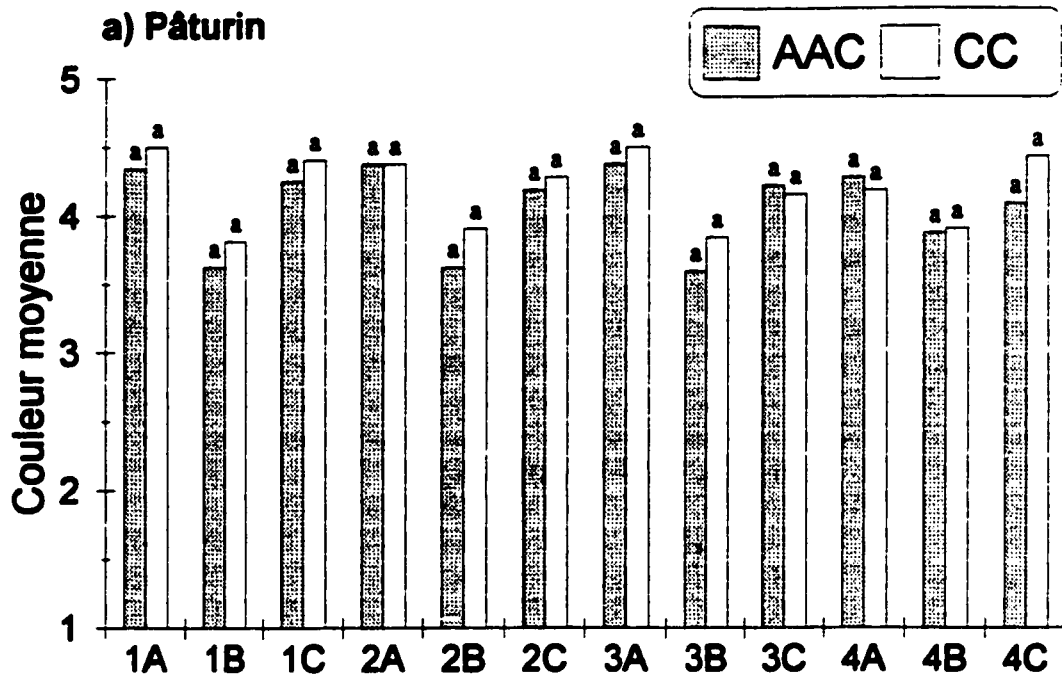


Figure 6.1 : Observations visuelles moyennes (n=4) pour la saison 1997 (mai à octobre) chez le pâturin du Kentucky et l'agrostide stolonifère à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC). La valeur 5 correspond à 100% de verdure. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard associée à chaque traitement. Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle 1 B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique



7.0 Analyse de chlorophylle

À l'été 1996, les concentrations de chlorophylle dans les feuilles du pâturin et de l'agrostide tendent à être plus élevées à CC qu'à AAC (figure 7.1). Les parcelles ayant reçu une fertilisation chimique ont tendance à avoir une concentration de chlorophylle plus élevée que celles fertilisées avec un engrais naturel (figure 7.1). Pour le pâturin, l'ANOVA indique des effets très hautement significatifs de site et de fertilisant ainsi qu'une interaction significative : S x F (annexe 4g).

À l'automne 1996 chez le pâturin, la concentration de chlorophylle tend à être légèrement plus élevée dans les feuilles à AAC qu'à CC (figure 7.2). L'ANOVA montre d'ailleurs un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de site (annexe 4g). De plus, à CC, la concentration de chlorophylle demeure la même dans presque tous les traitements alors qu'à AAC, elle est plus élevée dans presque tous les traitements fertilisés avec engrais naturel 2 (figure 7.2). Chez l'agrostide, la concentration de chlorophylle semble être plus importante dans les parcelles situées à AAC par rapport à celles de CC (figure 7.2). L'ANOVA indique un effet très hautement ($p \leq 0.001$) significatif de site (annexe 4g). Enfin, à l'automne 1997, la concentration de chlorophylle chez le pâturin et l'agrostide semble être plus élevée à CC qu'à AAC (figure 7.3). De plus, à CC, la concentration de chlorophylle tend à être plus élevée chez les parcelles fertilisées sauf chez le pâturin chez qui cette tendance disparaît pour les parcelles non inoculées (tableau 7.3). L'ANOVA montre d'ailleurs des effets de site ($p \leq 0.01$) et de fertilisant ($p \leq 0.001$) (annexe 4g). Chez l'agrostide, cette même tendance ne s'observe cependant pas à AAC (figure 7.3). L'ANOVA indique des effets de site et de fertilisant et une interaction : S x F très hautement significatifs (annexe 4g).

Figure 7.1 : Concentration moyenne de chlorophylle dans les feuilles lyophilisées (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'été 1996. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle 1 B- Fertilisation Naturelle 2 C- Fertilisation Chimique

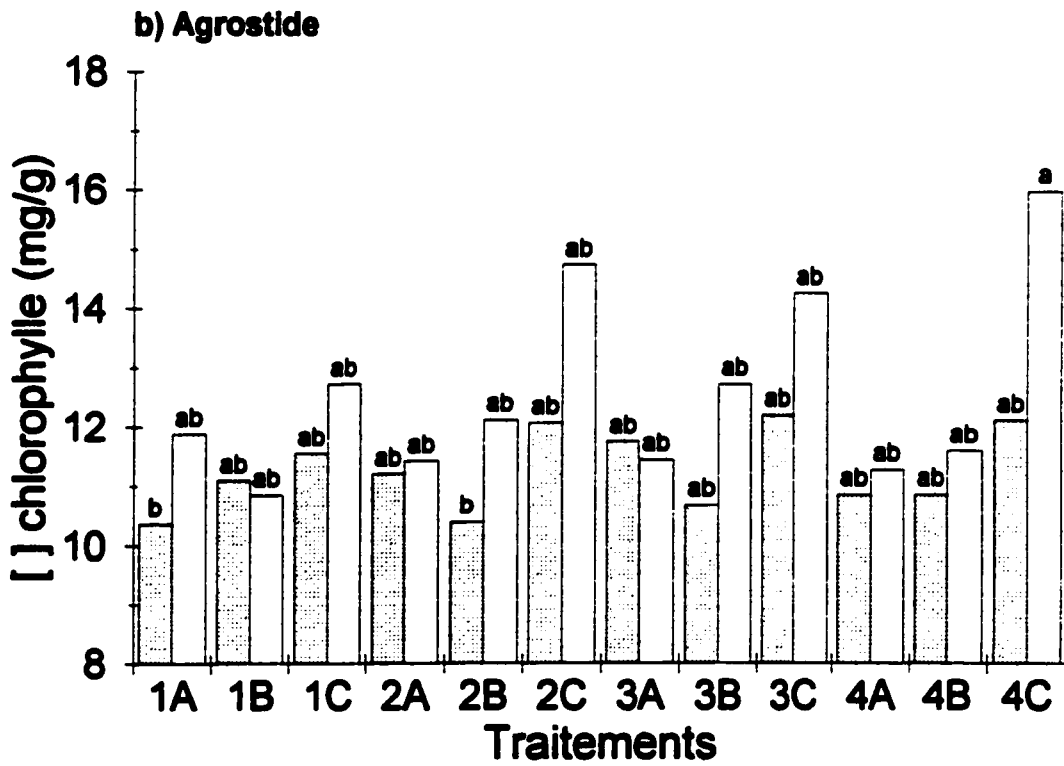
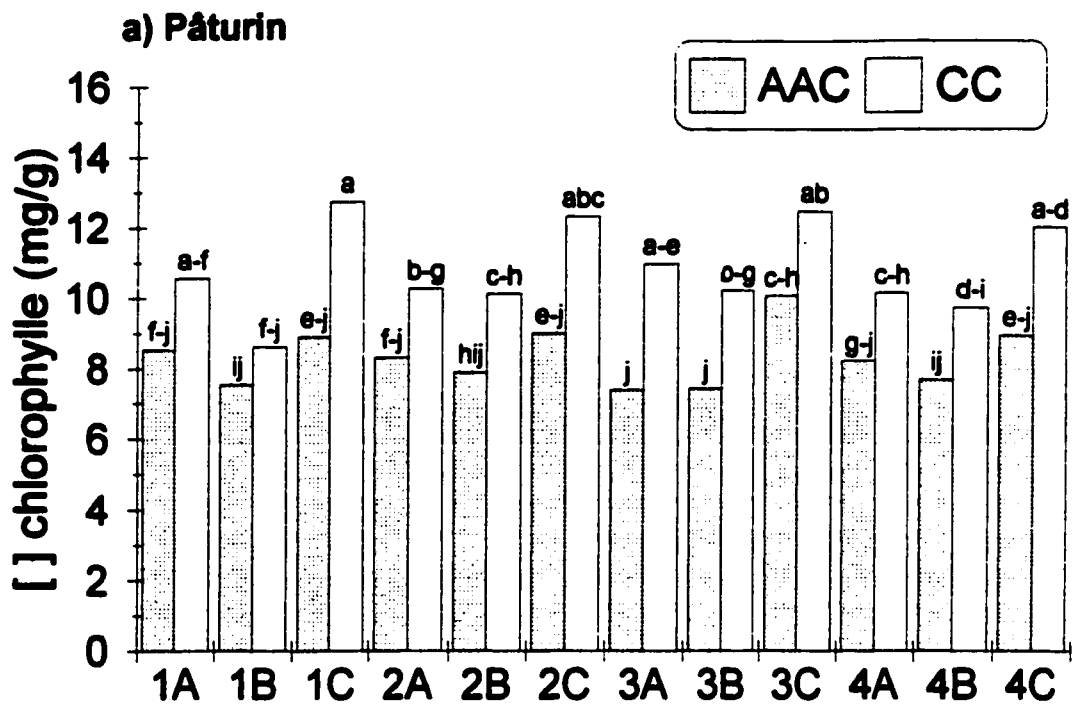


Figure 7.2 : Concentration moyenne de chlorophylle dans les feuilles lyophilisées (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'automne 1996. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle 1 B- Fertilisation Naturelle 2 C- Fertilisation Chimique

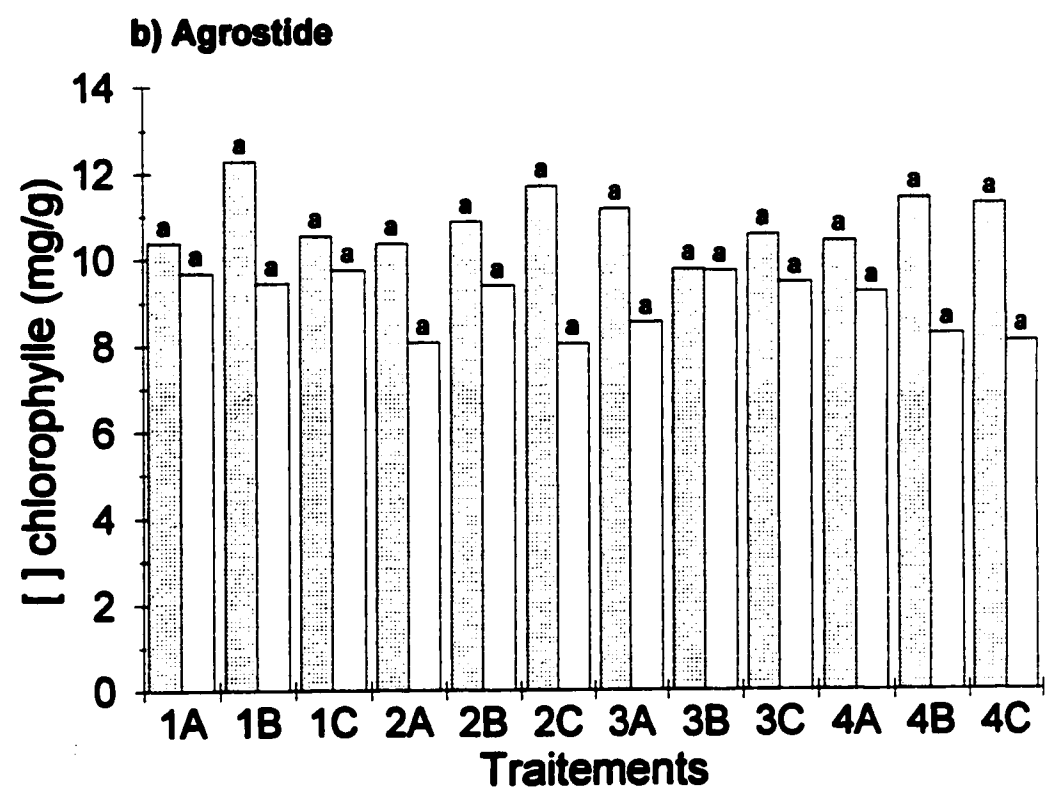
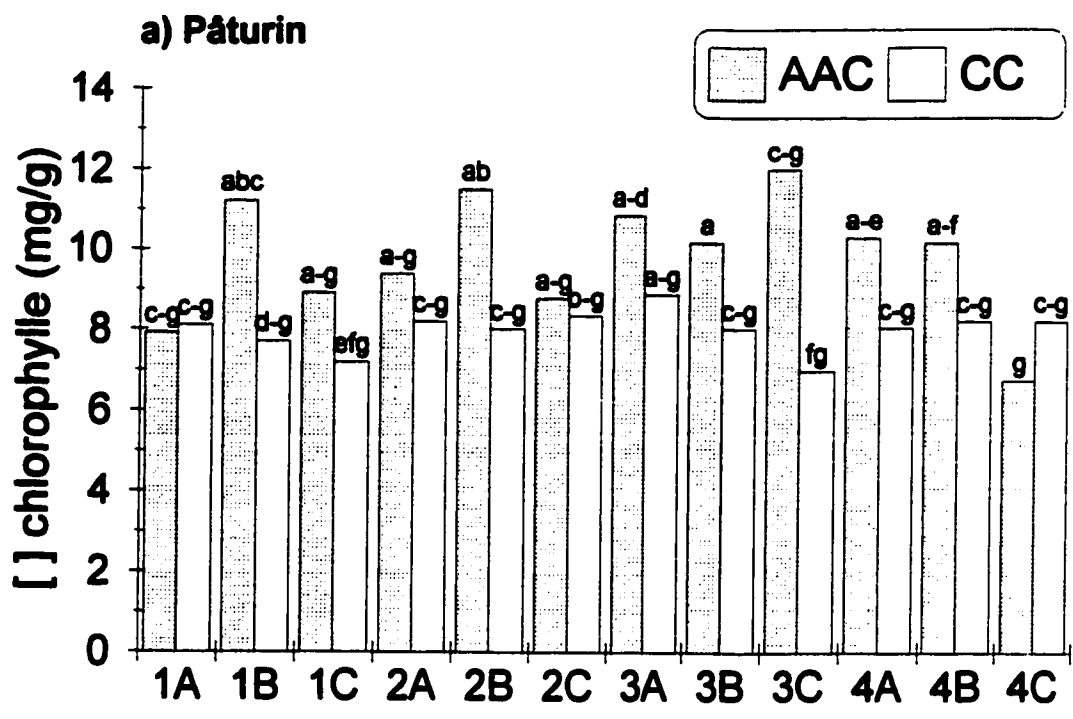
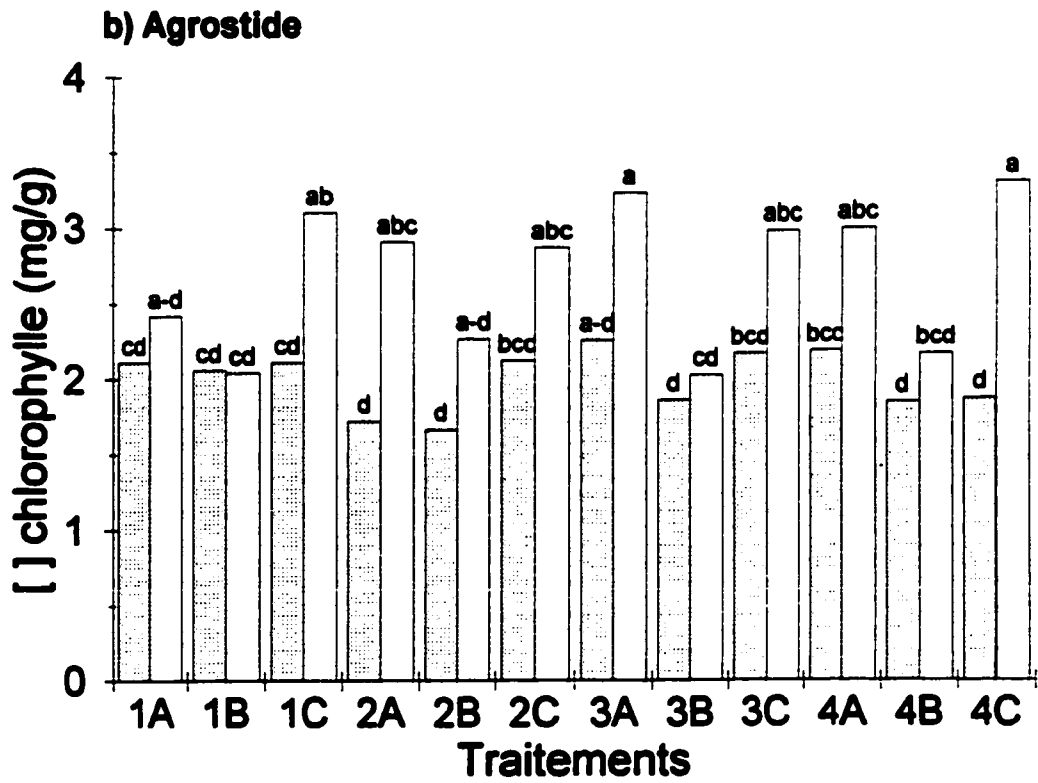
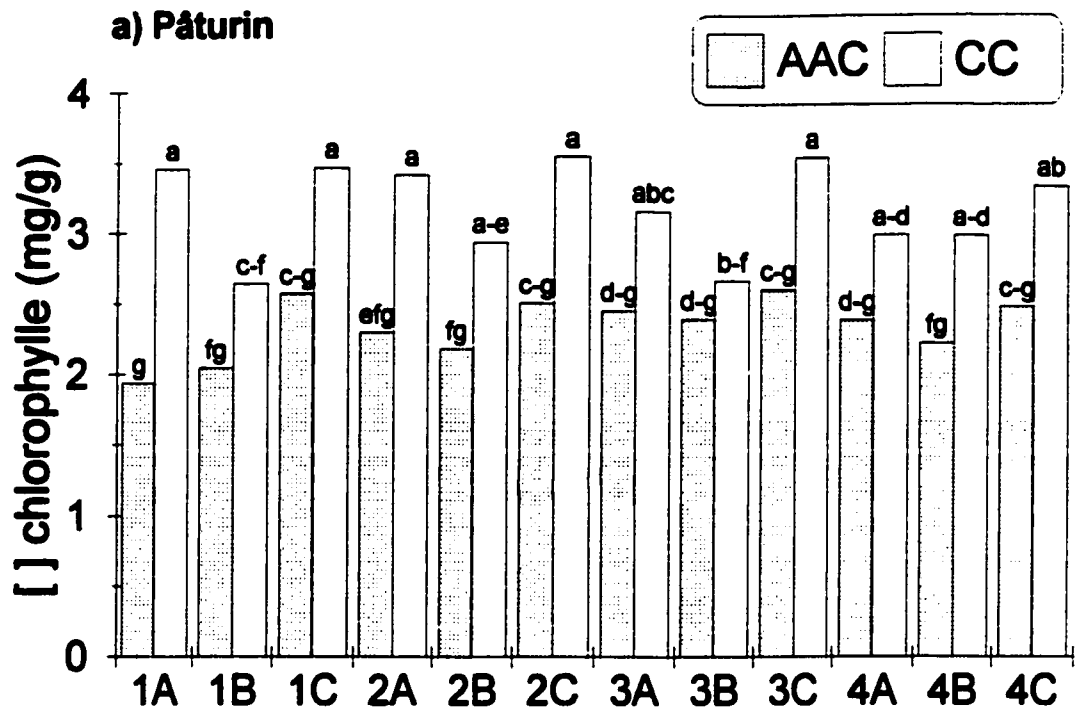


Figure 7.3: Concentration moyenne de chlorophylle dans les feuilles fraîches (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'automne 1997. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique



8.0 Diamètre des racines

L'analyse de variance (annexe 4h) et le test de Tukey ne montrent aucune différence significative entre les traitements (figure 8.1) en ce qui a trait au diamètre des racines chez le pâturin à l'été 1997. Chez l'agrostide, bien que le test de Tukey ne montre aucune différence entre les traitements (figure 8.1), les parcelles inoculées avec *G. intraradices* et *G. mosseae*, à CC, ont tendance à avoir un diamètre racinaire plus élevé que ces mêmes parcelles à AAC. D'ailleurs, l'ANOVA indique une interaction significative : S x M ($p \leq 0.05$) (annexe 4h).

À l'automne 1997, bien que l'ANOVA indique un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) de fertilisant pour les deux graminées et des interactions : S x M et S x M x F significatives pour l'agrostide (annexe 4h), le test de Tukey ne révèle aucune différence entre les traitements (figure 8.2) en ce qui a trait au diamètre racinaire du pâturin.

8.1 Longueur totale des racines

À l'été 1997, la longueur totale des racines du pâturin a tendance à être plus grande à AAC qu'à CC pour les parcelles inoculées avec *G. intraradices*, *G. mosseae* ou *G. aggregatum* (figure 8.3). Cette tendance disparaît dans les parcelles non inoculées. De plus, l'écart entre les deux sites pour la longueur totale des racines est beaucoup plus important en présence de *G. intraradices* par rapport aux deux autres espèces de *Glomus* (figure 8.3). Chez l'agrostide, la longueur totale des racines tend à être plus élevée à CC qu'à AAC (figure 8.3). Bien que l'ANOVA indique un effet significatif de fertilisation (annexe 4i), le test de Tukey n'indique aucune différence significative entre les traitements (figure 8.3).

À l'automne 1997, l'ANOVA (annexe 4i) et le test de Tukey (figure 8.4) ne révèlent aucune différence entre les traitements en ce qui a trait à la longueur totale des racines chez le pâturin et l'agrostide.

Figure 8.1: Diamètre moyen des racines (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1997. L'analyse de Tukey ne révèle aucune différence entre les traitements ($p > 0.05$). Avec comme légende : **1-** *Glomus intraradices* **2-** *Glomus mosseae* **3-** *Glomus aggregatum* **4-** Témoin non inoculé et **A-** Fertilisation Naturelle **B-** Témoin non fertilisé **C-** Fertilisation Chimique

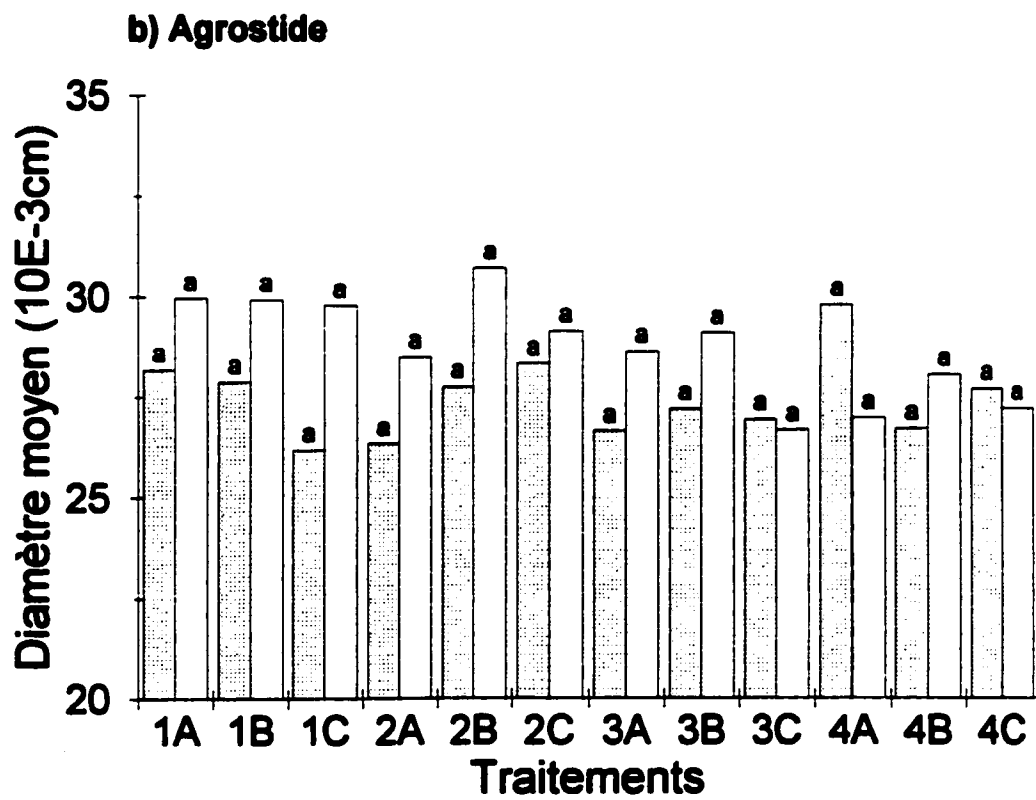
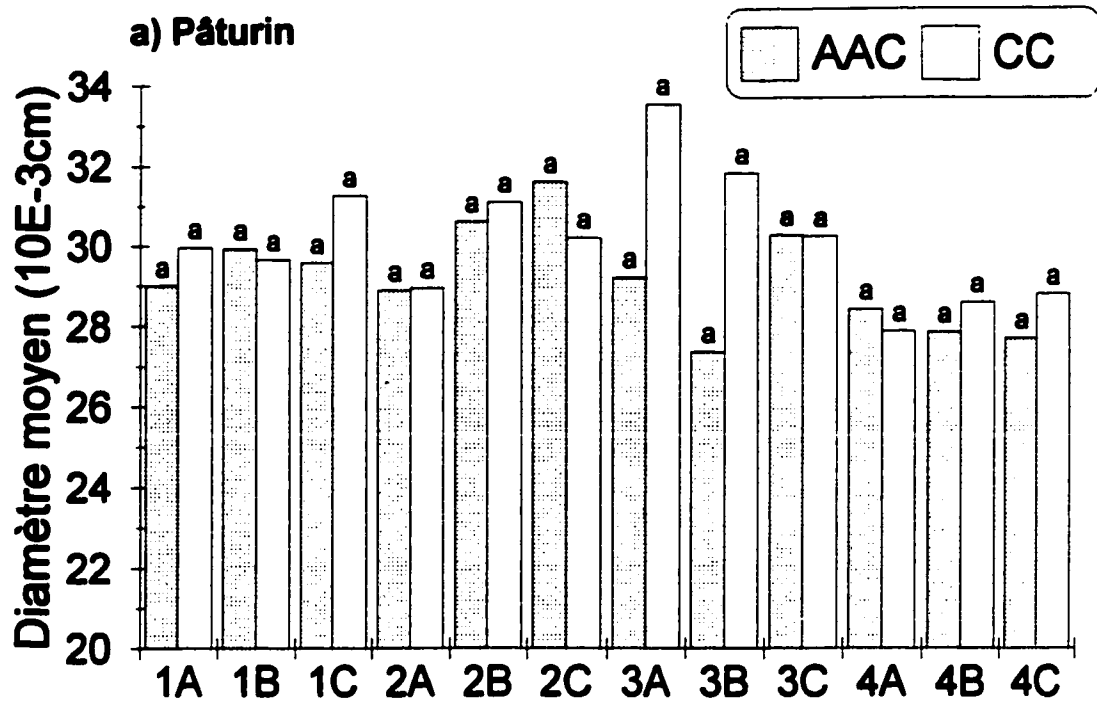


Figure 8.2 : Diamètre moyen des racines (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

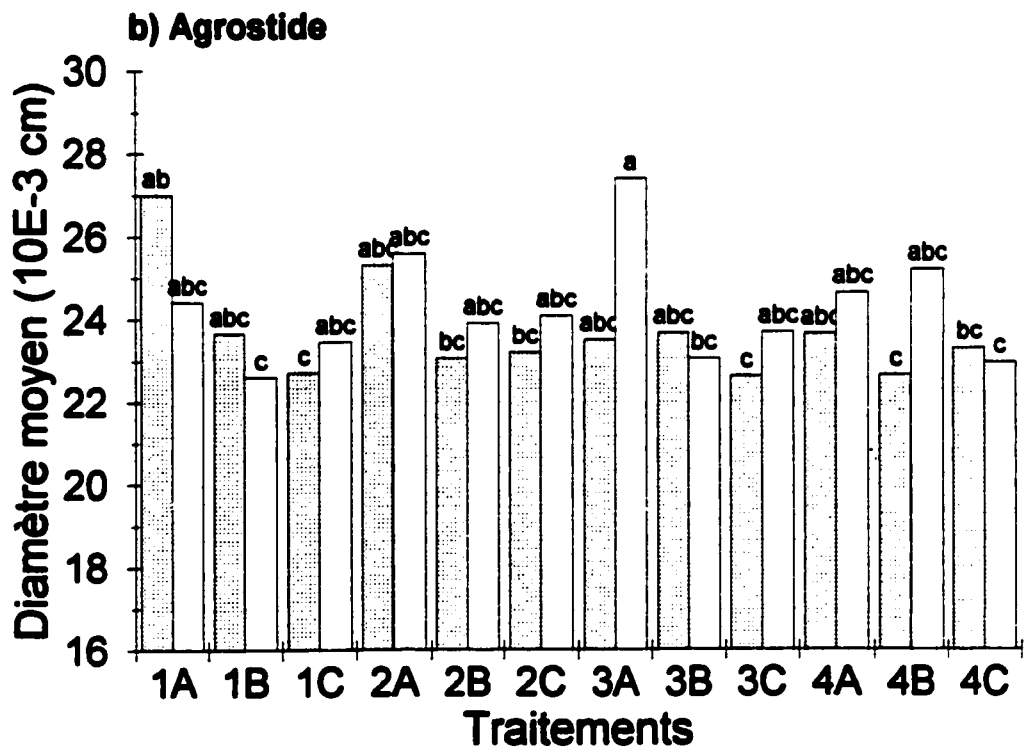
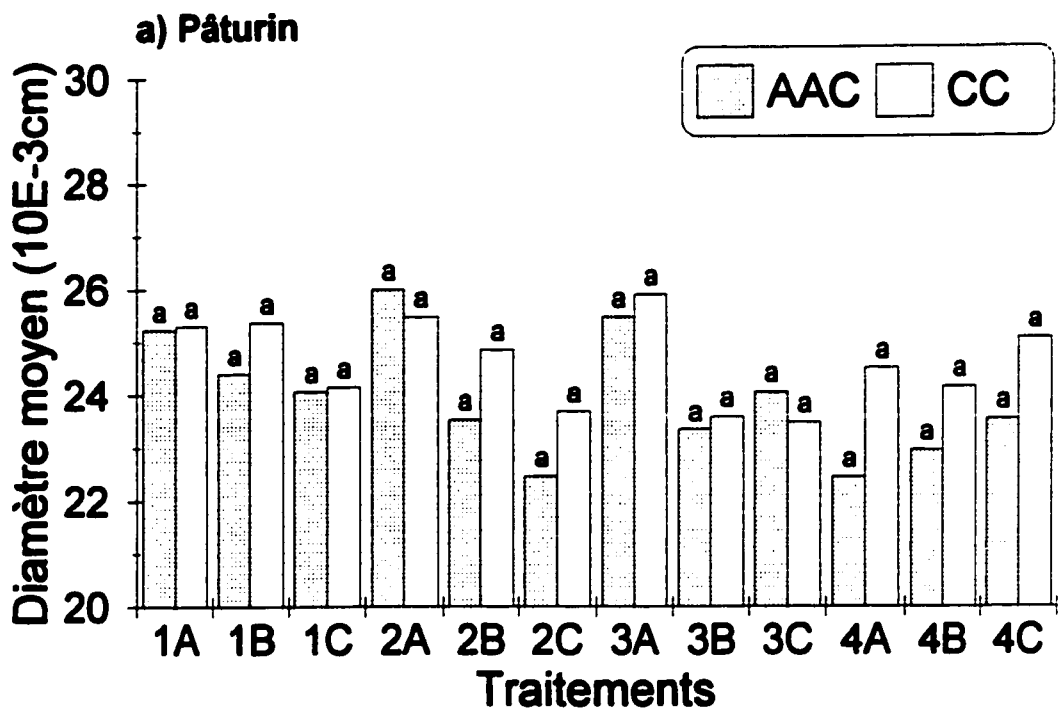


Figure 8.3 : Longueur totale des racines (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'été 1997. L'analyse de Tukey révèle aucune différence entre les traitements ($p > 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

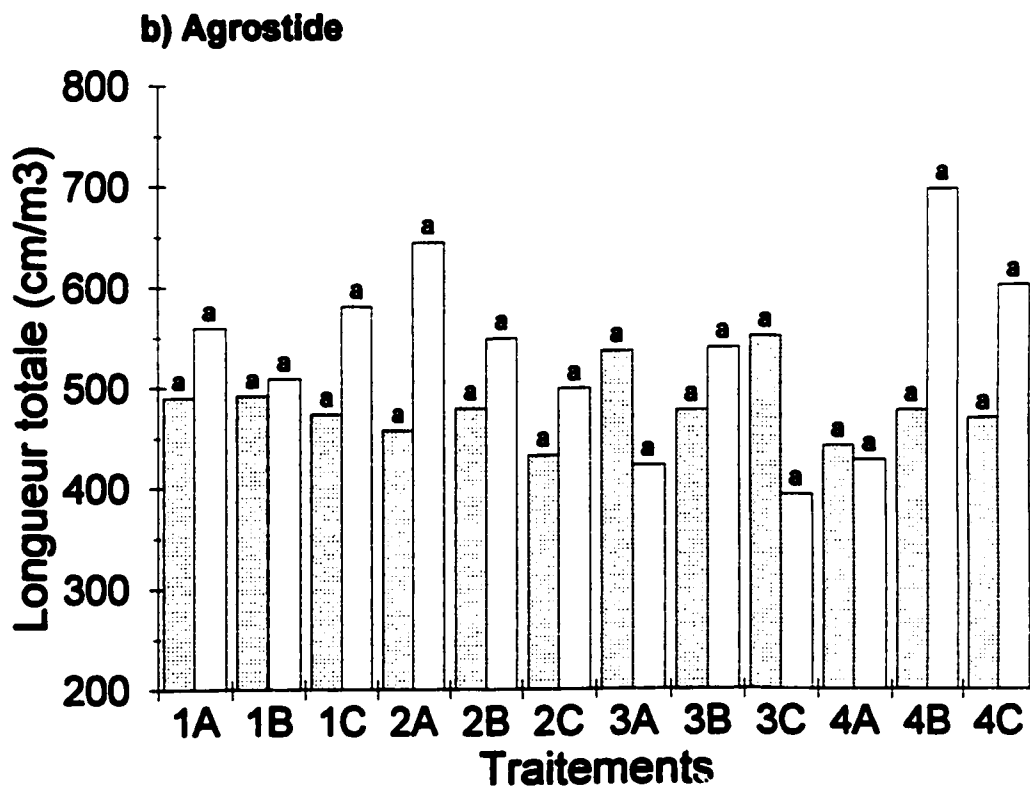
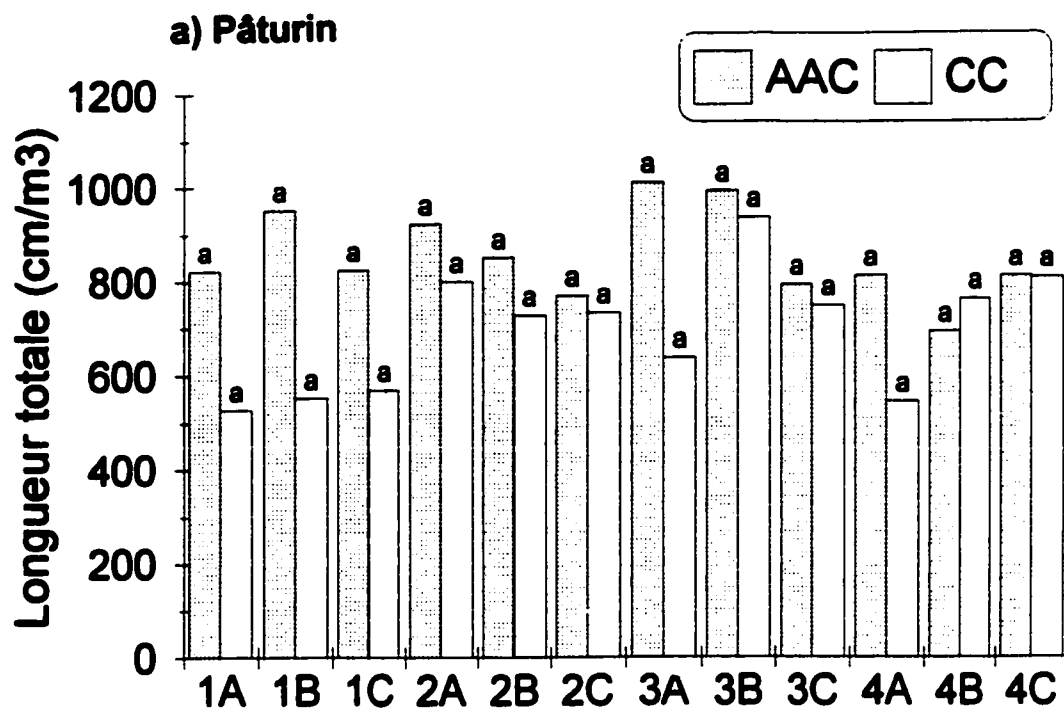
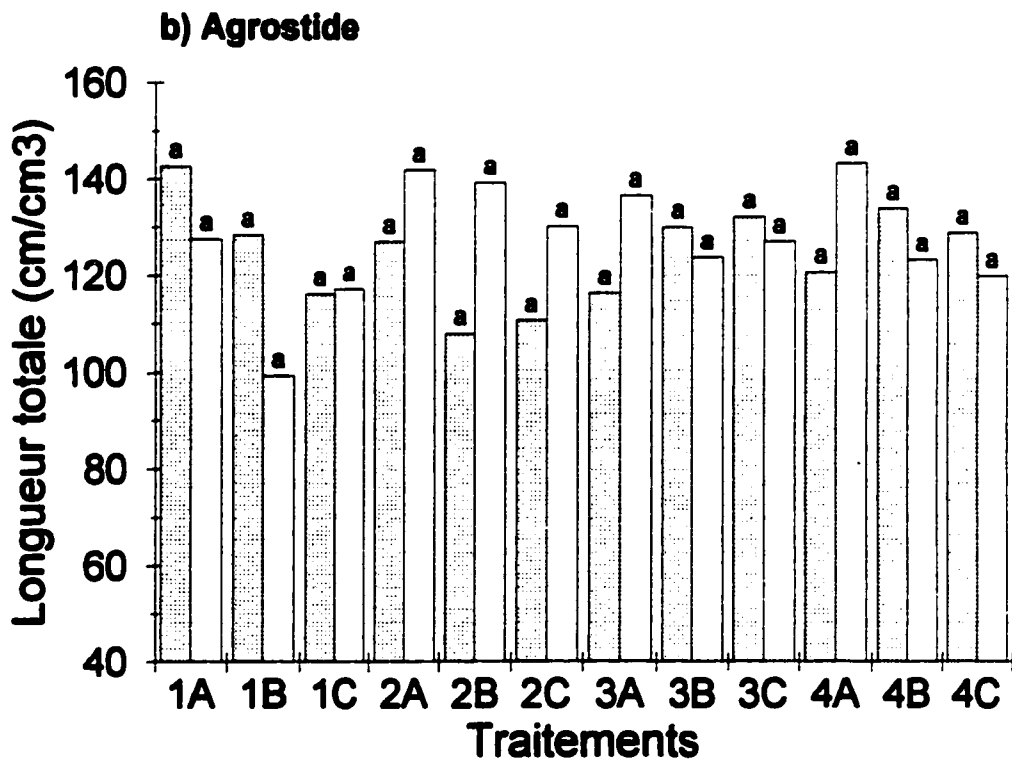
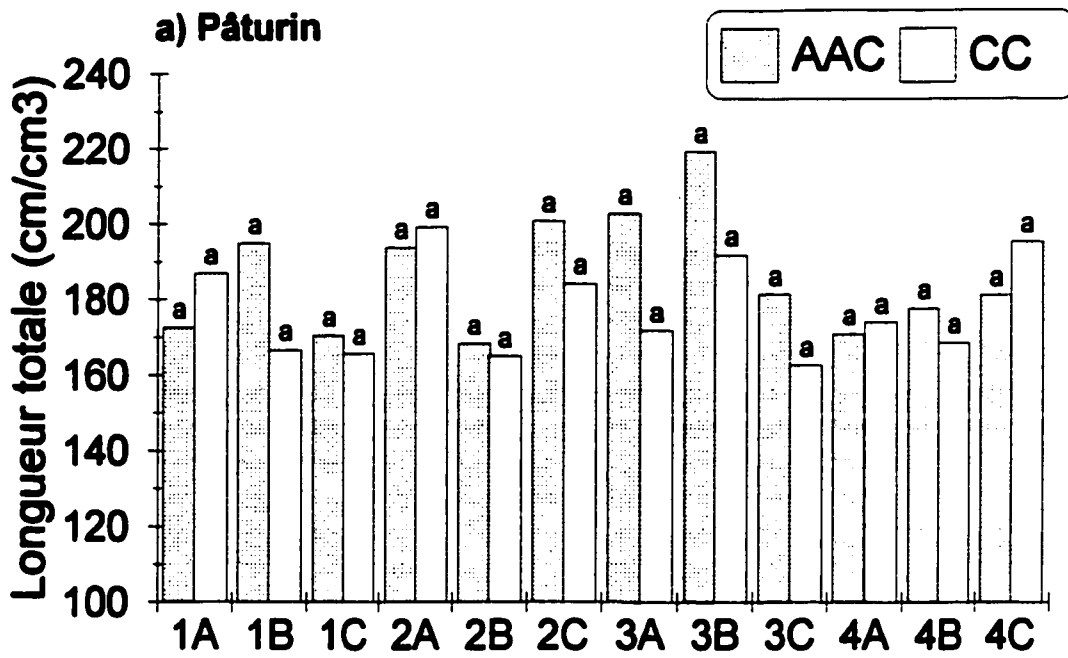


Figure 8.4 : Longueur totale des racines (n=4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Clarence Creek (CC) pour l'automne 1997. L'analyse de Tukey de révèle aucune différence entre les traitements ($p > 0.05$). Avec comme légende : **1**- *Glomus intraradices* **2**- *Glomus mosseae* **3**- *Glomus aggregatum* **4**- Témoin non inoculé et **A**- Fertilisation Naturelle **B**- Témoin non fertilisé **C**- Fertilisation Chimique

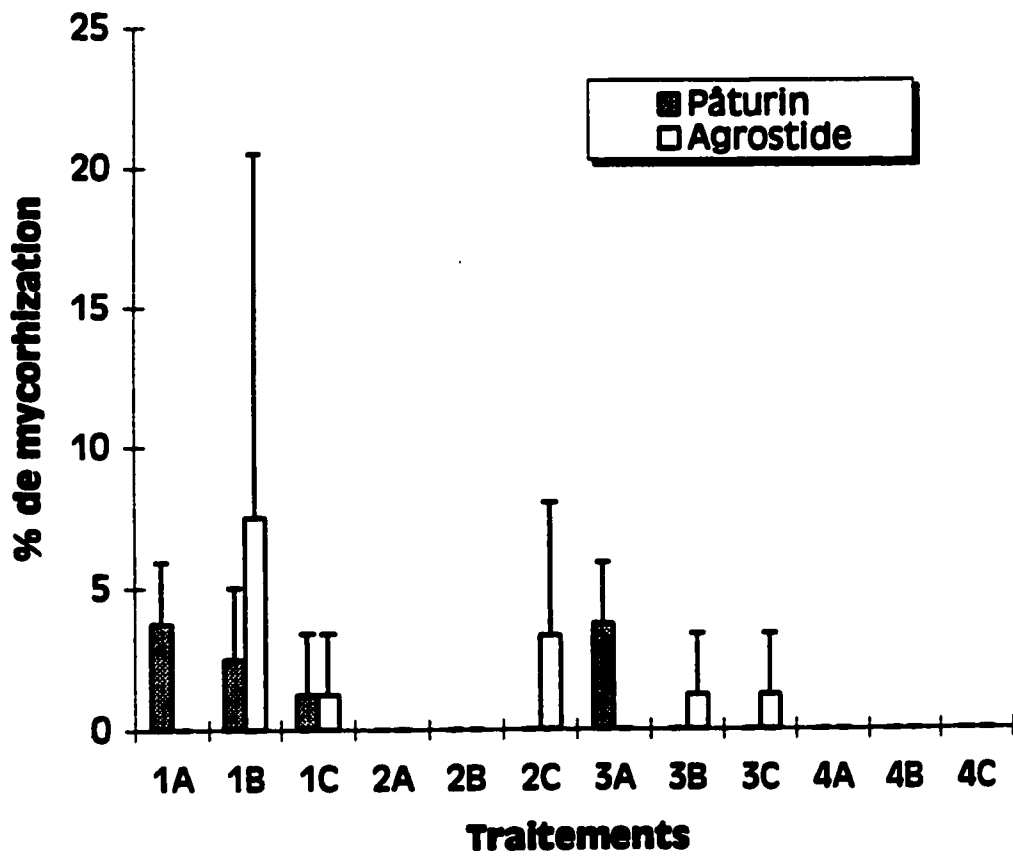


9.0 Mycorhization de plantes isolées

9.1 Pourcentage de colonisation racinaire

Après 16 semaines de croissance, les racines étaient colonisées à environ 5 % (figure 9.0). Chez le pâturin, *Glomus intraradices* a colonisé les racines autant en présence de fertilisant que dans le témoin non fertilisé. *Glomus aggregatum* a colonisé les racines qu'en présence de fertilisant naturel. Aucune présence des mycorhizes n'a été décelée dans le cas de *G. mosseae* et ce quel que soit le traitement de fertilisation. Chez l'agrostide, les racines étaient mycorhizées par *G. intraradices* dans les traitements non fertilisés et fertilisés chimiquement. De plus, *G. mosseae* était présent chez les plantules fertilisées chimiquement. Enfin, les racines d'agrostide étaient colonisées autant en présence de fertilisant chimique qu'en l'absence de fertilisation. Pour les deux graminées de gazon, aucune colonisation racinaire n'a été observée dans les traitements témoins non inoculés.

Figure 9.0 : Moyennes (n=4) des pourcentages de colonisation racinaire chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard associée à chaque traitement. Avec comme légende : **1**- *Glomus intraradices* **2**- *Glomus mosseae* **3**- *Glomus aggregatum* **4**- Témoin non inoculé et **A**- Fertilisation Naturelle **B**- Témoin non fertilisé **C**- Fertilisation Chimique



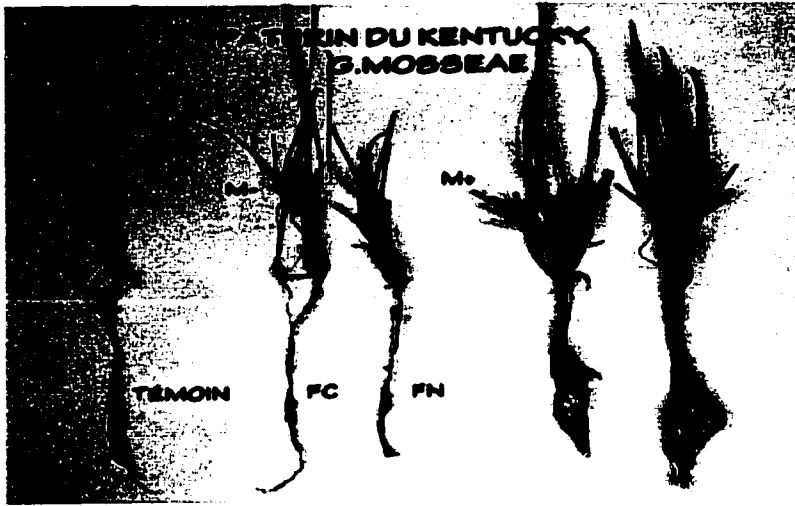
9.2 Biomasse fraîche des feuilles

Aucun effet significatif de mycorhization et de fertilisation n'a été observé sur la biomasse fraîche des feuilles chez les deux graminées de gazon (annexe 4j). Chez le pâturin, la biomasse fraîche des feuilles est légèrement inférieure chez les plantules non fertilisées que chez les plantules fertilisées pour les traitements avec *G. aggregatum* et les témoins non mycorhizés (figures 9.1 et 9.2). Chez l'agrostide, la biomasse fraîche des feuilles chez les plantules non fertilisées tend à être plus basse que celle des traitements fertilisés, et ce quel que soit le traitement mycorhizien (figures 9.1 et 9.2).

9.3 Biomasse fraîche des racines

Aucun effet significatif n'a été observé chez le pâturin (annexe 4j). La biomasse fraîche des racines semble être plus élevée dans le cas des plantules non fertilisées en présence de *G. intraradices* et *G. mosseae* (figures 9.1 et 9.3). Chez l'agrostide, la fertilisation a eu un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) sur la biomasse fraîche des racines (annexe 4j). Cette dernière semble être plus élevée dans les traitements non fertilisés quel que soit le traitement mycorhizien (figures 9.1 et 9.3).

Figure 9.1: Représentation visuelle des plantules individuelles de pâturin du Kentucky (A et B) et d'agrostide stolonifère (C et D) inoculées (M+) ou non (M-) par *Glomus mosseae* en présence de fertilisant chimique (FC), naturel (FN) ou sans fertilisant (F-). Une plantule non inoculée et non fertilisée sert de contrôle (Témoin).



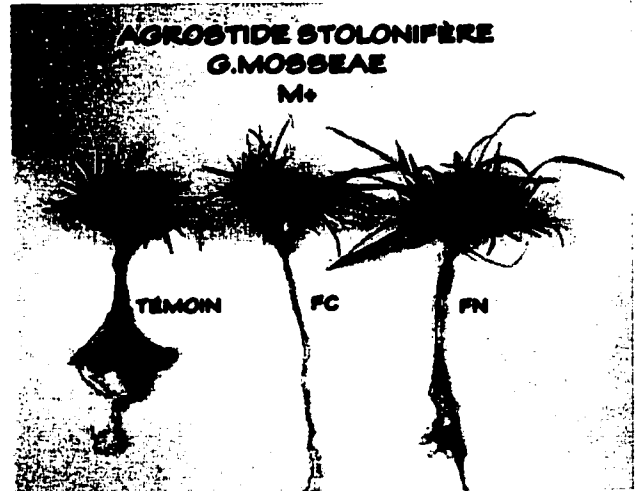
A



B



C



D

9.4 Ratio racine/feuille

La fertilisation a un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) chez les deux graminées de gazon (annexe 4j). Chez le pâturin et l'agrostide, les ratios racine/feuille sont plus élevés chez les plantules non fertilisées quel que soit le traitement mycorhizien (figure 9.4).

9.5 Croissance cumulée

Aucun effet significatif n'a été observé chez le pâturin (annexe 4j). Par contre, la fertilisation a eu un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$) sur la croissance cumulée de l'agrostide (annexe 4j). Les traitements non fertilisés ont une croissance cumulée inférieure aux traitements fertilisés naturellement ou chimiquement, quel que soit le type de mycorhization (figure 9.5).

9.6 Longueur totale des racines

Aucun effet significatif n'a été observé chez le pâturin et chez l'agrostide (annexe 4k). Chez le pâturin, la longueur totale des racines dans le traitement non fertilisé et colonisé par *G. intraradices* tend à être plus élevée que celle des deux autres traitements fertilisés (figure 9.6). Chez l'agrostide, les traitements n'ayant pas reçu de fertilisation tendent à avoir une longueur totale de racines plus grande que les deux autres traitements et ce quel que soit le type de champignon endomycorhizien (figure 9.6).

9.7 Diamètre moyen des racines

Chez le pâturin, l'ANOVA montre un effet hautement significatif ($p \leq 0.01$) de fertilisation (annexe 4k). Les plantules non fertilisées du pâturin semblent avoir un diamètre moyen des racines plus élevé en présence de *G. intraradices* ou de *G. mosseae*. De plus, en présence de *G. aggregatum*, le diamètre moyen des racines tend à être plus grand sous le régime de fertilisation naturelle (figure 9.7). Chez l'agrostide, le diamètre moyen des racines semble être plus grand dans les traitements non fertilisés quel que soit le traitement mycorhizien (figure 9.7).

Figure 9.2: Biomasse fraîche moyenne des feuilles ($n = 4$) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. Le test de Tukey ne révèle aucune différence entre les traitements ($p > 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

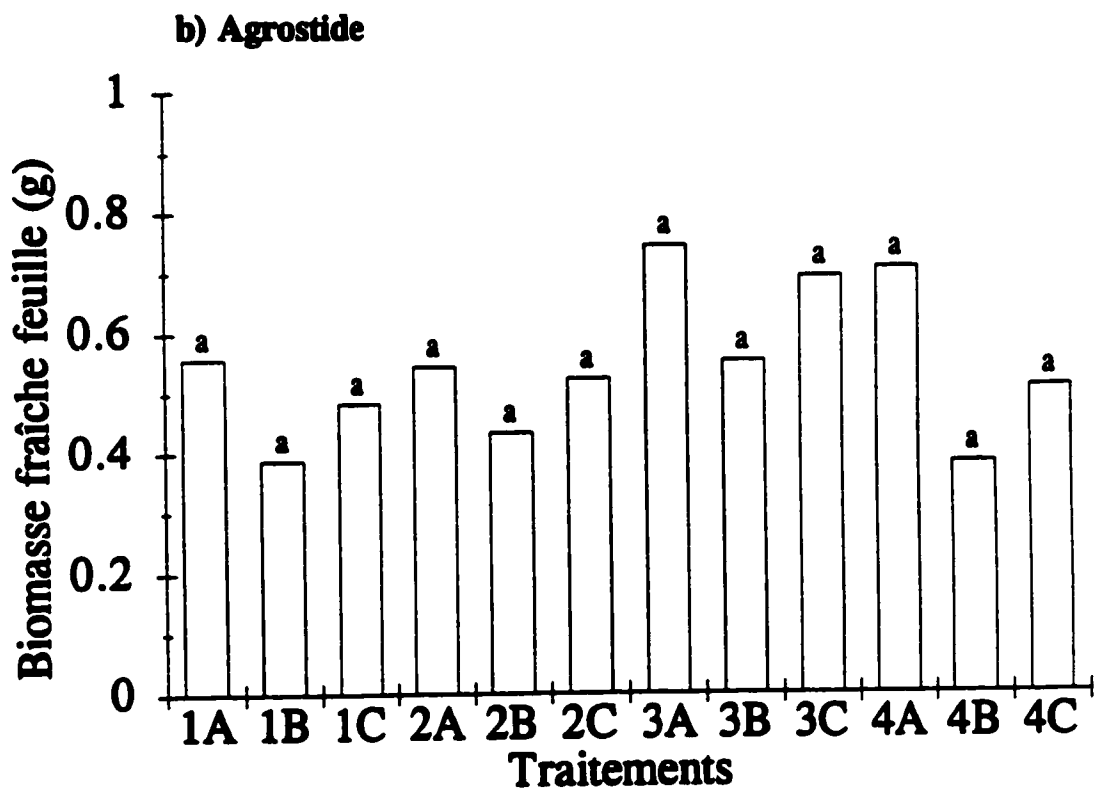
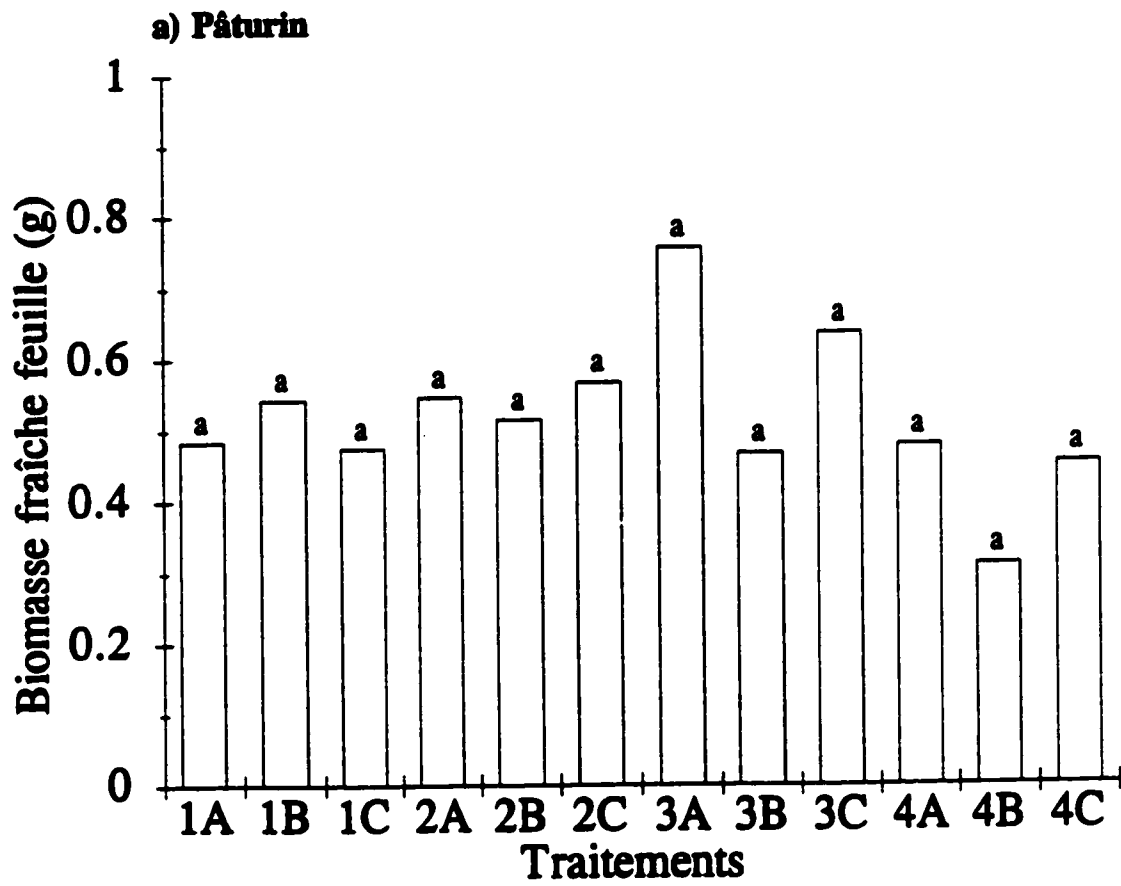
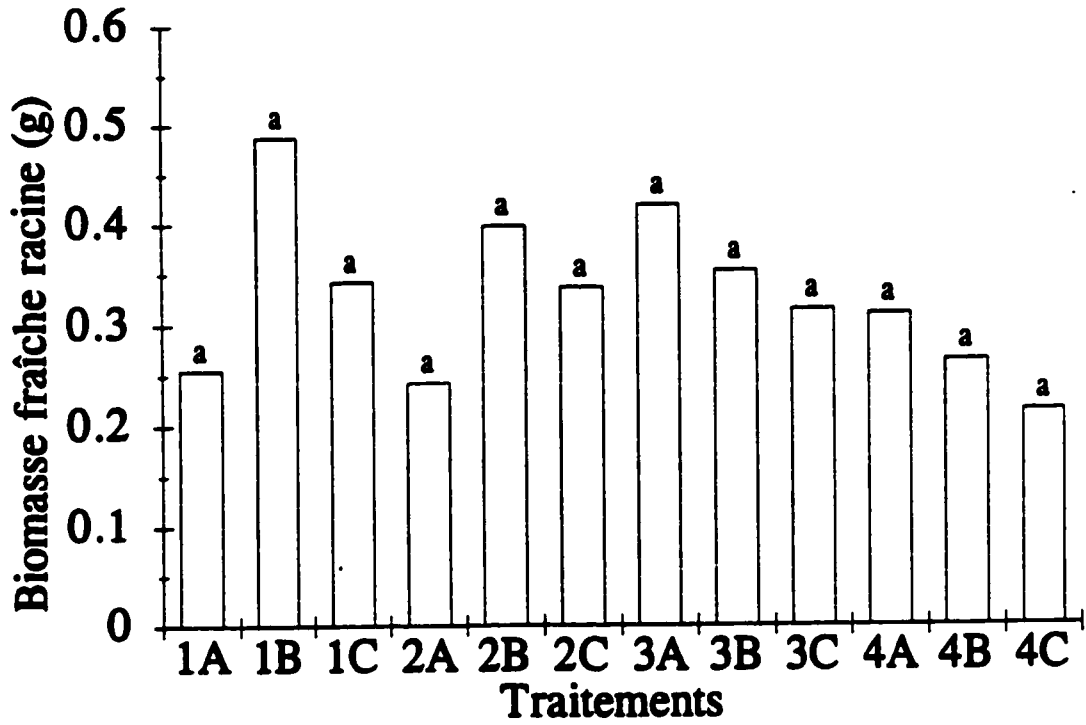


Figure 9.3: Biomasse fraîche moyenne des racines (n = 4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

a) Pâturin



b) Agrostide

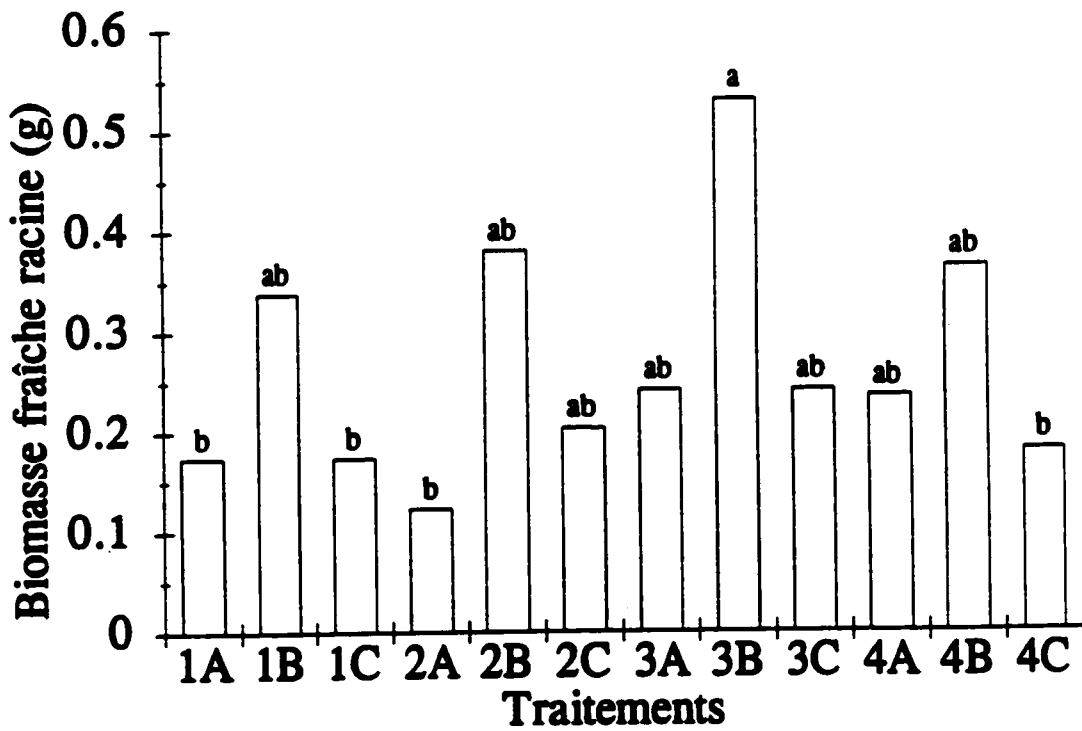


Figure 9.4: Ratio racine/feuille moyen (n = 4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

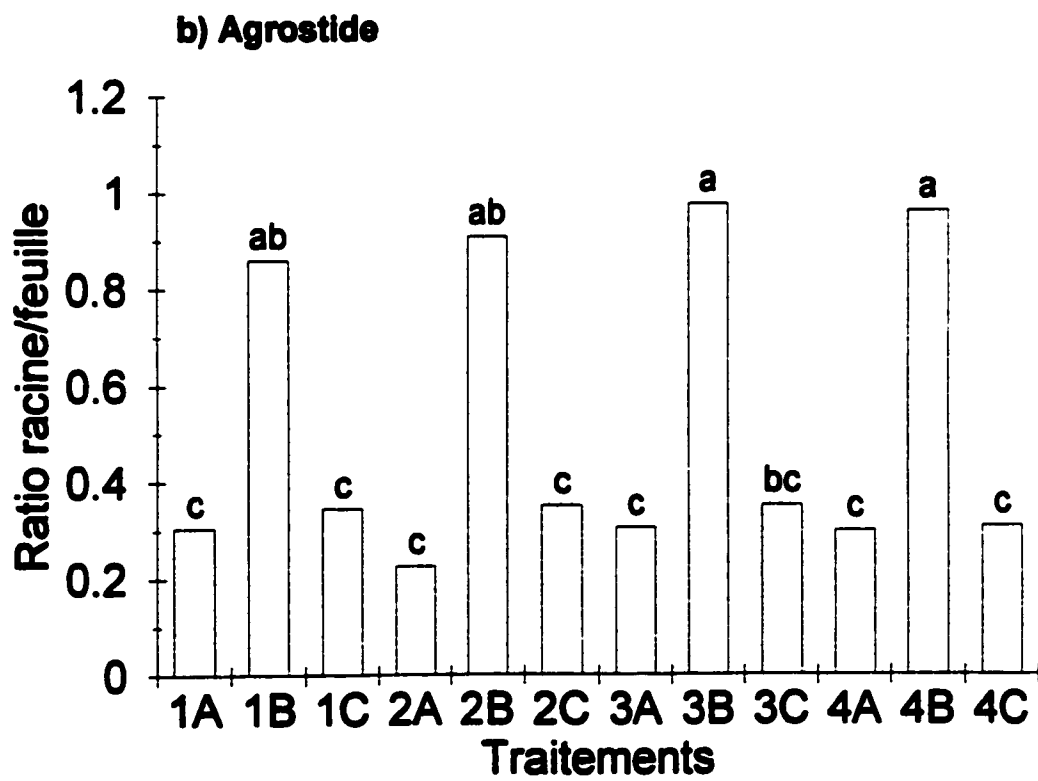
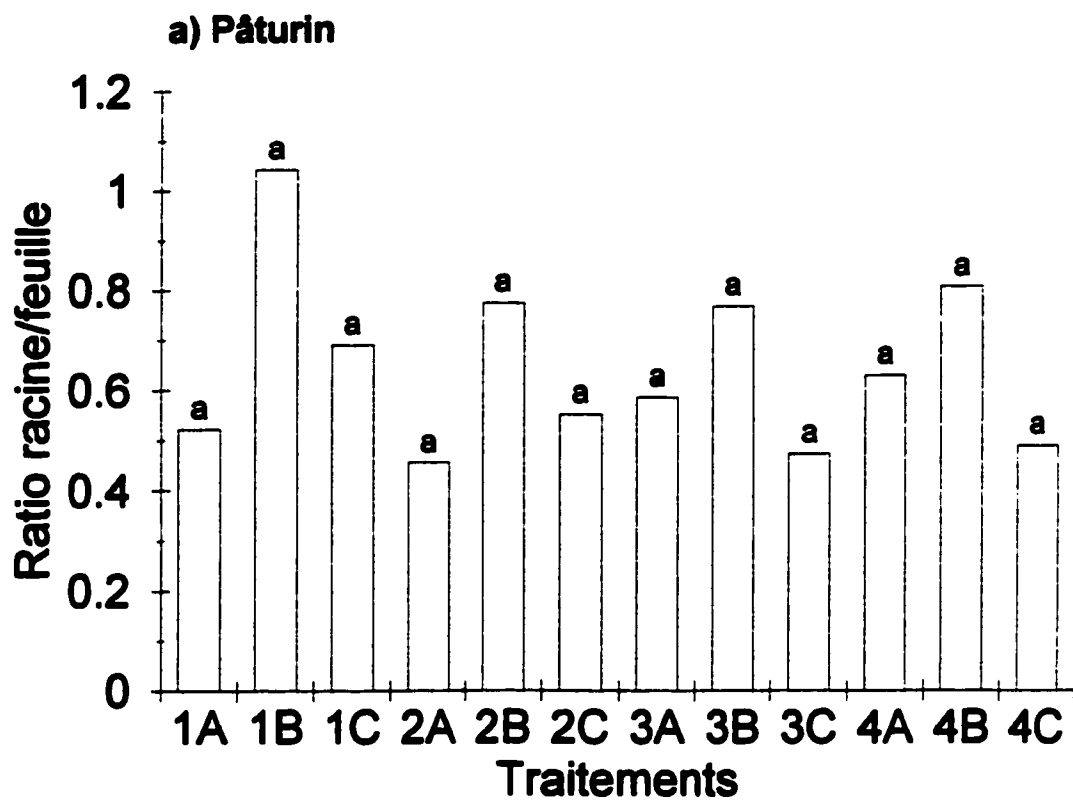
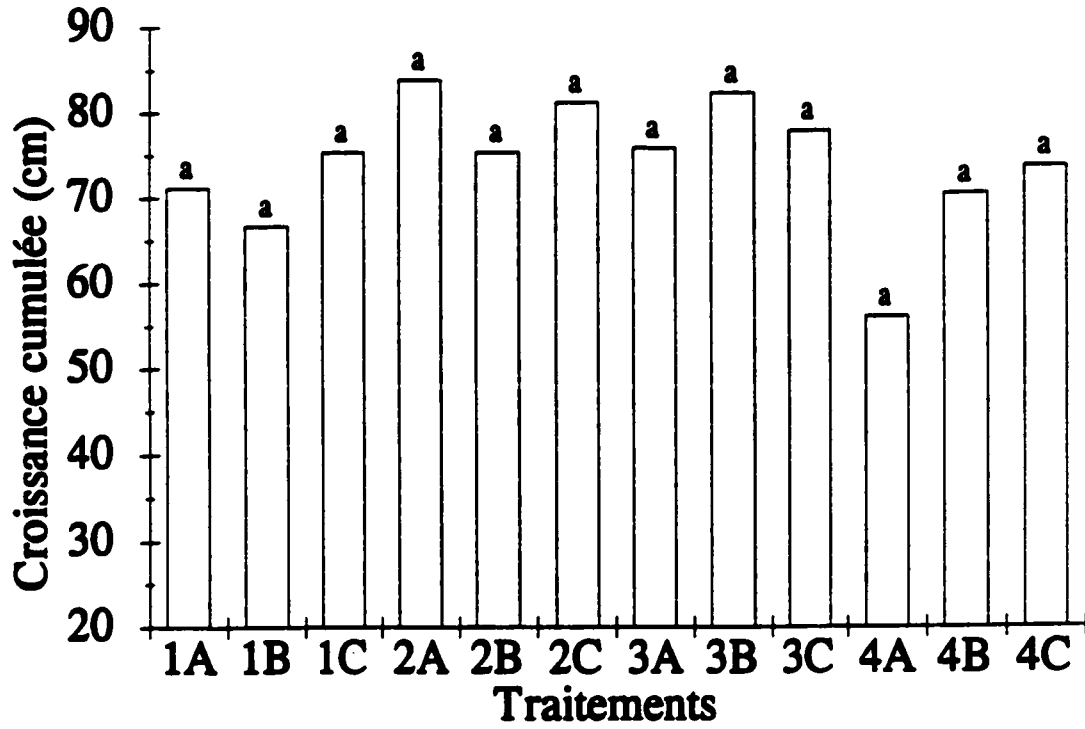


Figure 9.5: Croissance cumulée moyenne des plantules (n=4) chez deux graminées de gazon le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. Les différentes lettres représentent des différences significatives selon l'analyse de Tukey ($p \leq 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

a) Pâturin



b) Agrostide

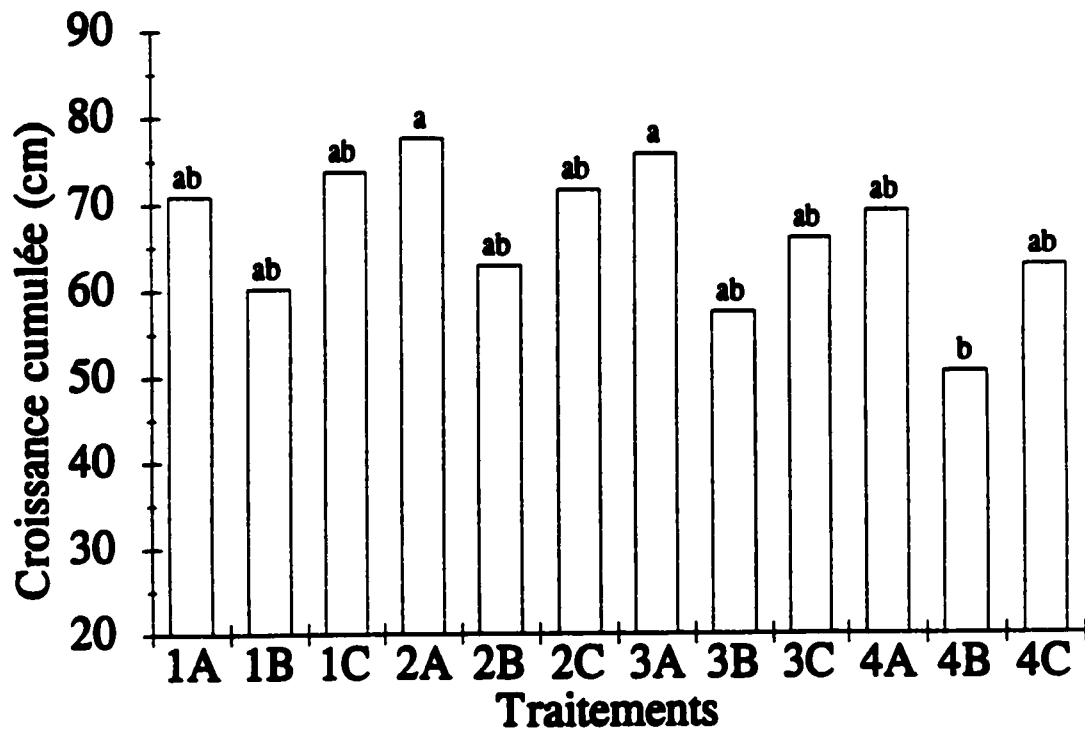


Figure 9.6: Longueur totale des racines (n = 4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. L'analyse de Tukey montre aucune différence entre les traitements ($p > 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

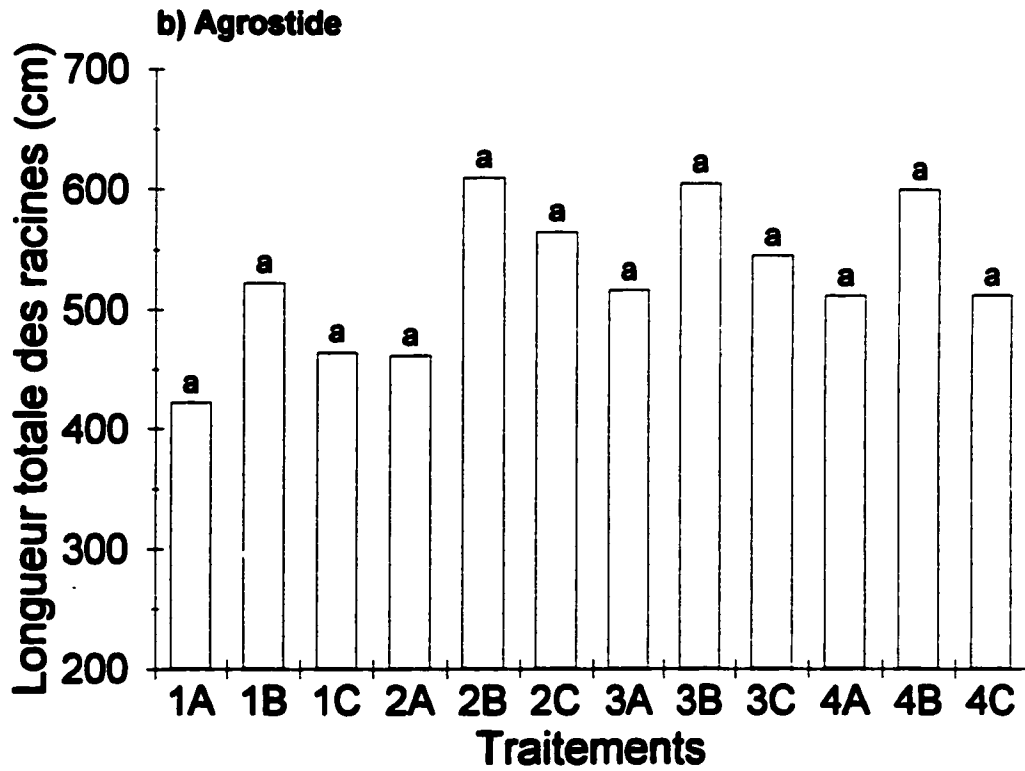
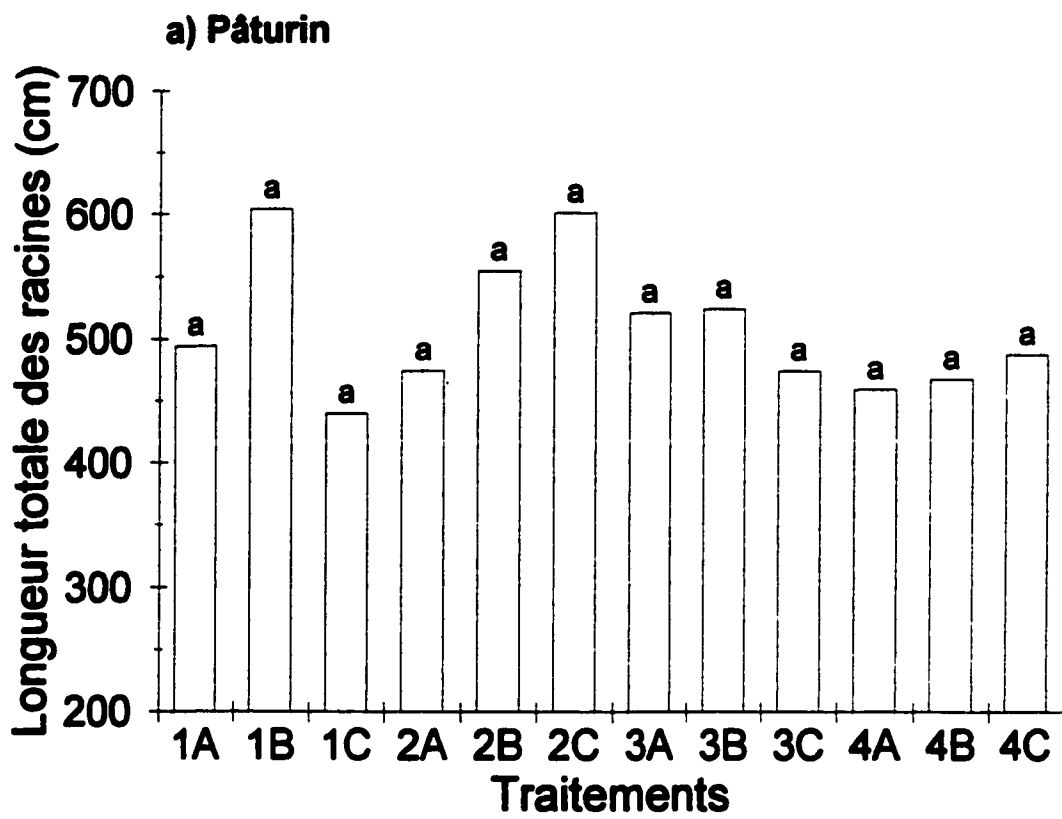


Figure 9.7: Diamètre moyen des racines (n = 4) chez le pâturin du Kentucky (a) et l'agrostide stolonifère (b) pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. L'analyse de Tukey montre aucune différence entre les traitements ($p > 0.05$). Avec comme légende : 1- *Glomus intraradices* 2- *Glomus mosseae* 3- *Glomus aggregatum* 4- Témoin non inoculé et A- Fertilisation Naturelle B- Témoin non fertilisé C- Fertilisation Chimique

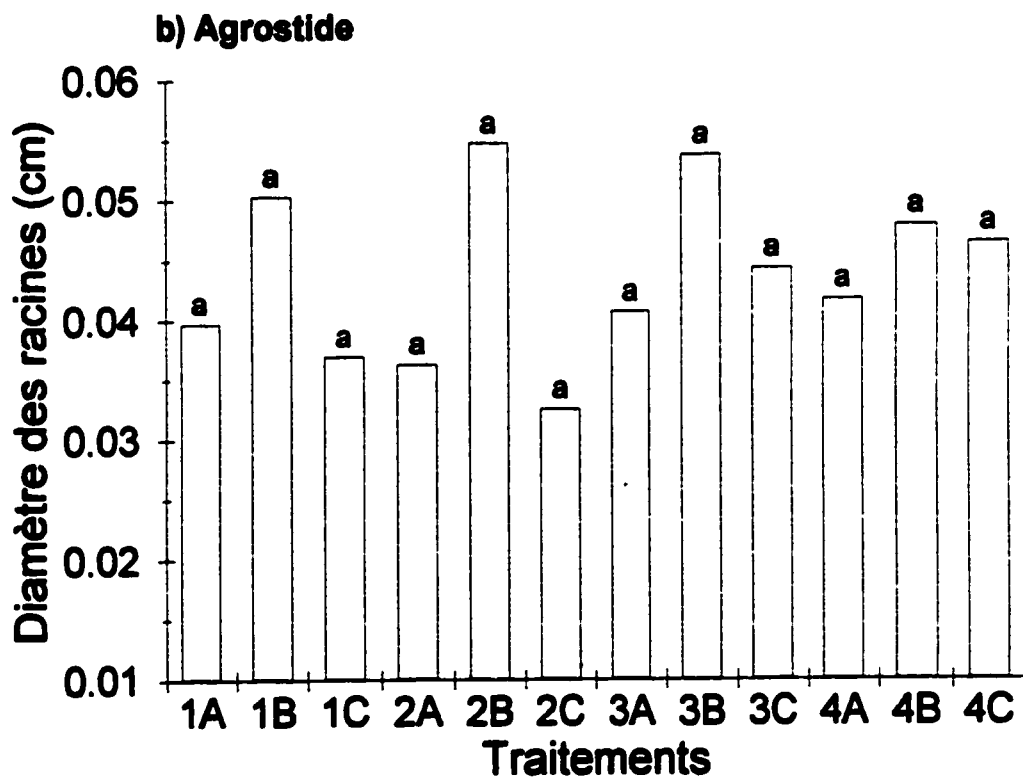
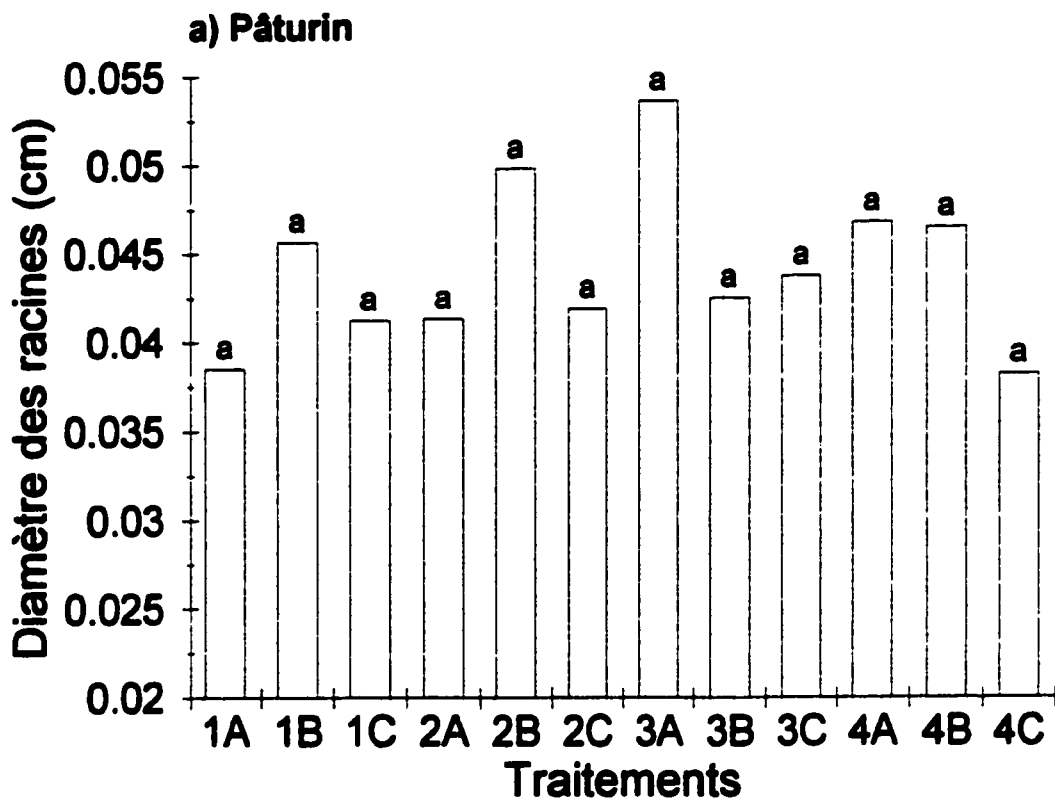


Tableau 3.0 : Synthèse des principaux résultats observés pour 1996 et 1997 chez les deux graminées de gazon à AAC et CC.

Pâturin du Kentucky		Agrostide stolonifère		
Concentration des minéraux dans les feuilles				
Établissement (1996)	<input type="checkbox"/>	0- 35 % de colonisation.	<input type="checkbox"/>	0- 30 % de colonisation.
	<input type="checkbox"/>	Différences marquées entre les sites. Généralement AAC > CC.	<input type="checkbox"/>	Différences marquées entre les sites. Généralement AAC > CC.
	<input type="checkbox"/>	Les champignons mycorhiziens influencent la concentration des minéraux dans les feuilles plus particulièrement N, K, Ca, Fe, Cu, Zn.	<input type="checkbox"/>	Les champignons mycorhiziens influencent la concentration des minéraux dans les feuilles plus particulièrement K, Ca, Fe, Mn, Zn.
1ère année (1997)	<input type="checkbox"/>	Pourcentage de colonisation : Pâturin ~ 30 % Agrostide ~ 60 %		
	<input type="checkbox"/>	Différences entre les sites peuvent encore être observées.		
	<input type="checkbox"/>	Les parcelles non fertilisées ont tendance à avoir des concentrations inférieures de minéraux dans leurs feuilles.		
	<input type="checkbox"/>	Aucune différence significative a été observé entre les traitements mycorhiziens.		
Autres paramètres (C/N, chlorophylle ...)				
	<input type="checkbox"/>	Tous les autres paramètres étaient influencés par la fertilisation (les parcelles non fertilisées avaient généralement un ratio C/N, une concentration de chlorophylle... inférieurs).		
Serre	<input type="checkbox"/>	Faible pourcentage de colonisation (< 5%)		
	<input type="checkbox"/>	Des différences importantes observées entre les traitements de fertilisation pour la plupart des paramètres mesurés (biomasse, ratio racine/feuille...)		

Discussion

Nos résultats montrent que les trois espèces de champignons endomycorhiziens utilisées dans cette étude colonisent les racines du pâturin et de l'agrostide, et ce même en présence de fertilisants chimiques ou naturels. Il ressort que *Glomus mosseae* et *G. intraradices* ont des effets similaires sur les graminées alors que *G. aggregatum* se compare régulièrement au témoin non inoculé mais mycorhizé. La fertilisation des parcelles avec engrais naturel ou chimique ainsi que les sols riches en phosphore ont probablement masqué une bonne partie des réponses des deux graminées de gazon à la présence des mycorhizes. Nos résultats indiquent que les graminées tendent à bénéficier des mycorhizes sur le plan nutritif, principalement lors de la phase d'établissement (1996). Nous avons observé une augmentation de la concentration de certains éléments tels le potassium, le calcium, le fer et le zinc pour les deux graminées. Les concentrations d'azote et de cuivre ont augmenté chez le pâturin alors que, chez l'agrostide, on note surtout une augmentation du manganèse. De plus, les graminées de gazon sont probablement des plantes dont la croissance en terme de biomasse est moins sensible aux effets des mycorhizes que d'autres plantes tel que le poireau. Bien qu'à première vue, l'impact des mycorhizes tend à être faible sur les graminées de gazon, certains indices, tels que l'absence de maladie et la survie à l'hiver, suggèrent que les mycorhizes pourraient jouer un rôle à un autre niveau, notamment dans la protection des gazons face aux maladies et aux stress urbains, tel que la pollution.

1.0 Colonisation racinaire

Nos résultats sur la colonisation racinaire sont en accord avec ceux de Koske *et al.* (1997) qui relatent une grande diversité de symbiotes endomycorhiziens dans la rhizosphère de l'agrostide, principalement des espèces appartenant aux genres *Acaulospora*, *Glomus* et *Scutellospora*. Les spores indigènes identifiées lors de notre étude appartiennent aux mêmes genres que ceux identifiés par Koske *et al.* (1997) avec quelques espèces différentes. Aucune souche d'*Acaulospora* n'a été identifiée lors de l'échantillonnage aux deux sites expérimentaux mais nous avons retrouvé en plus grand nombre des spores de *Glomus* et de *Gigaspora*, notamment *Glomus fusciculatum* et *G. macrocarpum* ainsi que *Gigaspora margarita*. Il est à noter que nous avons retrouvé parmi les populations indigènes, *G. mosseae*, l'une des espèces utilisées dans notre étude. La colonisation des graminées de gazon, mise en évidence dans cette expérience, vient réfuter les hypothèses voulant que les plantes ayant des systèmes racinaires fins et des poils absorbants abondants ou que les plantes maintenues sous des régimes de fertilisation intensifs ne peuvent être colonisées par des champignons endomycorhiziens (Miller *et al.*, 1987; Smiley *et al.*, 1992). Dans notre étude, la colonisation des racines au champ a démarré très lentement, avec moins de 1 % de colonisation après six semaines de croissance. Ces résultats diffèrent de ceux de Charest *et al.* (1997) qui ont trouvé, pour les deux mêmes espèces de graminées cultivées en serre, des pourcentages de colonisation entre 26 et 43 % avec *G. mosseae*, après seulement 4 semaines de croissance en serre. À cet égard, il est possible que l'établissement de la symbiose soit plus lente au champ compte tenu des conditions climatiques, nutritionnelles, édaphiques ainsi que des interactions des mycorhizes avec la faune et la flore du milieu.

De plus, la germination et la mise en place d'un système racinaire par les graminées de gazon varient selon les espèces et les cultivars. L'agrostide et le pâturin mettent environ 9 et 12 jours, respectivement, avant d'émerger (Desjardins, 1997). Ce délai peut contribuer à augmenter le temps de rencontre entre l'inoculum et les racines des plantules de gazon. Il faut également souligner que la distribution de l'inoculum peut varier dans le sol (Allen et MacMahon, 1985) et que sa disponibilité peut influencer les probabilités d'infection des jeunes pousses et l'établissement de ces dernières au champ (Afek *et al.*, 1990).

Après seize semaines de croissance, les pourcentages de colonisation racinaire ont augmenté chez les deux graminées de gazon. Ces résultats sont en accord avec ceux observés par Stoppard *et al.* (1998, et comm. pers.) sur *Poa annua* au champ mais sont légèrement inférieurs à ceux indiqués par Charest *et al.* (1997) en serre. Connaissant l'influence de la concentration élevée de phosphore pour l'efficacité mycorhizienne (McGonigle et Fitter, 1988), les variations enregistrées entre les deux sites expérimentaux peuvent être attribuées aux concentrations de phosphore disponible plus élevées à AAC qu'à CC.

Ces résultats concordent d'ailleurs avec ceux de Rabatin (1979) qui montre qu'en présence de *G. tenuis* les pourcentages de colonisation sur une gamme de graminées de la Pennsylvanie sont plus faibles dans les sols avec de fortes concentrations de phosphore. L'ajout de fertilisant ne semble toutefois pas avoir réduit de façon significative les pourcentages de colonisation racinaire des graminées de gazon. Rilling *et al.* (1998) montrent dans une étude réalisée chez trois graminées et deux autres plantes herbacées que la fertilisation de plantes préalablement inoculées avec des champignons endomycorhiziens induit trois types de réponses soient que les pourcentages de colonisation augmentent en présence de fertilisant, qu'ils diminuent ou qu'ils demeurent inchangés.

Nos résultats indiquent que la fertilisation chimique a pu, dans certains traitements, avoir un effet inhibiteur. Ceci peut s'expliquer par le régime de fertilisation mis en place en 1996 où les parcelles fertilisées à l'engrais chimique ont reçu une dose initiale importante d'azote et de phosphore, ce qui a pu réduire dès le départ l'installation des mycorhizes. À cet égard, plusieurs études ont montré que l'ajout de phosphore réduit la colonisation racinaire (Hetrick *et al.*, 1986; Menge *et al.*, 1978). Dans un même ordre d'idée, Johnson *et al.* (1980) ont montré qu'en présence d'azote le pourcentage de colonisation diminuait chez trois types de plantes ligneuses ornementales. De plus, Johnson *et al.* (1984) ont indiqué que les plants de *Chrysanthemum marifolium* L. var. Circus, inoculés par *Glomus fasciculatum* et ayant reçu une fertilisation azotée sous forme de NO_3^- , avaient, après 12 semaines de croissance, un pourcentage de colonisation significativement plus élevé que les plantes ayant reçu de l'azote sous forme NH_4^+ . Toutefois, Charest *et al.* (1997) ont noté dans une expérience en serre que différents niveaux de phosphore n'ont pas influencé les pourcentages de colonisation racinaire du pâturin et de l'agrostide mycorhizé par *G. mosseae*.

Les pourcentages de colonisation racinaire que nous avons obtenus après seize semaines de croissance au champ ont pu également être influencés par le pH du sol. Nos résultats indiquent qu'à CC, le pourcentage de colonisation y est plus élevé qu'à AAC avec des valeurs de pH respectives de 4.7 et 5.7. Ces résultats réfutent partiellement ceux d'autres études qui montrent que, de façon générale, la colonisation par les champignons endomycorhiziens est plus faible à pH bas par rapport à un pH plus élevé (Clark, 1997; Clark et Zeto, 1996; Raju *et al.*, 1988 et Yawney *et al.*, 1982). Ainsi, la colonisation du *Liquidambar styraciflua* L. par *Gigaspora margarita* est maximale à pH 5.5 et réduite aux pH 4.5, 6.5 et 7.5, et ce quel que soit la quantité de phosphore ajouté (Yawney *et al.*, 1982).

Les effets du pH sur la colonisation varient cependant avec les espèces végétales dans la mesure où le pH influence la disponibilité de certains éléments du sol (Grawn, 1979, Heijne *et al.*, 1996). Grawn (1979) montre que chez *Guizotia abyssinica* (L.f) Cass. inoculée par *Glomus macrocarpum*, la colonisation, faible à pH 4.3, augmente à pH 5.6 et 6.5, alors que, dans les mêmes conditions, le pH n'avait aucun effet sur les pourcentages de colonisation de *Tagetes minuta* L.. Ces résultats sont en accord avec les nôtres dans la mesure où, pour une graminée de gazon et un champignon endomycorhizien particuliers, on observe des différences entre les sites.

Lors de la deuxième année de croissance, nos résultats montrent que les pourcentages de colonisation sont similaires ou légèrement plus faibles au printemps 1997 que ceux observés à l'automne 1996. Il y a donc eu très peu de perte durant la saison hivernale ou encore une reprise très rapide après la période de froid. À l'automne 1997, l'augmentation du pourcentage de colonisation racinaire indique une évolution graduelle sur deux ans et suggère que la colonisation n'a pas encore atteint un plateau comme le propose le modèle d'infection en trois étapes de Sanders *et al.* (1977).

Après seize semaines de croissance, les parcelles non inoculées ont été colonisées dans des proportions similaires à celles ayant été inoculées avec un champignon endomycorhizien. Ces résultats ne sont pas surprenants dans la mesure où l'identification des spores indigènes du sol a révélé la présence de nombreuses espèces de champignons endomycorhiziens (figure 4.0). Contrairement à d'autres études (Rhodes et Larsen, 1981; Fitter et Nichols, 1988), aucun traitement fongicide n'a été utilisé sur nos parcelles expérimentales. L'ajout de benomyl dans le sol aurait pu prévenir le développement des champignons endomycorhiziens indigènes mais sans toutefois les éliminer complètement (Fitter et Nichols, 1988).

Dans une étude sur le pois (*Pisum sativum* L.), l'ajout de bénomyl n'a retardé la colonisation des racines que d'environ trois semaines (Fitter et Nichols, 1988). Rhodes et Larsen (1981) indiquent, dans une étude réalisée sur l'agrostide, que l'ajout de fongicide au printemps réduit la colonisation des racines par les champignons endomycorhiziens alors qu'une application plus tardive en saison (soit après 16 semaines) n'a que très peu d'influence sur la colonisation des racines bien que le bénomyl soit un fongicide nocif pour les populations indigènes du sol.

L'ajout de fongicide peut également altérer de façon considérable la composition microbienne, florale et faunique du sol (West *et al.*, 1993). Or, il est bien connu que certaines bactéries et champignons du sol interagissent avec les champignons endomycorhiziens (Newsham *et al.*, 1995; Azcón *et al.*, 1976). Warnock *et al.* (1982) indiquent que l'ajout de vingt collemboles (*Folsomia candida*) par pot, contenant des poireaux inoculés avec des champignons endomycorhiziens, a fait décroître par trois fois l'absorption du phosphore et ce en brisant le réseau mycélien. Warnock *et al.* (1982) ont d'ailleurs retrouvé des fragments de mycélium dans le contenu intestinal de ces organismes. La présence de certains petits animaux et d'autres organismes tels que les vers de terre (*Lumbricidae* sp.), les collemboles (*Collembola* sp.) et quelques autres arthropodes sont des agents importants dans la dispersion des spores dans le sol (Fogel et Trappe, 1978). Des spores intactes et viables ont d'ailleurs été retrouvées dans les fèces de millepattes (Rabatin et Stinner, 1988). Certaines spores peuvent également être tuées par d'autres champignons ou certaines amibes (Sylvia et Schenk, 1983; Boyetchko et Tewari, 1991). D'un autre côté, il est démontré que les organismes de la rhizosphère peuvent jouer un rôle important dans la germination des spores.

Azcón-Aguilar *et al.* (1986) ont noté une augmentation du nombre de points d'infection par *Glomus mosseae* en présence de certaines bactéries. Le même phénomène a été observé par Mayo *et al.* (1991) en présence de *G. versiforme*. La germination des spores peut également être inhibée ou stimulée par des interactions allélochimiques entre les organismes de la rhizosphère (Tylka *et al.*, 1991).

Bien que nos données ne nous permettent pas de quantifier l'effet de la coupe régulière des graminées de gazon, il est important de s'interroger quant à son influence sur la colonisation racinaire. Les avis sur ce sujet sont partagés. Bethlenfalvay et Dakessian (1984) ont montré que la colonisation par les champignons endomycorhiziens est plus faible chez *Agropyron desertorum* L. lorsque brouté de façon intensive. Toutefois, selon d'autres études (Allen *et al.*, 1989; Wallace, 1987) sur d'autres graminées, la coupe n'a eu aucun effet sur la colonisation racinaire. Selon Bethlenfalvay et Dakessian (1984), la défoliation constante à laquelle sont soumises les plantes réduit la translocation du carbone vers les racines et les champignons, diminuant du même coup la colonisation. Cependant, nos résultats ne semblent pas indiquer ce genre de réponse.

2.0 Nutrition minérale

L'inoculation des deux graminées de gazon par les trois espèces de champignons endomycorhiziens a généré chez les plantes diverses réponses quant à la nutrition minérale. Durant la phase d'établissement, les concentrations de la plupart des minéraux dans les feuilles ont augmenté en présence des champignons endomycorhiziens.

L'augmentation des concentrations en azote et en potassium, deux éléments essentiels dans la mise en place de nouvelles semences de gazon (Turner et Hummel, 1992) et dans une moindre mesure le phosphore, se démarquaient le plus. Cependant, ces effets ont diminué ou ont pu être masqués à la seconde année de croissance une fois les parcelles bien établies.

2.1 Phosphore

Notre étude a montré que, chez les deux graminées de gazon, les concentrations de phosphore demeuraient équivalentes quel que soient les traitements mycorhiziens. À l'établissement, les concentrations de phosphore dans les feuilles des graminées étaient de 25 % supérieures à AAC qu'à CC. Les caractéristiques du sol (pH et composition minérale) sont largement responsables des différences observées entre les deux terrains. En 1996, la concentration de phosphore dans le sol était environ 10 fois plus élevée à AAC qu'à CC. Par ailleurs, la quantité de phosphore dans les feuilles des deux graminées était plus élevée dans les parcelles ayant reçu une fertilisation chimique. Plusieurs études ont montré que de nombreuses espèces végétales inoculées par les champignons endomycorhiziens ont des concentrations plus élevées de phosphore dans leurs tissus que les plantes non mycorhizées (Marschner et Dell, 1994, Subramanian et Charest, 1997). Dans nos expériences, il est fort probable que cette différence ne soit attribuable qu'au régime de fertilisation mis de l'avant en 1996. En effet, il est à noter que bien que toutes les parcelles aient reçu une quantité équivalente de fertilisant au cours de la saison, celles fertilisées avec de l'engrais chimique ont reçu une dose de phosphore plus importante au début de l'été et une seconde l'étant beaucoup moins à l'automne.

En 1997, alors que les fertilisations chimiques et naturelles ont été réparties tout au long de la saison, aucune différence n'a été observée à l'intérieur de chaque site entre les traitements mycorhiziens non fertilisés et ceux qui ont été fertilisés. On peut donc s'interroger à savoir si les mycorhizes ont réellement joué ou non un rôle compensateur au niveau de la nutrition du gazon. Cependant, la prudence est de rigueur dans cette interprétation car même les parcelles non inoculées étaient mycorhizées par des espèces indigènes. Il est donc hasardeux de déterminer si oui ou non la tendance observée correspond vraiment à un effet mycorhize.

Chez l'agrostide, les concentrations de phosphore dans les feuilles variaient entre les deux sites dans une proportion similaire à celles du pâturin, soit de 26 %. À l'établissement de l'agrostide, la présence de *G. mosseae* et de *G. intraradices* dans le sol tendait à accroître la concentration de phosphore dans les feuilles à AAC. À CC, les plus grandes concentrations de phosphore étaient retrouvées dans les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et celles sans inoculum.

En 1997, deuxième année de croissance, les concentrations de phosphore dans les feuilles étaient encore une fois plus élevées en présence de *G. mosseae* ou de *G. intraradices*. Cependant, la concentration de phosphore dans les feuilles d'agrostide n'a pas varié entre les traitements mycorhiziens. Durant les deux années de culture au champ, l'impact des mycorhizes sur l'absorption de phosphore demeure somme toute limitée. Selon Fitter (1988), les niveaux de phosphore nécessaires pour la croissance sont variables d'une plante à l'autre et souvent variables dans le temps. Mehall *et al.* (1983) indiquent, qu'entre les cultivars de pâturin, il existe des variations importantes dans les concentrations de phosphore et de potassium durant la période de croissance.

L'absorption du phosphore peut varier entre deux cultivars d'une même espèce (Cisar *et al.*, 1989) ainsi qu'entre les espèces de graminées de gazon (Liu *et al.*, 1995). L'habileté des graminées de gazon à utiliser le phosphore du sol est tributaire, dès le départ, de propriétés génétiques. D'ailleurs, plusieurs des cultivars actuellement sur le marché sont présélectionnés pour leur capacité à croître dans des environnements spécifiques (à entretien faible ou élevé, ombre ou lumière) en plus de résister à certains pathogènes. La quantité de phosphore disponible au champ est souvent suffisante pour combler les besoins de la plante réduisant d'autant l'impact des champignons endomycorhiziens (McGonigle et Fitter, 1988). Enfin, il est important de rappeler que, durant la première année, toutes les parcelles avaient été fertilisées. Ce supplément de phosphore apporté par la fertilisation pourrait avoir été suffisant pour combler les carences du sol. Si tel est le cas, l'impact de la mycorhization est alors difficilement quantifiable et probablement masqué par l'effet fertilisant souvent plus prononcé.

2.2 Azote

Notre étude a montré qu'à l'établissement des deux graminées, les concentrations d'azote dans les feuilles différaient en fonction des sites. Chez le pâturin, les concentrations d'azote dans les feuilles étaient d'environ 30 % plus élevées à CC qu'à AAC. Pour l'agrostide, on a observé le phénomène inverse. Ces différences pourraient être reliées aux différences de pH entre les sites. On se rappellera qu'en 1996, le pH de CC était de 4.7 et celui d'AAC de 5.7. Les résultats obtenus pour le pâturin sont similaires à ceux obtenus par Clark et Zeto (1996) pour le maïs. Ces auteurs ont mis en évidence que la concentration d'azote dans les feuilles est plus élevée à un pH acide qu'à un pH alcalin.

Il est cependant plus difficile d'expliquer pourquoi on observe la relation inverse pour l'agrostide. De plus, il semble que les concentrations d'azote dans les feuilles soient supérieures dans les parcelles ayant reçu une fertilisation chimique par rapport à celles ayant été fertilisées avec un engrais naturel. Starr et deRoo (1981), ont montré, en utilisant du sulfate d'ammonium radioactif, qu'environ 30 % de l'azote ajouté se retrouve dans le gazon et qu'entre 19 à 27 % sont emprisonnés dans le feutre, une couche de matière en décomposition située juste au-dessus des racines. Cette couche est le site d'une activité intense de dégradation et protège les racines contre le gel. Hummel et Waddington (1981) ont montré chez le pâturin que la source d'azote peut influencer considérablement son absorption. Ainsi, la quantité d'azote dosé dans les rognures de gazon ayant reçu une fertilisation avec engrais à relâchement lent ou rapide peut varier de 15 à 52 % de la dose appliquée. Chez l'agrostide, McCrimmon *et al.* (1992) montrent que les plantes ayant reçu une fertilisation azotée sous forme de NO_3^- avaient une meilleure croissance des racines et de la tige que celles ayant reçu du NH_4^+ . De plus, McCrimmon *et al.* (1992) ont observé que la source d'azote influence la prise de certains macro et microéléments. Ainsi les plantes ayant reçu une fertilisation 50:50, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ accumulent dans leurs tissus plus de micronutriments que celles ayant reçu l'azote que sous la forme unique de NH_4^+ . Enfin, d'autres travaux de Waddington *et al.* (1978) montrent que la quantité d'azote dans les feuilles est également variable au cours de la saison de croissance.

D'autres facteurs peuvent avoir influencé la concentration d'azote dans les feuilles. Ainsi, une partie importante de l'azote ajouté sous forme de fertilisant est perdue lors de la coupe du gazon. Une autre partie est aussi perdue dans l'atmosphère car les concentrations d'uréase dans le feutre sont suffisantes pour provoquer la volatilisation de l'urée (Torello et Wehner, 1983).

Enfin, le plus grand défi de la fertilisation azotée est de réduire les pertes par lessivage. À cet égard, on peut souligner, pour l'année 1996, que les précipitations abondantes (Annexe 2) du mois d'août, où 74.8 mm de pluie sont tombés en une seule journée, ont pu contribuer à lessiver les fertilisants présents dans le sol. Ceci pourrait en partie expliquer les différences de concentrations en azote à l'automne 1996. De plus, on peut remarquer que l'année 1997 a été beaucoup plus sèche que celle de 1996. Cette sécheresse a pu en partie rendre les ions nitrates moins disponibles puisque leur mobilité dans le sol est très limitée dans les conditions de sécheresse (Azcón *et al.*, 1996). Les travaux de Subramanian et Charest (1998) ont cependant montré que les mycorhizes jouent un rôle important dans l'assimilation de l'azote chez le maïs en période de sécheresse.

Chez le pâturin, la concentration d'azote dans les feuilles était plus élevée dans les parcelles inoculées par *Glomus intraradices* pour l'année 1996 à AAC. Ces résultats sont en accord avec ceux de Subramanian et Charest (1998) qui ont également trouvé une augmentation de la concentration d'azote dans les feuilles de maïs inoculé avec *G. intraradices*. À CC, ce sont les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* ou les parcelles non inoculées qui avaient des concentrations d'azote plus élevées dans leurs feuilles à l'automne 1996.

Toutes ces observations semblent abonder dans le même sens que les travaux de Johansen *et al.* (1993) et de Tobar *et al.* (1994) qui, grâce à des marqueurs radioactifs, ont permis de mettre en évidence le rôle du mycélium extraradiculaire dans la prise de l'azote. Des travaux sur *Agropyron repens* L. montrent qu'il y a une prise d'azote par le mycélium endomycorhizien et que la forme NH_4^+ , plus immobile que le NO_3^- , a été privilégiée (Marschner et Dell, 1994).

Cependant, à la lumière des résultats obtenus dans cette recherche, l'effet de la colonisation mycorhizienne au champ est somme toute limitée puisque, lorsque non fertilisées, les parcelles ont des concentrations plus faibles d'azote dans leurs feuilles. Ceci a été notamment le cas pour l'agrostide à l'automne 1997.

2.3 Potassium

Nos résultats indiquent, pour le pâturin, une plus grande concentration de potassium dans les feuilles à CC par rapport à AAC. Ceci peut s'expliquer par une différence de pH entre les deux sites. Clark et Zeto (1996) ainsi que Clark (1997) ont noté à pH acide, une augmentation de la concentration de potassium dans les feuilles de maïs en présence de mycorhizes. D'ailleurs, pour les deux espèces de graminées de gazon, on observe une augmentation de la concentration de potassium dans les feuilles en présence de mycorhizes lors de la première année de croissance. À CC, les concentrations de potassium étaient les plus élevées en présence de *Glomus mosseae* ou de *G. intraradices* alors qu'à AAC ce sont les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et les parcelles non inoculées qui montrent les plus hautes concentrations de potassium. On remarque qu'il existe une certaine spécificité de l'effet des mycorhizes en fonction des caractéristiques du sol. Sieverding (1991) montre que certaines espèces endomycorhiziennes sont présentes que dans certaines gammes de pH. C'est le cas de *G. aggregatum* présent dans les sols de pH acide entre 3.8 et 6.0 alors que *G. mosseae* se retrouve principalement dans les sols dont les pH sont supérieurs à 5.5. Cette 'spécificité' peut être intéressante pour orienter le choix d'un inoculum pour un type de sol particulier.

De plus, il est intéressant de noter que l'absorption de potassium par les graminées de gazon se fait principalement à l'établissement des parcelles. Ces résultats abondent dans le même sens que ceux de Marschner et Dell (1994) qui estiment, en utilisant la technique de compartiments, qu'environ 10 % du potassium chez *Agropyron repens* L. est attribuable à une absorption et un transport du réseau mycélien vers la plante. La prise de potassium par les mycorhizes et son accumulation dans les tissus pourraient ainsi favoriser la croissance des racines et la production de rhizomes tel que mentionné par Markland *et al.* (1969). On remarque, cependant, durant la deuxième année de croissance, qu'il n'y pas de différence dans les concentrations de potassium entre les traitements mycorhiziens. Seules des différences sont observables entre les parcelles fertilisées avec engrais naturel ou chimique par rapport à celles qui n'ont pas été fertilisées. Ceci montre bien l'importance de l'apport de potassium pour une croissance adéquate du gazon. Cependant, on est à même de s'interroger sur la quasi absence d'un effet mycorhizien durant la deuxième année de croissance. On peut supposer qu'une fois les gazons établis et le système racinaire bien ancré, le maintien d'une colonisation racinaire par l'ensemble de la population endomycorhizienne indigène du sol suffit à combler les besoins en potassium du réseau végétal.

Enfin, il est intéressant de mentionner que la concentration de potassium dans les tissus ne dépend pas uniquement de sa propre disponibilité dans le sol mais également de celle de deux autres macroéléments soient le magnésium et le calcium (Ouimet *et al.*, 1996). Waddington *et al.* (1978) ont observé chez l'agrostide, des interactions similaires à celles observées par Ouimet *et al.* (1996) à savoir que l'augmentation de phosphore et de potassium dans les feuilles fait baisser la concentration de magnésium.

Cette dernière étude indique que lorsque la concentration de potassium augmente, les concentrations de calcium, de magnésium et de soufre ont tendance à décroître. Une concentration excessive de potassium peut d'ailleurs inhiber la prise de ces éléments par les graminées de gazon (Turgeon, 1991). Il existe également une interaction intéressante entre le phosphore et le potassium. Les travaux de Furlan et Bernier-Cardou (1989) indiquent que la combinaison phosphore/potassium est essentielle pour faire augmenter la biomasse et la colonisation par les champignons endomycorhiziens chez *Allium cepa* L.. Ces travaux et ceux de Ouimet *et al.* (1996) suggèrent qu'il existe une combinaison nutritionnelle optimale et qu'il doit exister un équilibre entre les cations du sol pour favoriser le gain de biomasse et l'établissement de la symbiose endomycorhizienne.

2.4 Les macroéléments Ca, Mg et S

Des concentrations accrues de calcium ont été observées chez les gazons mycorhizés. Il a été démontré par Rhodes et Gerdemann (1978), à l'aide d'isotope ^{45}Ca , un transport actif de calcium via le mycélium jusqu'à la plante hôte. Nos résultats suggèrent qu'il existe une certaine spécificité entre le symbiote fongique et son effet sur la prise de nutriments par la plante. La concentration accrue de calcium chez les gazons cultivés sur le site d'AAC peut s'expliquer par la composition même du sol qui a une concentration légèrement plus importante de calcium disponible à AAC. De plus, la différence de pH entre les deux sites pourrait être un facteur à considérer dans la mesure où des travaux réalisés par Xie et Cummings (1995) sur le pêcher indiquent que les concentrations de calcium sont plus grandes dans les tissus lorsque le pH est plus élevé (pH 6.2 par rapport à 5.6).

Ouimet *et al.* (1996) soulignent à cet égard que la concentration de calcium dans les feuilles d'érables, inoculés avec des champignons endomycorhiziens, dépend principalement de sa disponibilité dans le sol. De plus, Clark (1997) indique que dans des sols plus acides ($\text{pH} < 5.5$), on observe généralement une carence en calcium, ce qui supporterait les résultats obtenus ici. Enfin, nos résultats sur le calcium sont en accord avec ceux de Subramanian et Charest (1997) qui ont aussi observé une augmentation de la concentration de calcium dans les plants de maïs mycorhizés en conditions de déficit hydrique.

Les concentrations de magnésium ne variaient pas entre les traitements endomycorhiziens. Ceci est en accord avec les travaux de Kothari *et al.* (1990) qui n'ont pas trouvé d'absorption accrue de magnésium par le réseau mycélien chez le maïs. Pour les deux graminées de gazon, la concentration de magnésium est plus élevée à AAC qu'à CC. Cette différence peut être mise en relation avec celle mesurée dans le sol, avec 40 % de plus de magnésium à AAC. De plus, Clark (1997) indique que, de façon générale, les sols à pH acide ($\text{pH} < 5.5$) sont déficients en magnésium. Ceci expliquerait en partie pourquoi le site de CC a une concentration plus faible de magnésium disponible. Cependant, les travaux de Xie et Cummings (1995) montrent que l'augmentation de pH de 5.6 à 6.2 a très peu d'effet sur la concentration de magnésium dans les tissus. Chez les deux graminées de gazon, la concentration de magnésium était plus élevée dans les parcelles ayant reçu une fertilisation à engrais naturel par rapport à celles avec engrais chimique. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'engrais naturel d'Ecoval contient 2 % de plus de magnésium dans sa formulation que l'engrais chimique.

Dans le cas du soufre, on observe des concentrations supérieures dans les feuilles des deux graminées dans les parcelles qui ont reçu une fertilisation avec engrais naturel en 1996.

À l'automne 1996, on observait une différence de 32 % entre les sites avec une concentration beaucoup plus élevée à AAC. De plus, la concentration de soufre était supérieure dans les traitements ayant été inoculés, plus particulièrement avec *G. mosseae* et *G. intraradices*, respectivement chez le pâturin et l'agrostide. Ces résultats sont en accord avec ceux de Gray et Gerdemann (1973) qui, en utilisant du soufre radiactif (^{35}S), ont mis en évidence l'absorption et le transport de cet élément par le mycélium jusqu'à la plante hôte, chez le trèfle rouge. Dans notre étude en 1997, ces différences vont complètement disparaître.

2.5 Les microéléments Fe, Cu, Zn et Mn

La présence des champignons endomycorhiziens dans le sol a eu un effet sur la concentration de certains microéléments lors de l'établissement des graminées (1ère année) mais peu d'impact lors de la deuxième année de croissance.

Les concentrations plus élevées de fer dans les parcelles inoculées avec *G. aggregatum* et les parcelles non inoculées indiquent qu'il existe une certaine spécificité au niveau de l'action des espèces endomycorhiziennes. De plus, les différences dans les concentrations de fer dans les feuilles entre les deux sites s'estompent au fur et à mesure que les concentrations de fer dans le sol s'uniformisent. Les différences entre les traitements s'estompent en 1997.

Dans le cas du cuivre, nos résultats indiquent une différence significative entre les sites. Ce résultat est prévisible dans la mesure où il existe dès le départ une différence importante au niveau de la concentration disponible de cuivre entre les deux sites. Cette différence peut être due à l'application massive de pesticides et d'insecticides au site d'AAC depuis les dernières années.

À l'automne 1996, sur le site d'AAC, les pâturins inoculés avec *G. intraradices* et *G. mosseae* ont vu leur taux de cuivre foliaire dans les feuilles doubler. Ces résultats sont en accord avec ceux de Li *et al.* (1991) et de Sylvia *et al.* (1993) qui ont montré, respectivement chez le trèfle et chez le maïs, l'absorption de cuivre par le réseau d'hyphes. Ceci montre que les endomycorhizes peuvent favoriser l'absorption du cuivre mais ce phénomène demeure relativement isolé puisque cet effet n'a pas été répété en 1997 et ne s'est pas manifesté chez l'agrostide.

Pour le zinc, on a observé, à l'établissement des parcelles, une spécificité d'action des champignons endomycorhiziens. Chez les deux graminées, les concentrations de zinc étaient plus élevées à AAC en présence de *G. mosseae* et de *G. intraradices*, alors qu'à CC c'était en présence de *G. aggregatum* ou sans inoculum. Ces observations abondent dans le même sens que pour plusieurs autres minéraux étudiés lors de cette recherche. Les résultats sur le zinc, pour les deux graminées, correspondent à ceux d'autres études sur d'autres espèces végétales, notamment chez le maïs (Kothari *et al.*, 1991; Evans et Miller, 1988). De plus, en 1997, on remarque que, chez l'agrostide, les parcelles fertilisées ont une plus grande concentration de zinc que celles non fertilisées. Ceci laisse croire que les champignons n'ont pas vraiment aidé à l'absorption du zinc et que l'apport de zinc via la fertilisation est probablement suffisant pour combler les besoins de la plante.

Les concentrations 2 à 3 fois plus élevées en manganèse du site de CC coïncident avec une concentration foliaire supérieure. Il semble, toutefois, que l'inoculation avec *G. aggregatum* et les témoins sans inoculum mais mycorhizés par les souches indigènes aient favorisé l'absorption du manganèse chez les deux graminées de gazon.

McCrimmon *et al.* (1992) soulignent que l'absorption des micronutriments peut être influencée par la forme d'azote utilisée. Il semble que le fer, le zinc et le cuivre soient particulièrement sensibles à la source d'azote alors que le manganèse ne l'est pas.

3.0 Ratio carbone/azote

Les ratios carbone/azote chez les deux graminées de gazon n'étaient pas affectés par la présence des champignons endomycorhiziens mais ils l'étaient plutôt par la fertilisation. En effet, on remarque que les plantes, en 1997, qui n'avaient reçu aucune fertilisation ont des ratios C/N plus bas que ceux des parcelles fertilisées. Les graminées non fertilisées ont pu manquer d'éléments essentiels pour leur croissance. De plus, comme le sol d'AAC est plus riche en éléments minéraux, les plantes à ce site ont aussi des ratios C/N plus élevés par rapport à CC. La coupe régulière des parcelles a pu aussi jouer un rôle dans le maintien d'un ratio C/N constant entre les traitements. En effet, la défoliation constante due à la coupe peut forcer la plante à aller chercher le maximum de carbone pour la repousse de ses tissus végétaux (Bethlenfalvay et Dakessian, 1984).

4.0 Taux de croissance et hauteur cumulée

À AAC, les taux de croissance plus élevés observés lors de la première année reflètent sa richesse en éléments nutritifs et son pH plus favorable à l'établissement du gazon. La fertilisation chimique a entraîné un taux de croissance supérieur comparé à la fertilisation naturelle.

Bien que toutes les parcelles aient reçu une dose saisonnière totale identique de fertilisants, la prise de mesure automnale sur les parcelles fertilisées chimiquement a été effectuée avant l'application totale de fertilisants. La nature même des fertilisants ainsi que leur solubilité respective dans le sol, influencent grandement la rapidité de la prise de nutriments par la plante. La croissance des gazons a été nettement influencée par l'intensité et la fréquence des fertilisations. Les parcelles avec fertilisation naturelle avaient reçu la même dose de N-P-K que celles avec fertilisation chimique mais en plusieurs applications tout au long de l'été. Lors de la prise de mesure à l'automne, ces parcelles avaient été fertilisées régulièrement tout au long de l'été alors que les parcelles avec fertilisation chimique n'avaient pas encore reçu leur dose pour l'automne. Ceci expliquerait la différence observée basée sur les régimes de fertilisation.

À l'automne 1996, les taux de croissance chez l'agrostide comme chez le pâturin ont augmenté en présence de *G. mosseae* et de *G. aggregatum*. Ces observations concordent avec celles de Charest *et al.* (1997) sur les mêmes graminées, par Subramanian et Charest (1997) sur le maïs et par Dalpé *et al.* (1996) sur la chicorée. Pour l'année 1997, et plus particulièrement à l'automne, on observe encore une fois des taux de croissance supérieurs à AAC qu'à CC. De plus, les parcelles qui n'avaient reçu aucune fertilisation en 1997 avaient des taux de croissance plus faibles que les parcelles fertilisées. En l'absence de fertilisation, la plante doit puiser les éléments nécessaires uniquement dans le sol et cette déficience ralentit sa croissance. Les résultats obtenus pour la hauteur cumulée chez les deux graminées de gazon abondent dans le même sens que ceux observés pour le taux de croissance. Les parcelles non fertilisées ont eu une croissance moins importante que celles qui avaient été fertilisées.

5.0 Observations visuelles et chlorophylle

Les observations visuelles enregistrées durant l'été 1997 montrent clairement que les parcelles non fertilisées étaient carencées par rapport aux parcelles fertilisées. Un apport réduit d'azote a tendance à faire jaunir les feuilles de la plupart des espèces végétales et s'accompagne d'une baisse des concentrations de chlorophylle. De plus, la mycorhization n'influence nullement les concentrations de chlorophylle dans les feuilles et cette observation concorde avec celle de Charest *et al.* (1997) pour les mêmes graminées de gazon cultivées en serre. L'influence des mycorhizes sur la composition chlorophyllienne dépend vraisemblablement du partenaire végétal car une augmentation de la chlorophylle totale a été observée dans les feuilles de *Cichorium intybus* L. lorsque mycorhizé (Dalpé *et al.*, 1996). Chiwon *et al.* (1996) ont également montré, dans une étude sur le pâturin, que les concentrations de chlorophylle totale et plus particulièrement de chlorophylle b, dans les feuilles, augmentent en fonction de la concentration de fer disponible. Cette relation vient du fait que le fer est une composante principale du cytochrome (b₆/f) et du groupement prosthétique FeS de la ferrédoxine dans les thylacoïdes des chloroplastes. Le fer agit aussi comme cofacteur enzymatique dans la synthèse de la chlorophylle (Chiwon *et al.*, 1996).

6.0 Dynamique des communautés

Nos résultats semblent montrer, dans l'ensemble, un effet plus marqué des champignons endomycorhiziens durant la phase d'établissement (saison 1996) que dans la phase de croissance et de maintien (saison 1997) chez les deux graminées de gazon.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées afin d'expliquer cette tendance. Les expériences de Gange *et al.* (1990) montrent qu'une réduction de la colonisation racinaire par les champignons endomycorhiziens a un effet négatif sur la diversité des espèces végétales qui se joue principalement au niveau de l'établissement des cultures et des semences. La colonisation mycorhizienne, durant la phase d'établissement, permettrait aux jeunes pousses de faire face aux problèmes de compétition et d'allocation des ressources et ainsi être bénéfique à la plante (St-John et Coleman, 1983). Plusieurs études mentionnent que les champignons endomycorhiziens sont peu efficaces lorsqu'en association avec des graminées de gazon. Grime *et al.* (1987) ont obtenu une réduction de la biomasse chez *Festuca ovina* L., une graminée de gazon, en présence d'inoculum et ce malgré le fait que son système racinaire soit largement colonisé. Fitter (1991) a d'ailleurs estimé que le maintien de la symbiose par la plante hôte lui coûte 10 % de son énergie en hydrates de carbone. Ce coût peut nécessairement contribuer à la réduction de la biomasse de la plante en symbiose. La présence de l'inoculum, selon Grime *et al.* (1987), jouerait un rôle dans la détermination des espèces végétales en influençant les capacités des plantes durant la phase d'établissement.

Une fois établies, les graminées de gazon seraient moins dépendantes des champignons endomycorhiziens. Hartnett *et al.* (1994) indiquent que la croissance des graminées de type C₃ est peu influencée par la présence de champignons endomycorhiziens. Dans une étude comparative entre les graminées adaptées au froid ou au chaud, Hartnett *et al.* (1994) ont montré que les champignons endomycorhiziens réduisent la floraison mais augmentent l'émergence des semences chez les graminées de type froid. De plus, Hetrick (1991) a montré que les graminées de gazon de type chaud sont plus dépendantes des champignons endomycorhiziens que celles de type froid. Cette différence serait basée sur l'organisation du système racinaire.

Grime *et al.* (1987) indiquent une grande variation dans la distribution, la géométrie et l'étendue du système racinaire selon les espèces. Dans notre étude, la présence des champignons endomycorhiziens n'a pas influencé l'architecture racinaire des graminées de gazon. La longueur du système racinaire était sensiblement la même dans tous les traitements. Cependant, à CC, les racines d'agrostide, en présence de *G. intraradices* ou de *G. mosseae* avaient un diamètre plus grand que celui des autres traitements. Ces observations sont en accord avec plusieurs autres études qui ont indiqué que les plantes à racines fines et à poils absorbants abondants, comme les deux graminées utilisées pour cette étude, sont plus efficaces dans l'absorption de leurs nutriments. Cette organisation racinaire réduirait considérablement l'avantage d'une colonisation endomycorhizienne (Francis et Read, 1994; Hetrick, 1991; Hetrick *et al.*, 1988).

Les graminées de gazon sont des plantes qui croissent à une très forte densité. Plusieurs études ont montré que les effets positifs sur la croissance associés à la présence des mycorhizes décroissent avec l'augmentation de la densité des plantes (Sanders *et al.*, 1995; Johnson *et al.*, 1997). Ce phénomène serait relié au fait qu'à densité élevée les racines colonisées par des champignons endomycorhiziens sont en compétition pour les ressources et que, bien souvent, les zones de déplétion autour des racines se chevauchent comparativement à des plantes cultivées individuellement (Johnson *et al.*, 1997; Allsop et Stock, 1992). Allsop et Stock (1992), dans une étude sur deux plantes de la famille des *Fabaceae*, suggèrent que le coût associé au maintien de la symbiose s'accroît avec l'augmentation de la densité alors que les bénéfices retirés eux décroissent. Selon Addicott (1986), l'effet mutualistique entre le champignon et la plante peut exister au niveau individuel sans toutefois affecter l'équilibre de l'ensemble de la communauté.

Bien que les effets des champignons endomycorhiziens soient plus marqués chez les plantes cultivées à faible densité, Allsop et Stock (1992) font ressortir que leur impact sur les communautés est probablement complexe. Les aspects de viabilité, santé végétale et résistance au stress, notamment en milieu urbain, ne s'évaluent pas aussi simplement que les réponses de nutrition et de biomasse.

7.0 Mycorhization de plantules isolées

Ces tests de fertilisation et de mycorhization sur plantes isolées ont été entrepris afin d'éliminer le facteur densité des paramètres étudiés. D'après nos résultats, les champignons endomycorhiziens ont très peu d'impact sur la croissance des plantules isolées de graminées de gazon. Il est important de souligner que la colonisation endomycorhizienne des plantules en serre était à moins de 5 % après 16 semaines de croissance. La concentration élevée de phosphore dans le sol ainsi que l'ajout de fertilisant ont pu contrer la colonisation racinaire (Rabatin, 1979; Hetrick *et al.*, 1986 et Menge *et al.*, 1978). Il est également possible que les inoculats, maintenus au froid pendant 12 mois, aient perdu de leur viabilité.

Pour tous les paramètres mesurés lors de cette expérience en serre, on observe une très forte influence des fertilisants. Il est aussi intéressant de noter qu'il n'y avait aucune différence entre les plantules fertilisées avec engrais chimique ou naturel. Ainsi, il semble que les deux types de fertilisants soient comparables dans leurs effets sur les plantules de gazon. L'absence de fertilisation a grandement stimulé la phase racinaire par rapport à celle des feuilles.

On peut comprendre ce phénomène dans la mesure où la plantule qui ne reçoit pas de fertilisant supplémentaire doit aller chercher les éléments nutritifs essentiels à sa croissance en augmentant la surface d'échange au niveau de ses racines. La croissance cumulée chez le pâturin ne variait pas d'un traitement à l'autre. Les plantules de l'agrostide non fertilisées avaient une croissance cumulée plus faible que celle des plantules fertilisées.

9.0 Conclusion générale

La colonisation mycorhizienne a surtout eu un impact sur la physiologie (nutrition et croissance) des graminées de gazon à la phase d'établissement. Le fait que ces graminées croissent et vivent en population dense et homogène peut masquer les effets de la colonisation mycorhizienne, surtout à la deuxième année (1997). De cette étude, il ressort que les espèces fongiques mycorhiziennes ont une certaine spécificité d'action. *Glomus intraradices* et *G. mosseae* ont eu des effets similaires alors que *G. aggregatum* se comparait au témoin mycorhizé par des espèces indigènes.

Les recherches impliquant les mycorhizes et les graminées de gazon en sont à leurs premiers développements et suscitent de plus en plus d'intérêt. Il est essentiel d'ouvrir de nouveaux horizons de recherche dans ce domaine. Les graminées de gazon constituent un modèle en soi pour la recherche sur les mycorhizes dans la mesure où elles forment une communauté relativement dense et homogène.

La composition du gazon fait de milliers de plantules individuelles côte à côte introduit un facteur supplémentaire dans l'analyse des effets des champignons endomycorhiziens sur les plantes.

La gestion des graminées de gazon, son entretien régulier (coupe, fertilisation...) et sa persistance à l'hiver en font un sujet intéressant pour l'étude des endomycorhizes dans des systèmes complexes et vivaces.

À la lumière des résultats obtenus dans cette étude, il me semble essentiel de poursuivre les recherches en orientant les objectifs vers une meilleure compréhension du rôle des mycorhizes dans la lutte contre certains pathogènes et leurs effets à long terme sur les populations de graminées de gazon. De plus, il m'apparaît intéressant de voir le rôle possible des champignons endomycorhiziens dans la survie des graminées de gazon à l'hiver et leur impact possible dans la réduction des pesticides, herbicides et fongicides pour le maintien d'un environnement urbain sain.

Il est essentiel de poursuivre ce type de recherche dans les conditions naturelles même si cela occasionne des difficultés supplémentaires dans l'interprétation et la validation des résultats. Certes, l'utilisation des mycorhizes en association avec les graminées de gazon requiert encore beaucoup d'années de recherche mais la mise en évidence de leur efficacité et de leur impact à court et long termes pourrait conduire à des transformations importantes dans la gestion et l'entretien des pelouses.

Références

- Addicott, J.F., 1986, On the population consequences of mutualism. Dans Diamond, J. et Case, T.J. (éds), *Community Ecology*, Harper and Row, New York, pp 425-436.
- Afek, U., Rinadelli, E., Menge, J.A., Johnson, E.L.V. et Pond, E., 1990, Mycorrhizal species, root age and position of mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **115**: 938-942.
- Alexander, M., 1965, Most-Probable-Number Method for Microbial Populations. Dans *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, éd. Black, C.A., American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, USA pp 1467-1472.
- Allen, M.F. et MacHanon, J.A., 1985, Importance of disturbance on cold desert fungi: comparative microscale patterns. *Pedobiologia* **28**: 215-224.
- Allen, M.F., Richards, J.H. et Busso, C.A., 1989, Influence of clipping and soil water status on vesicular-mycorrhizae on two semi-arid tussock grasses. *Biol. Fertil. Soils* **8**: 285-289.
- Allsop, N. et Stock, W.D., 1992, Density dependent interactions between VA mycorrhizal fungi and even-aged seedlings of two perennial Fabaceae species. *Oecologia* **91**: 281-287.
- Anderson, D.L. and Henderson, L.J., 1986, Sealed chamber digestion for nutrient analysis. *Agron. J.* **78**: 937-939
- Augé, R.M., Duan, X., Ebel, R.C. et Stodola, A.J.W., 1994, Nonhydraulic signalling in soil drying in mycorrhizal maize plants. *Planta* **193**: 74-82.
- Azcón-Aguilar, C., Diaz-Rodriguez, R.M. et Barea, J.M., 1986, Effects of soil microorganisms on spore germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **86**: 337-340.
- Azcón-Aguilar, C., Alba, C., Montilla, M. et Barea, J.M., 1993, Isotopic (^{15}N) evidence of the use of less available N forms by VA mycorrhizas. *Symbiosis* **15**: 39-48.
- Azcón, R., Barea, J.M. et Hayman, D.S., 1976, Utilisation of rock phosphate in alkaline soils by plant inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilising bacteria. *Soil Biol. and Bioch.* **8**: 135-138.
- Azcón, R., Gómez, M. et Tobar, R., 1996, Physiological and nutritional responses by *Lactuca sativa* L. to nitrogen sources and mycorrhizal fungi under drought conditions. *Biol. Fertil. Soil*, **22**: 156-161.

- Benhamou, N., Fortin, J.A., Hamel, C., St-Arnaud, M. et Shatilla, A., 1994, Resistance responses of mycorrhizal Ri T-DNA transformed carrot roots to infection by *Fusarium oxysporum* f.sp. *chrysanthemi*. *Phytopathology* **84**: 958-968.
- Bethlenfalvay, G.J. et Dakessian, S., 1984, Grazing effects on mycorrhizal colonization and floristic composition of the vegetation on a semiarid range in Northern Nevada. *J. Range Manage* **37**: 312-316.
- Boyetchlo, S.M. et Tewari, J.P., 1991, Parasitism of spores of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus dimorphicum*. *Phytoprotection* **72**: 27-32.
- Brauen, S.E., Goss, R.L., Gould, C.J. et Orton, S.P., 1975, The effects of sulphur in combinations with nitrogen, phosphorous and potassium on color and *Fusarium* patchdisease of *Agrostis* putting green turf. *J. Sports Turf. Res. Inst.* **51**: 83-91.
- Bruinsma, J., 1963, The quantitative analysis of chlorophyll a and b in plants extracts. *Photochem. Photobiol.* **72**: 241-249
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. et Malajczuk, N., 1996, Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. *ACIAR Monograph* 32, 374p.
- Carleton, R.M., 1971, Your lawn. How to make it and keep it. 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Charest, C.C., Clark, G. et Dalpé, Y., 1997, The impact of arbuscular mycorrhizae and phosphorous status on growth of two turfgrass species. *Journal of Turfgrass Management*, **2** (3): 1-14.
- Chiwon, W. L., Jackson, M.B., Duysen, M.E., Freeman, T.P. et Self, J.R., 1996, Induced Micronutrient Toxicity in 'Touchdown' Kentucky Bluegrass. *Crop Sci.* **36**: 705-712.
- Christians, N.E., Martin, D.P. et Wilkinson, J.F., 1979, Nitrogen, phosphorous and potassium effects on quality and growth of Kentucky Bluegrass and Creeping Bentgrass. *Agron. J.* **71**: 564-567.
- Cisar, J.L., Hull, R.J. et Duff, D. T., 1989, Ion uptake kinetics of cool season turfgrass. pp. 233-235 dans H. Takatoch (éd.), *Proceedings 6th International Turfgrass Research Conference, 31 July - 5 August 1989, Tokyo, Japan. International Turfgrass Society and Japan Society Turfgrass Science, Tokyo, Japan.*
- Clark, R.B., 1997, Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. *Plant and Soil* **192**: 15-22.

- Clark, R.B. et Zeto, S.K., 1996, Growth and root colonization of mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biol. Biochem.* **28**: 1505-1511.
- Cooper, K.M. et Tinker, D.B., 1978, Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. II-Uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. *New Phytol.* **81**: 43-52.
- Crowley, D.E. et Luster, D.G. Eds, CRC Press, Boca Raton, FL, pp 93-105.
- Dalpe, Y., 1985a, *Glomus mosseae*, Fungi canadensis no.300.
- Dalpe, Y., 1985b, *Glomus aggregatum*, Fungi canadensis no.299.
- Dalpe, Y., 1995, Systématique des endomycorhizes à arbuscules: de la mycopaléontologie à la biochimie. Dans Fortin, J.A, Charest, C. et Piché, Y. (éds), La symbiose mycorrhizienne-État des connaissances, édition Orbis, 195p.
- Dalpe, Y., Charest, C. et Mitrow, G., 1996, Mycorrhizal dependency of radicchio (*Cichorium intybus* L.) and the growth impact of effective mycorrhizal partnership. Dans Azcón-Aguilar, C. et Barea, J.M. (éds), Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development. EUR 16728, pp310-313.
- Deal, E.D. et Engel, R.E., 1965, Iron, manganese, boron and zinc : effects on growth of Merion Kentucky Bluegrass, *Agron. J.* **57**:533-555.
- Desjardins, Y., 1997, Gestion et entretien des gazons, PTT-20261, Notes de cours, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval, 418p.
- Emmons, R., 1984, Turfgrass science and management. Delmar Publications Inc., Albany, NY, pp 3-6.
- Evans, D.G. et Miller, M.H., 1988, Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil induced reduction of nutrient absorption in maize I-Causal relations. *New Phytol.* **110**: 67-74.
- Fitter, A.H., 1988, Water relations of red clover *Trifolium pratense* L. as affected by VA mycorrhizal infection and phosphorous supply before and during drought. *J. Exp.Bot.* **39**: 595-604.
- Fitter, A.H. et Nichols, R., 1988, The use of benomyl to control infection by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* **110**: 201-206.
- Flynn, L.T., 1987, Lavon care chemicals : what consumers should know. Rapport du American Council of Science and Health, Summit, N.J., 26p.

- Fogel, R. et Trappe, J.M., 1978, Fungus consumption (mycophagy) by small mammals. Northwest Sci. **52**: 1-31.
- Francis, R. et Read, D.J., 1994, The contribution of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. Plant and Soil, **159**: 11-25.
- Frank, A.B., 1885, Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze, Dtsch. Bot. Ges. **3**: 128-145.
- Frey, B. et Schüepp, H., 1993, Acquisition of N by the external hyphae of AM fungi associated with maize. New Phytol. **124**: 221-230.
- Furlan, V. et Bernier-Cardou, M., 1989, Effects of N, P, K on formation of endomycorrhizae, growth and mineral content of onion. Plant and Soil, **113**: 167-174.
- Gange, A.C., Brown, V.K. et Farmer, L.M., 1990, A test of mycorrhizal benefit in an early successional plant community. New Phytol. **115**: 85-91.
- Garbaye, J., 1994, Helper bacteria: A new dimension to the mycorrhizal symbiosis. New Phytol. **128**: 197-210.
- George, E., Romheld, V. et Marschner, H., 1994, Contribution of mycorrhizal fungi to micronutrient uptake by plants. Dans Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere, Mantley, J.A.
- Gianinazzi-Pearson, V., Morandi, D., Dexheimer, J. et Gianinazzi, S., 1981, Ultrastructural and ultracytochemical features of a *Glomus tenuis* mycorrhiza. New Phytol. **88**: 633-639.
- Gianinazzi-Pearson, V., Gianinazzi, S., Dexheimer, J., Morandi, D., Trouvelot, A. et Dumas, E., 1988, Recherche sur les mécanismes intervenant dans les interactions symbiotiques plante-champignons endomycorhizogènes VA, Criptogamie. Mycol. **9** (3): 201-209.
- Gianinazzi-Pearson, V. et Gianinazzi, S., 1978, Enzymatic studies on the metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhiza. II-Soluble alkaline phosphatase specific to mycorrhizal infection in onion roots. Physiol. Plant Pathol. **12**:45.
- Goss, R.L., Brawen, S.E. et Orton, S.P., 1979, Uptake of sulphur by bentgrass putting green turf. Agron. J. **71**: 909-913.
- Grawn, D., 1979, The influence of soil pH on the efficiency of vesicular-arbuscular mycorrhiza. New Phytol. **82**: 687-695.

- Gray, L.E. et Gerdermann, J.W., 1973, Uptake of sulphur-35 by vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil*, **39**: 687-689.
- Grime, J.P., Mackey, J.M.L., Hillier, S.H, et Read, D.J., 1987, Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. *Nature* **328**: 420-422.
- Hall, J.R. et Miller, R.W., 1974, Effects of Phosphorous, season and method sampling on foliar analysis of Kentucky Bluegrass. Dans Roberts (ed.) Proc. 2nd, Int. Turf. Res.Conf. Blacksburg, VA, 19-21, June 1973, ASA et CSSA, Madisson, WI. p155-171.
- Harlan, J.R., 1956, Theory and dynamics of grassland agriculture. D. Van Nostrand Co., Princeton, New Jersey, 281p.
- Hartnett, D.C., Samenus, R.J., Fischer, L.E. et Hetrick, B.A.D., 1994, Plant demographic responses to mycorrhizal symbiosis in tallgrass prairie. *Oecologia*, **99**: 21-26.
- Hays, J.T. et Haden, W.W., 1966, Soluble fraction of urea forms- nitrification, leaching and burning properties. *J.Agric. Food. Chem.* **14**: 339-341.
- Heijne, B., van Dam, D., Heil, G.W. et Bobbink, R., 1996, Acidification effects on vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) infection, growth and nutrient uptake of established heathland herb species. *Plant and Soil* **179**: 197-206.
- Hetrick, B.A.D., Kitt, G.D., et Wilson, G.T., 1986, The influence of phosphorous fertilization, drought, fungal species, and nonsterile soil on mycorrhizal growth response in tall grass prairie plants. *Can. J. Bot.* **64**: 1199-1203.
- Hetrick, B.A.D., Kitt, D. et Wilson, G.T., 1988, Mycorrhizal dependence and growth habits of warm-season and cool-season tallgrass prairie plants. *Can. J. Bot.* **66**: 1376-1380.
- Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T. et Leslie, J.F., 1991, Root architecture of warm- and cool-season grasses: relationship to mycorrhizal dependence. *Can. J. Bot.* **69**: 112-118.
- Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T. et Todd, T.C., 1996, Mycorrhizal response in wheat cultivars : relationship to phosphorous. *Can. J. Bot.* **74**: 19-25.
- Hull, R., Alm., S., et Jackson., N., 1994, Toward Sustainable Lawn Turf. CRC Press, University of Rhodes Island, USA.
- Hummel, N.W. Jr. et Waddington, D.V., 1981 Evaluation of slow-release nitrogen sources on 'Baron' Kentucky Bluegrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**: 966-970.

- Hylton, L.O., Ulrich, Jr.A., Cornelius, D.R. et Okhi, K., 1965, Phosphorous nutrition of Italian raygrass relative growth, moisture content and mineral constituents. *Agron. J.* **57**: 505-508.
- Jacquelinet-Jeanmougin, J., Gianinazzi-Pearson, V. et Gianinazzi, S., 1988, Endomycorrhizae in the Gentianaceae. II- Ultrastructural aspects of symbiont relationships in *Gentiana lutea* L.. *Symbiosis* **3**: 1-17.
- Johansen, A, Jakobsen, I et Jensen, E.S., 1993, Hyphal transport by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus of N applied to the soil as ammonium or nitrate. *Biol. Fertil. Soils* **16**: 66-70.
- Johnson, C.R., Joiner, J.N. et Crews, C.E., 1980, Effects of N, K, and Mg on growth and leaf nutrient composition of three contain grown woody ormentals inoculated with mycorrhizae. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **105**: 286-288.
- Johnson, C.R., Jarrell, W.M. et Menge, A., 1984, Influence of ammonium: nitrate ratio and solution of pH on mycorrhizal infection, growth and nutrient composition of *Chrysanthemum morifolium* var. *Circus*. *Plant and Soil* **77**: 151-157.
- Johnson, N.C., Graham, J.H. et Smith, F.A., 1997, Functioning of associations along mutualism-parasitism continuum. *New Phytol.* **135**: 575-585.
- Juska, F.V., Hanson, A.A. et Erickson, C.J., 1965, Effects of phosphorous and other treatments on the development of red fescue, Merion and common Kentucky Bluegrass. *Agron. J.* **57**: 75-78.
- Kinden, D.A. et Brown, M.R., 1975, Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. II- Intracellular hyphae and vesicles. *Can. J. Microbiol.* **21**: 1768-1780.
- Koide, R.T. et Schreiner, R.P., 1992, Regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **43**: 557-581.
- Kothari, S.K., Marschner, H. et Römheld, V., 1990, Direct and indirect effects of VA mycorrhiza and rhizosphere microorganisms on mineral nutrient acquisition by maize (*Zea mays* L.) in calcareous soils. *New Phytol.* **116**: 637-645.
- Koske, R.E. et Gemma, J.N., 1989, A modified procedure for staining root to detect VA mycorrhizae. *Mycorrhizal Reseach*, **92**: 486-488.
- Koske, R.E., Gemma, J.N. et Jackson, N., 1997, Mycorrhizal fungi associated with three species of turfgrass. *Can. J. Bot.* **75**: 320-332.

- Kurtz, K.W., 1981, Use of ^{59}Fe in nutrient solution cultures for selecting and differentiating Fe-efficient and Fe-inefficient genotypes of zoysiagrass. Dans R.W. Sheard (éd.), Proceeding of the 4th International Turfgrass Research Conference, Guelph, Canada, 19-22 July, International Turfgrass Soc., and Ontario Agric. Coll., Univ. of Guelph, Guelph, ON. p.267-275.
- Li, X.L., Marschner, H. et George, E., 1991, Acquisition of phosphorus and copper by VA-mycorrhizal hyphae and root-to-shoot transport in white clover. *Plant Soil* **136**: 49-57.
- Liu, H., Hull, R.J. et Duff, D.T., 1995, Comparing cultivars of three cool-season turfgrasses for phosphate uptake kinetics and phosphorus recovery in the field. *J. Plant Nutri.* **18** (3): 523-540.
- Marschner, H. et Dell, B., 1994, Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* **159**: 89-102.
- Markland, F.E., Roberts, E.C. et Frederick, C.R., 1969, Influence of nitrogen fertilizers on Washington creeping bentgrass *Agrostis palustris* Huds. II-Incidence of dollar spot *Sclerotinia homeocarpa* infection. *Agron. J.* **61**: 701-705.
- Mayo, K., Davis, R. et Motta, J., 1986, Stimulation of germination of spores of *Glomus versiforme* by spore-associated bacteria. *Mycologia*, **78**: 426-454.
- McArthur, D.A.J. et Knowles, N.R., 1993, Influence of VAM and phosphorous nutrition on growth, development and mineral nutrition of potato. *Plant Physiol.* **102**: 771-782.
- McCrimmon, J.N., Mills, H.A et Karnok, K., 1992, Effect of N-form on growth and nutrient content of creeping bentgrass. *J. Plant Nutri.* **15** (8): 1235-1252.
- McGonigle, T.P. et Fitter, A.H., 1988, Growth and phosphorus inflows of *Trifolium repens* L. with a range of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal infection levels under field conditions. *New Phytol.* **108**: 59-66.
- Mehall, B.J., Hull, R.J. et Skogley, C.R., 1983, Cultivar variation in Kentucky Bluegrass : P and K nutritional factors. *Agron. J.* **75**: 767-775.
- Menge, J.E., Steirle, D., Bagyaraj, D.J., Johson, E.L.V. et Leonard, R.T., 1978, Phosphorous concentrations in plants responsible for the inhibition of mycorrhizal infection. *New Phytol.* **80**: 575-578.
- Miller, R.M., Jarstfer, A.G. et Pillai, J.K., 1987, Biomass allocation in an *Agropyron smithii*-*Glomus* symbiosis. *Am. J. Bot.* **74**: 114-122.

- Monro, J.P., 1953, *Bowls encyclopedia*, Wilke & Co. Ltd, Melbourne, Australia, 295p.
- Moore, R., Christians, N.E. et Agnew, M.L., 1996, Response of three Kentucky Bluegrass Cultivars to Sprayable Nitrogen Fertilizers Programs. *Crop Science* **36**: 1296-1301.
- National Academy of Science, 1991, Policy Implications of Greenhouse Warning, Rapport du Mitigation Panel, National Academy Press, Washington D.C., USA.
- Newsham, K.K., Watkinson, A.R., Fitter, A.H., 1995, Rhizosphere and root-infecting fungi and the design of ecological field experiments. *Oecologia* **102**: 230-237.
- Omar, M.B., Bolland, L. et Heather, W.A., 1979, A permanent mounting medium for fungi. *Bull. Br. Myc. Soc.*, **13**: 31-32
- Ouimet, R., Camiré, C. et Furlan, V., 1996, Effect of soil K, Ca and Mg saturation and endomycorrhization on growth and nutrient uptake of sugar maple seedlings, *Plant and Soil* **179**: 207-216.
- Palmertree, H.D., Ward, C.Y. et Pluenneke, R.H., 1974, Influence of mineral nutrition on the cold tolerance and soluble protein fraction of centipedegrass. Dans E.C. Roberts (Ed.), *Proc. 2nd Int. Turfgrass Res. Conf.*, Blacksburg, VA, 19-21, June 1973, ASA et CSSA, Madisson, WI. p. 500-507
- Pellet, R.M., et Roberts, E.C., 1963, Effects of mineral nutrition on high temperature induced growth retardation of Kentucky Bluegrass. *Agron. J.* **55**: 474-476.
- Pirozynski, K.A. et Dalpé, Y., 1989, Geological history of the Glomaceae with particular reference to mycorrhizal symbiosis. *Symbiosis*, **17**: 1-36.
- Rabatin, S.C., 1979, Seasonal and edaphic variation in vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of grasses by *Glomus tenuis*. *New Phytol.* **83**: 95-102.
- Rabatin, S.C. et Stinner, B.R., 1988, Indirect effects of interactions between VAM fungi and soil-inhabiting invertebrates on plant processes. *Agric. Ecos. Env.* **24**: 135-146.
- Raju, P.S., Clark, R.B, Ellis, J.R. et Maranville, J.W., 1988, Effects of VA mycorrhizae on growth and mineral uptake of sorghum grown at varied levels of soil acidity. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* **19**: 919-931.
- Read, D.J., Houcheki, H.K. et Hodgson, 1976, Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems I- The occurrence of infection. *New Phytol.* **77**: 641-653.

- Rhodes, L.H. et Larsen, P.O., 1981, Effects of Fungicides on Mycorrhizal Development of Creeping Bentgrass. *Plant Disease* **2** (65): 145-146.
- Rhodes, L.H. et Gerdermann, J.W. 1978, Translocation of calcium and phosphate by external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Soil Science*, **126**: 125-126.
- Rilling, M., Allen, M.F., Kliromonos, J.N., Chiariello, N.R. et Field, C.B., 1998, Plant species-specific changes in root-inhabiting fungi in a California annual grassland: responses to elevated CO₂ and nutrients. *Oecologia* **113**: 252-259.
- Roberts, E.C. et Roberts, B.C., 1989, *Lawn and Sports Turf Benefits*. The Lawn Institute, p31.
- Rohde, E.S., 1927, *Garden-craft in the Bible*. Herbert Jenkins Ltd, London, 242p.
- Sanders, F.E., Tinker, P.B, Black, R.L.B. et Palmerley, S.M., 1977, The development of endomycorrhizal root systems. I. Spread of infection and growth-promoting effects with four species of vesicular-arbuscular endophyte. *New Phytol.* **78**: 257.
- Sanders, I.R., Koide, R.T. et Shumway, D.L., 1995, Community level interactions between plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Dans Varma, A., Hock, B. (Éds), *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. Berlin: Springer-Verlag, p 607-625.
- Schenck, N.C. et Smith, S.E., 1982, *Glomus intraradices*. *Mycologia*.
- Schenck, N.C et Perez, Y., 1987, *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*. INVAM, University of Florida, GA, 245p.
- Schoknecht, J.D. et Hattingh, M.J., 1976, X-Ray microanalysis of elements in cell of VA mycorrhizal and non mycorrhizal onions. *Mycologia* **68**: 296.
- Shoulders, J.F., 1987, Turf-more than aesthetics and sports. *Proceedings of the 27th Virginia Turfgrass Conference and Trade Show*, pp 4-8.
- Sieverding, E., 1991, *Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in tropical agrosystems*. Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ) Gmbtt, Eschborn, 371p.
- Smiley, R.W., Dernoeden, P.H., et Clarke, B.B., 1992, *Compendium of turfgrass diseases*. 2nd ed. APS Press, St. Paul, Minn.
- Smith, S.E., Smith, F.A. et Nichollas, D.J.D., 1981, Effects of endomycorrhizal infection on phosphate and cation uptake by *Trifolium subterraneum*. *Plant Soil* **63**: 57-64.

- Starr, J.L. et deRoo, H.C., 1981, The fate of nitrogen fertilizer applied on turfgrass. Crop Sci. 21: 531-536**
- Statistique Canada, 1995, Enquête sur l'industrie des pépinières canadiennes, 1993-1994, Catalogue 22-203 Annuel, p 11-19.**
- St-John, T.V. et Coleman, D.S., 1983, The role of mycorrhizae in plant ecology. Can. J. Bot. 61: 1005-1014.**
- Strullu, D.G., 1985, Les mycorrhizes. Handbuch der Pflanzenanatomie, Gebruder Borntraeger, Berlin et Stuttgart.**
- Stoppard, L.M.R., Gange, A.C. et Lyne, M.J., 1998, Relation between arbuscular mycorrhizal fungi and *Poa annua* L. in golf putting greens, 2nd International Conference on Mycorrhiza, ICOM II, July 5-10, 1998, Uppsala, Sweden, p161.**
- Subramanian, K.S. et Charest, C., 1995, Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. Mycorrhiza 5: 273-278.**
- Subramanian, K.S. et Charest, C., 1997, Nutritional, growth, and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasseling. Mycorrhiza 7: 25-32.**
- Subramanian, K.S. et Charest, C., 1998, Arbuscular mycorrhizae and nitrogen assimilation in maize after drought and recovery. Physiologia Plantarum 102: 258-296.**
- Sylvia, D.M. et Schenk, N.C., 1983, Soil fungicides for controlling chytridiaceous mycoparasites of *Gigaspora margarita* and *Glomus fasciculatum*. Appl. Environ. Microbiol. 45: 1306-1309.**
- Sylvia, D.M., Hammond, L.C., Bennett, J. M., Hass, J.H. et Linda, S.B., 1993, Field response of maize to a VAM fungus and water management. Agron. J., 85:193-198.**
- Tobar, R.M., Azcón, R. et Barea, J.M., 1994, Improved nitrogen uptake and transport from ¹⁵N-labelled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhizae under water-stressed conditions. New Phytol. 126: 119-122.**
- Torello, W.A. et Wehner, J.D., 1983, Ammonia volatilization from fertilized turfgrass stand. Agron. J. 75: 454-456.**
- Tran, T.S. et Simard, R.R., 1993, Mehlich III- Extractable Elements. Dans M.R.Carter (Éd), Soil Sampling and Methods of Analysis, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, p43-49.**

- Turgeon, A.J., 1991, Turfgrass management. Third ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 418p.
- Turgeon, A.J., Stone, G.G. et Peck, T.R., 1979, Crude protein levels in turfgrass clippings. *Agron. J.* **71**: 229-232.
- Turner, T.R. 1980, Soil test calibration studies on turfgrass, Ph.D. diss. The Pennsylvania State University, University Park (Diss. Abstr. 80-24499).
- Turner, T.R. et Hummel, N.W., 1992, Nutritional Requirements and Fertilization. Dans Waddington, D.V., Carrow, R.N. et Shearman, R.C. (Éd.), Turfgrass, *Agronomy* : no. 32, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA, pp385-439.
- Tylka, G.L., Hussey, R.S. et Roncadori, R.W., 1991, Axenic germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi—effects of selected *Streptomyces* species. *Phytopathology* **81**: 754-759.
- Waddington, D.V., Turner, J.M., Duich, J.M. et Moberg, E.L., 1978, Effect of fertilisation on “Penncross” creeping bentgrass. *Agron. J.* **70**: 713-718.
- Waddington, D.V. et Zimmerman, 1972, Growth and chemical composition of eight grasses grown under high water table conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **3** (4): 329-337.
- Wallace, L.L., 1987, Effects of clipping and soil compaction on growth, morphology and mycorrhizal colonization of *Schizachyrium scoparium*, a C₄ bunchgrass. *Oecologia* **72**: 423-442.
- Warnock, A.J., Fitter, A.H. et Usher, M.B., 1982, The influence of a springtail *Folsomia candida* (Insecta, Collembola) on the mycorrhizal association of leek *Allium porrum* and the vesicular-arbuscular endophyte *Glomus fasciculatus*, *New Phytol.* **90**: 285-292.
- Whalley, R.D.B., McKell, C.M. et Green, L.R., 1966, Seedling vigor and early nonphotosynthetic stage of seedling growth in grasses, *Crop Sci.* **6**: 147-150.
- Wesely, R.W., Shearman, R.C. et Kinbacher, E.J., 1985, Foliar N-uptake by eight turfgrasses grown in controlled environment. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **110**: 612-614.
- West, H.M., Fitter, A.H., Watkinson, A.R., 1993, The influence of three biocides on the fungal associates of the roots of *Vulpia ciliata* ssp. *ambigua* under natural conditions. *J. Ecol.* **81**: 345-350.
- Weyerhaeuser Co., 1986, The value of Landscaping. Ideas for today. Weyerhaeuser Nursery Products Division, Tacoma, WA., **4**: 13-20.

Yawney, W.J., Schultz, R.C. et Kormanik, P.P., 1982, Soil phosphorus and pH influence the growth of mycorrhizal sweetgum. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 1315-1320.

Xie, H.S et Cummings, G.A., 1995, Effects of soil pH and nitrogen source on nutrient status in peach : I- Macronutrients. Journal of plant nutrition 18 (3): 541-551.

Annexe 1.0 : Calendrier des fertilisations effectuées à Clarence Creek et Agriculture et Agroalimentaire Canada pour les années 1996 (a) et 1997 (b) en fonction des dates et des doses (kg/100m²) par parcelle.

(a) 1996

Agriculture et Agroalimentaire Canada				
Dates	Formulation	N	P	K
Chimique Botanix©				
13/07/96	21-4-6	1.05	0.2	0.3
04/10/96	4-10-15	0.2	0.5	0.75
Naturel 1 Écoval©				
28/06/96	4-4-8	0.16	0.16	0.32
16/08/96	9-2-4	0.36	0.08	0.16
30/08/96	9-2-4	0.36	0.08	0.16
20/09/96	4-4-8	0.16	0.16	0.32
04/10/96	4-4-8	0.16	0.16	0.32
Naturel 2 Écoval©				
28/06/96	9-2-4	0.36	0.08	0.16
16/08/96	4-4-8	0.16	0.16	0.32
30/08/96	9-2-4	0.36	0.08	0.16
20/09/96	4-4-8	0.16	0.16	0.32
04/10/96	4-4-8	0.16	0.16	0.32

(b) 1997

Agriculture et Agroalimentaire Canada				
Dates	Formulation	N	P	K
Naturel Écoval©				
24/06/97	9-2-4	0.375	0.083	0.166
16/07/97	9-2-4	0.375	0.083	0.166
	2-18-0	0.015	0.142	0
	0-0-22	0	0	0.275
13/08/97	9-2-4	0.375	0.083	0.166
	2-18-0	0.015	0.142	0
	0-0-22	0	0	0.275
18/09/97	9-2-4	0.375	0.083	0.166
	2-18-0	0.015	0.142	0
	0-0-22	0	0	0.275
Chimique Botanix©				
24/06/97	21-4-6	0.376	0.071	0.107
16/07/97	21-4-6	0.376	0.071	0.107
	0-20-0	0	0.158	0
	0-0-22	0	0	0.348
13/08/97	21-4-6	0.376	0.071	0.107
	0-20-0	0	0.158	0
	0-0-22	0	0	0.348
18/09/97	21-4-6	0.376	0.071	0.107
	0-20-0	0	0.158	0
	0-0-22	0	0	0.348

N.B: Les parcelles de Clarence Creek ont reçu les mêmes quantités de fertilisants selon le même calendrier avec une ou deux journées de différences entre les sites.

Annexe 1a : Quantité annuelle de fertilisant (kg/100m²/an) reçu par chaque parcelle à Agriculture et Agroalimentaire Canada et Clarence Creek pour les saisons 1996 et 1997.

Programme été 1996- Établissement			
Programme	N	P	K
Chimique Botanix©	1.25	0.70	1.25
Naturel 1 Écoval©	1.2	0.64	1.28
Naturel 2 Écoval©	1.2	0.64	1.28

Programme été 1997- Entretien			
Programme	N	P	K
Naturel Écoval©	1.55	0.76	1.49
Chimique Botanix©	1.51	0.76	1.47
Témoin	0	0	0

Annexe 2: Températures minimales et maximales moyennes ainsi que les précipitations moyennes et totales pour la période d'expérimentation au champ (mai 1996 à octobre 1997) à la station météorologique d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (Ottawa).

	Température Maximale (°C)	Température Minimale (°C)	Précipitation moyenne (mm)	Précipitation totale (mm)
1996				
Mai	18.1 (4.6)	6.4 (4.6)	1.7 (4.0)	53.2
Juin	23.8 (3.6)	14.4 (2.9)	3.0 (4.0)	89.2
Juillet	25.1 (2.5)	15 (2.2)	4.8 (9.6)	149.3
Août	26 (2.9)	14.3 (3.2)	2.8 (13.2)	86.8*
Septembre	21.1 (5.1)	11.9 (4.3)	4.1 (6.9)	124.4
Octobre	12.2 (4.2)	4.1 (3.7)	2.8 (5.3)	87.2
Novembre	2.5 (4.8)	-3.6 (4.9)	2.1 (7.5)	62.8
Décembre	0.5 (5.7)	-4.5 (5.9)	3.1 (4.6)	95.6
1997				
Janvier	-6.1 (7.2)	-15.7 (7.7)	2.8 (3.8)	88.3
Février	-2.8 (5.0)	-12.4 (7)	3.6 (7.6)	102
Mars	0.4 (4.5)	-9.5 (6)	2.4 (3.8)	73.1
Avril	10.6 (5.9)	0.2 (4.4)	1.7 (3.4)	50.2
Mai	15.4 (4.2)	5.8 (3.2)	2.2 (4.5)	68.8
Juin	26.3 (3.7)	14 (3.2)	1.6 (4.6)	49.4
Juillet	26.6 (3.6)	15.3 (3.5)	1.8 (3.8)	56.2
Août	24.7 (3.4)	12.9 (2.9)	1.8 (4.6)	56.9
Septembre	19.2 (4.1)	9.9 (4.4)	3.2 (5.9)	95
Octobre	12.3 (6.6)	2.6 (5.6)	1.2 (3.2)	36.6

* NB: 74.8 mm sont tombés durant la seule journée du 8 août 1996.

Annexes 3a et 3b :

Le 3 août 1999

Madame Catherine Podeszinski
135, rue des Malards
Masson-Angers (Québec)
J8M 2C9

Madame,

Par la présente, nous autorisons l'Université d'Ottawa à reproduire les annexes 3a et 3b de votre thèse de maîtrise intitulée «Effets et compatibilité de la combinaison champignons endomycorhiziens et fertilisants chez deux graminées de gazon : *Poa pratensis* L. cv Park et *Agrostis stolonifera* L. cv Penncross».

Espérant le tout conforme à vos attentes, veuillez agréer, Madame Podeszinski, l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Serge Gagné, agr., Ph. D.
Directeur recherche et développement
Premier Tech Biotechnologies

1.0 MINÉRALISATION PAR DIGESTION ACIDE POUR LE DOSAGE DE L'AZOTE DANS LES TISSUS VÉGÉTAUX

1.1 Principe

La mise en solution des tissus végétaux se fait par minéralisation acide. Une oxydation de la matière organique est effectuée en présence d'acide sulfurique concentré ainsi que d'un catalyseur, l'acide sélénieux. Du peroxyde d'hydrogène est ajouté afin d'enlever toute trace de couleur dans la solution.

1.2 Appareillage

- Balance analytique
- Bloc digesteur

1.3 Matériel

- Billes de verre
- Broyeur électrique
- Etuve à 60°C à 70°C
- Papier filtre Whatman ^{p41} de 15 cm
- Tubes de digestion et support

1.4 Réactifs

- Acide sélénieux (H_2SeO_3).
- Acide sulfurique (H_2SO_4)
- Peroxyde d'hydrogène à 30 % (H_2O_2).

1.5 Préparation des solutions

Solution combinée H_2SeO_3/H_2SO_4

- Dissoudre 97 g d'acide sélénieux dans 100 mL d'eau déionisée. La mise en solution est longue. S'assurer que tout l'acide sélénieux est dissout avant de procéder à la prochaine étape.

TOUTE DISTRIBUTION OU REPRODUCTION EST INTERDITE

Analyses chimiques

- Ajouter très lentement la solution d'acide sélénieux dans la solution d'acide sulfurique. Mélanger à l'aide d'une plaque agitatrice pendant environ 6 heures.

1.6 Préparation de l'échantillon

- Si l'échantillon est très humide ou détrempé, le laisser sécher à l'air durant 24 heures (tourbe).
- Sécher l'échantillon dans un sac de papier à l'étuve à 60-70°C pendant un minimum 24 heures.
- Broyer l'échantillon.
- Le remettre à l'étuve à 60-70°C pendant 2 heures.
- Mettre au dessiccateur pendant environ une demi-heure.
- Peser précisément environ 0,3 g de l'échantillon. Déposer dans un tube à digestion.
- Chauffer le bloc à 400°C.
- Ajouter 2 à 3 billes de verre dans le tube à digestion. Verser 5 mL de la solution acide sulfurique-acide sélénieux. Effectuer l'opération sous une hotte.
- Ajouter prudemment 2,0 mL de peroxyde d'hydrogène en le laissant couler le long de la paroi du tube à digestion. Agiter très doucement le tube pendant qu'un grand dégagement de CO₂ se produit. Continuer d'agiter lentement au début et plus fortement par la suite jusqu'à ce que l'effervescence cesse totalement.
- Digérer pendant une heure et laissez refroidir 20 minutes.

Analyses chimiques

- Filtrer par gravité sur papier Whatman ^{#41}, dans une fiole jaugée de 100 mL. Laver le tube et le papier filtre 3 à 4 fois avec de l'eau déionisée. Compléter à la marque avec de l'eau déionisée. La concentration d'acide dans le filtrat est alors de 5 %.


Note: Deux blancs et deux échantillons de contrôle provenant du NIST sont soumis aux mêmes traitements.

1.7 Références

Ward, G.M. and Johnston, E.B. 1960. Chemical methods of Plant analysis. Can. Dept. Agric. Publ. 1064.

Isaac, R.A. and Johnson, N.W.C. 1960. Determination of total nitrogen on plant tissue using BD-40 digestion. Journal of the A.O.A.C., 59. pp. 98-100.

Tecator. 1981. Determination of kjeldahl nitrogen content with auto systems I, II, III and IV. Digestion manual, application note. P. AN 30:1 - AN 30:5.

 PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
	MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses

1.0 But

Cette procédure sert à doser le phosphore P-PO₄.

2.0 Domaine d'application

Cette procédure s'applique aux traitements du tableau ci-dessous:

Nature de l'échantillon	Traitement à effectuer avant le dosage selon C16
Compost	Effectuer C9 " Extraction des sols avec NH ₄ F-HCl 0.1N "
Eau et solution nutritive	Effectuer C16 " Dosage du phosphore (P-PO ₄) en milieux aqueux par colorimétrie " sans traitement
Engrais non solubles	Effectuer C13 " Mise en solution des engrais non-solubles, de la pierre volcanique et des sols minéraux "
Sols minéraux	Effectuer C6 " Extraction des sols avec Mehlich III " pour une extraction avec Mehlich III
	Effectuer C9 " Extraction des sols avec NH ₄ F-HCl 0.1N " pour une extraction avec NH ₄ F-HCl 0.1N
Substrat	effectuer C3 " Extraction SME "
Tissus végétaux	Effectuer C4 " Digestion de tissus végétaux par minéralisation " lorsque le poids sec de l'échantillon < 1g, puis doser PO ₄ ³⁻ selon C17 " PO ₄ ³⁻ par colorimétrie (dans acide sélénieux) ".
	Effectuer C5 " Digestion de tissus végétaux par digestion acide des cendres (HCl) " lorsque le poids sec de l'échantillon > 1g, puis doser PO ₄ ³⁻ selon C16 " PO ₄ ³⁻ par colorimétrie ".

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C16

3.0 Responsabilité

Les membres du personnel du Service d'analyses qui effectuent le dosage du phosphore appliquent cette procédure.

4.0 Principe


Les phosphates complexent avec le molybdate d'ammonium en présence d'un agent réducteur (acide ascorbique) et forment un complexe coloré bleu.

5.0 Définitions

S/O

6.0 Appareillage et matériel

- Agitateur à éprouvettes Vortex modèle Génie ou l'équivalent
- Agitateur magnétique 2.5 cm
- Balance Mettler modèle AE-163 (affichage : 0.00001 g) ou l'équivalent
- Balance Sartorius modèle U4600P+ (affichage : 0,01 g) ou l'équivalent
- Bêchers 100 ml, 250 ml et 400 ml
- Bouteilles de 60 ml et 125 ml en nalgène ou l'équivalent
- Cylindre gradué 100 ml (1 ml) ou l'équivalent
- Dessiccateur avec son dessiquant
- Éprouvettes de 25 ml Pyrex Brand Corning modèle 9820 ou l'équivalent
- Étuve Fisher Isotemp série 200 (à 105°C) ou l'équivalent
- Fioles jaugées 100 ml, 1000 ml et 2000 ml
- Papier à pesée


 MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
	Service d'analyses	P-10-C16

6.0 Appareillage et matériel (suite)

- Pipette automatique Eppendorf modèle Reference 200 à 1000 µl ou l'équivalent
- Pipette automatique Nichiryo modèle 5000, 200 à 5000 µl ou l'équivalent
- Pipette automatique Eppendorf modèle Repeater 4780, 250 à 1250 µl ou l'équivalent
- Plaque agitatrice Fisher modèle 120-MR ou l'équivalent
- Spatule
- Spectrophotomètre UV/visible LKB modèle Ultrospec 4050
- Support à éprouvettes
- Support en bois pour entonnoir ou l'équivalent
- Verre de montre

7.0 Réactifs

Nom	Formule chimique	# CAS	Masse molaire	Grade
Acide ascorbique	C ₆ H ₈ O ₆	50-81-7	176.1	-----
Acide sulfurique (98%)	H ₂ SO ₄	7664-93-9	98.08g	A.C.S. ou l'équivalent
Molybdate d'ammonium	((NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ .4H ₂ O)	12054-85-2	1235.86	A.C.S. ou l'équivalent
Tartrate double d'antimoine de potassium	(K(SbO)C ₄ H ₄ O ₆ .1/2H ₂ O)	28300-74-5	333.93	Certified
Potassium, phosphate monobasique	KH ₂ PO ₄	7778-77-0	136.09	A.C.S. ou l'équivalent
Eau déionisée	H ₂ O			
MRC de borate 1000 ± 1 % retraçable NIST	BO ₃ ³⁻			Absorption atomique

 PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
	MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses

7.0 Réactifs (suite)

Nom	Formule chimique	# CAS	Masse molaire	Grade
MRC de nitrate 1000 ± 1 % retraçable NIST	NO ₃ ⁻			Absorption atomique
MRC de phosphate 1000 ± 1 % retraçable NIST	PO ₄ ³⁻			Absorption atomique

8.0 Préparation des solutions

8.1 Réactif "A"


8.1.1 Solution de molybdate d'ammonium 6% (p/v)

- Peser environ 12,00 g de molybdate d'ammonium dans un bécher de 400 ml et ajouter environ 300 ml d'eau déionisée avec un cylindre gradué.
- Recouvrir d'un verre de montre et agiter (agitateur magnétique 2,5 cm) jusqu'à dissolution¹.

8.1.2 Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium

- Peser environ 0,29 g de tartrate double d'antimoine et de potassium dans un bécher de 250 ml et ajouter environ 100 ml d'eau déionisée avec un cylindre gradué.
- Recouvrir d'un verre de montre et agiter (agitateur magnétique 2,5 cm) jusqu'à dissolution¹.

¹ Il n'est pas nécessaire d'accorder une grande importance à la précision des mesures de masse et de volume. Cependant, il est primordial d'utiliser la même solution pour une même série d'analyses (échantillons et standards).

	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
	MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses

8.1.3 Solution d'acide sulfurique 5 N

Ajouter 140 ml d'acide sulfurique mesuré dans un cylindre gradué, à environ 700 ml d'eau déionisée (fiolle jaugée)¹ et compléter à 1 litre.

8.1.4 Mélange de réactif "A"

Dans une fiolle jaugée de 2 litres, verser les solutions 8.1.1, 8.1.2 et 8.1.3 et jauger avec de l'eau déionisée. Ceci constitue le réactif A.

Note: conserver la solution au réfrigérateur pour une période de 3 mois dans une bouteille ne laissant pas passer la lumière.

8.2 Réactif "B"

8.2.1 Peser environ 0,528 g d'acide ascorbique dans un bécher de 250 ml et ajouter 100 ml de réactif "A" avec un cylindre gradué.

8.2.2 Agiter (agitateur magnétique 2,5 cm) jusqu'à dissolution ¹.

8.2.3 Faire une solution fraîche à chaque série d'analyses.

8.3 Solution mère de phosphore 1000 ppm

8.3.1 Sécher à 105°C, du phosphate de potassium monobasique pendant au moins 12 heures, puis au dessiccateur 1/2 heure.

8.3.2 Sur un papier, peser exactement 4,3940 g de phosphate de potassium monobasique. Transférer (avec rinçage) dans un bécher de 600 ml et dissoudre avec environ 400 ml d'eau déionisée. Jauger dans une fiolle de 1 litre avec de l'eau déionisée.

8.3.3 Cette solution est conservée au réfrigérateur pour une période de 3 mois.

¹ Il n'est pas nécessaire d'accorder une grande importance à la précision des mesures de masse et de volume. Cependant, il est primordial d'utiliser la même solution pour une même série d'analyses (échantillons et standards).

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C16

8.4 Zéro et solutions standard 10, 20, 30 40, et 50 mg/l

- 8.4.1 Dans cinq fioles jaugées de 100 ml, mesurer 1, 2, 3, 4 et 5 ml de la solution mère de phosphore à l'aide des pipettes automatiques.
- 8.4.2 Lorsque la solution d'extraction n'est pas de l'eau, compléter à 100 mL avec la solution d'extraction. Dans les autres cas compléter à 100 ml avec de l'eau déionisée.
- 8.4.3 Ces solutions standard sont conservées au réfrigérateur dans des bouteilles de nalgène de 125 ml pour une période de 1 mois.
- 8.4.4 Pour le zéro (0 mg/l), on utilise la solution d'extraction de l'échantillon.


8.5 Préparation du MR pour dosage anions

- 8.5.1 Préparer la solution intermédiaire selon les quantités de MRC indiquées à l'annexe 1 et en diluant avec de l'eau déionisée.
- 8.5.2 Préparer la solution MR pour dosages anions selon les quantités de solution intermédiaire indiquées à l'annexe 1 et en diluant avec la solution d'extraction de l'échantillon.
- 8.5.3 La solution MR est conservée un mois.

9.0 Mode opératoire

9.1 Contrôle de la qualité

- 9.1.1 Introduire 1 MR par série d'échantillon ≤ 30.

	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C16

9.2 Traitement de l'échantillons

- Eaux ou solution nutritive : si l'échantillon est coloré, appliquer la même méthode que pour les extractions SME (#S-PROC-03-3-C03, étape 9.3.3), sinon utiliser l'échantillon directement.

9.3 Dilution préliminaire des échantillons (1 dans 3)

- 9.3.1 Traiter les duplicata et les blancs provenant des extractions comme des échantillons.
- 9.3.2 Dans une éprouvette de 25 ml, mesurer 1 ml d'échantillon et ajouter 2 ml de la solution d'extraction de l'échantillon à l'aide d'une pipette automatique.
- 9.3.3 Si la lecture sur le spectrophotomètre donne un résultat qui est supérieur à celui de la solution standard 50 mg/l, refaire la dilution en conséquence.
- 9.3.4 Si la lecture sur le spectrophotomètre donne un résultat qui est inférieur à celui de la solution standard 10 mg/l, mesurer l'échantillon sans le diluer.

9.4 Préparation des échantillons, des solutions standard, du zéro et des contrôles de qualité (MR, blanc et duplicata)

- 9.4.1 Dans une éprouvette de 25 ml, mesurer 0,250 ml d'échantillon, de MR, de blanc, de duplicata, de zéro ou de solution standard avec une pipette automatique.
- 9.4.2 Ajouter 10 ml d'eau déionisée avec une pipette automatique et 2 ml de réactif "B" avec une pipette automatique eppendorf.
- 9.4.3 Agiter (agitateur à éprouvettes).
- 9.4.4 Laisser reposer 1/4 heure.

PREMIER <small>PREMIER AQUICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C16

9.5 Lecture sur le spectrophotomètre


- 9.5.1 Calibrer le spectrophotomètre selon la procédure # S-PROC-03-4-1510.1u
- 9.5.2 Noter les mesures d'absorbance sur le formulaire # S-FORM-03-3-C69. Si la pente calculée n'est pas dans les limites inscrites sur ce formulaire, porter une attention particulière aux résultats des MR, duplicata et blancs (voir 9.7).
- 9.5.3 Faire toutes les lectures (solutions standard, zéro, MR, blanc et échantillons) en absorbance à 880 nm avec la cellule à circulation continue.
- 9.5.4 Aspirer la solution deux fois dans la cellule afin d'avoir une mesure stable.

9.6 Expression des concentrations

- 9.6.1 en fonction de la masse de phosphore en solution (mg/l) pour l'eau, les solutions nutritives et les extraits SME (voir section 15.1).
- 9.6.2 pour les autres types d'échantillons, la concentration sera exprimée en fonction du matériel à doser et de la méthode de préparation (voir section 15.2 à 15.4).

9.7 Vérification des blancs, duplicata et MR

Comparer les résultats avec les valeurs limites inscrites sur le formulaire S-FORM-03-8-01-02. Si les valeurs obtenues ne sont pas dans les limites permises, aviser le superviseur du Service d'analyses.

 PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
	MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses

10.0 Limites

10.1 Limite instrumentale de détection

Tableau 1 : limite instrumentale de détection des phosphates dans l'eau déionisée et dans une solution fertilisante.

Limites instrumentales de détection	PO ₄ ³⁻ (ppm de phosphore)
Eau déionisée	0,25
Solution fertilisante	0,09

10.2 Limite de détection de la méthode

S/O

10.3 Limite de quantification de la méthode

S/O

10.4 Limite de linéarité

S/O

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
	MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses

11.0 Réplicabilité

Tableau 2 : réplicabilités de la détermination de la concentration de phosphore à un niveau de confiance de 95 % pour des échantillons de substrats tourbeux.

Réplicabilités	PO ₄ ³⁻
Absolue (ppm de phosphore)	9,5
Relative (%)	12,9

12.0 Justesse

S/O

13.0 Sensibilité

S/O

14.0 Récupération

S/O

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C16

15.0 Calculs

- C** = concentration de phosphore dans l'échantillon (mg/l)
Abs = absorbance de l'échantillon
b = ordonnée à l'origine du graphique de l'absorbance en fonction de la concentration
m = pente du graphique de l'absorbance en fonction de la concentration
F = facteur de dilution de l'échantillon

15.1 Eaux, solutions nutritives et extraits SME

À partir des résultats obtenus avec les standards, trouver la pente et l'ordonnée à l'origine d'une courbe de l'absorbance en fonction de la concentration en phosphore (mg/l).

Calculer la concentration en phosphore dans chacun des échantillons à l'aide de l'équation suivante:

$$C = \frac{(Abs - b)}{m} \times F$$

15.2 Pour les digestats (HCl 1,86 N)

$$\frac{C \times F \times \text{Volume final}}{\text{pdséch. } (\mu\text{g})} \times 100 = \% P - PO_4^{3-}$$

$$\frac{C \times F \times \text{Volume final}}{\text{pdséch. } (\mu\text{g})} \times 10^6 = \text{ppm } P - PO_4^{3-}$$

15.3 Mehlich-III

$$\frac{C \times F \times \text{Volume final}}{\text{pdssecéch. } (\mu\text{g})} \times 10^6 = \text{ppm P} - \text{PO}_4^{3-}$$

$$\frac{C \times F \times \text{Volume final}}{\text{pdssecéch. } (\mu\text{g})} \times 10^6 \times 2,24 = \text{Kg/ha P} - \text{PO}_4^{3-} \text{ sur une base de poids}$$

$$\frac{C \times F \times \text{Volume final}}{\text{pdssecéch. } (\mu\text{g})} \times 10^6 \times 2,24 \times \text{densité (g / cm}^3\text{)} = \text{Kg/ha P} - \text{PO}_4^{3-} \text{ sur une base de volume}$$

15.4 Bray II

$$\frac{C \times F \times \text{Volume final}}{\text{pdssecéch. } (\mu\text{g})} \times 100 = \% \text{ P} - \text{PO}_4^{3-}$$

$$\frac{C \times F \times \text{Volume final}}{\text{pdssecéch. } (\mu\text{g})} \times 100 \times 2,29 = \% \text{ P}_2\text{O}_5$$


16.0 Références

Gaines, T.P. et Mitchell, G.A. (1979) Chemical methods for soil and plant analysis, Univ. of Georgia, Agronomy Handbook no. 1.

Bray, R.H. et Hurty, L.T. (1945) Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils, S. Ec. vol. 59, p. 39-45.

17.0 Diagramme d'écoulement

S/O


 MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Dosage du phosphore (P-PO₄) en milieux aqueux par colorimétrie	
	Service d'analyses	P-10-C16

18.0 Annexes

- Annexe 1 : Préparation des solutions intermédiaires et des solutions de MR pour le dosage des cations et anions.
- Annexe 2 : S-FORM-03-3-C69 " Coloration analyses chimiques ".

MRC		Sol. intermédiaire (pour le MR)			Solution MR		
Élément	Conc du MRC	Quantité de MRC à pipetter (mL)	Volume final (mL)	Conc. finale (ppm)	Quantité de sol. inter. à pipetter (mL)	Volume final (mL)	Conc. finale (ppm)

MR pour cations (absorp- tion ato- mique)	K	1000	10	1000	10	20	200	1
	Ca	1000	25		25			2,5
	Mg	1000	4		4			0,4
	Na	1000	5		5			0,5
	Fe	1000	25		25			2,5
	Cu	1000	25		25			2,5
	Zn	1000	5		5			0,5
	Mn	1000	10		10			1
MR pour anions (UV/ visible)	BO ₃ ³⁻	1000	0,5	100	5	30	200	0,75
	NO ₃ ⁻	1000	25		250			37,5
	PO ₄ ³⁻	1000	15		150			22,5

 PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
	Service d'analyses	P-10-C15

1.0 But

Cette procédure sert au dosage du fer, cuivre, zinc et du manganèse en solution.

2.0 Domaine d'application

Cette procédure s'applique aux traitements du tableau ci-dessous:

Nature de l'échantillon	Traitement à effectuer avant le dosage selon C15
Eau et solution nutritive	effectuer C15 "Fe, Cu, Zn, Mn par abs. atomique" sans traitement
Engrais non-soluble	effectuer C13 "Mise en solution des engrais non-solubles"
Sol minéral	effectuer C6 pour une extraction avec Mehlich III
	effectuer C8 pour une extraction avec HCl 0,1 N
	effectuer C10 pour une extraction avec DTPA-TEA
Substrat	effectuer C3 "Extraction SME"
Tissu végétaux	effectuer C4 "Digestion de tissus végétaux par minéralisation" lorsque le poids sec de l'échantillon < 1 g
	effectuer C5 "Digestion de tissus végétaux par digestion acide des cendres (HCl)" lorsque le poids sec de l'échantillon > 1 g

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C15

3.0 Responsabilité

Les membres du personnel du Service d'analyses qui font le dosage par absorption atomique du Fe, Cu, Zn et du Mn appliquent cette procédure.

4.0 Principe


L'absorption atomique est basée sur la propriété qu'ont les atomes d'absorber des radiations électromagnétiques (la lumière) à une série de longueur d'ondes spécifiques. L'échantillon en solution est aspiré et nébulisé dans une flamme où il est converti en vapeur atomique. À ce stade, la majorité des atomes sont à leur niveau d'énergie fondamental et absorbent les longueurs d'onde fournissant la bonne quantité d'énergie pour exciter les électrons à l'état singulet. Puisqu'en général, seul l'élément analysé peut absorber cette radiation, cette méthode est très spécifique en plus d'être très sensible. La lumière émise passe d'abord par la flamme où elle est absorbée en partie par l'échantillon puis se dirige vers le monochromateur où elle est dispersée et où la longueur d'onde désirée est isolée. Cette dernière est ensuite amenée au photo détecteur où elle est convertie en signal électrique. L'intensité du rayon isolé est inversement proportionnelle à la concentration de l'élément analysé.

5.0 Définitions

S/O

6.0 Appareillage et matériel

- Agitateur à éprouvette, Vortex modèle Génie ou l'équivalent
- Bécher de 100 ml et 250 ml
- Éprouvettes de 25 ml Pyrex Brand Corning Modèle 9829 ou l'équivalent
- Fioles jaugées Kimax de 100 ml ($\pm 0,16$ ml) ou l'équivalent
- Pipette automatique Eppendorf modèle Reference 200 à 1000 μ l ou l'équivalent

	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
	Service d'analyses	P-10-C15
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES		

6.0 Appareillage et matériel (suite)

- Pipette automatique Nichiryo modèle 5000, 1000 à 5000 µl ou l'équivalent
- Pipette gradué de 5 ml (0,1 ml)
- Pipettes volumétriques de 2 ml (0,006 ml), 5 ml (0,01 ml), 8 ml (0,02 ml) et 10 ml (0,02 ml)
- Pipetteur Eppendorf modèle Repeater, 10 à 5000 µl ou l'équivalent
- Spectromètre d'absorption atomique modèle Varian PSC-56 ou l'équivalent

7.0 Réactifs

Nom	Formule chimique	# CAS	Masse molaire	Grade
Eau déionisée	H ₂ O			
Solution standard de cuivre 1000 ppm dans HNO ₃ 4 %		7440-50-8	63,54	± 1 %
Solution standard de fer 1000 ppm dans HNO ₃ 4 %		7439-89-6	55,85	± 1 %
Solution standard de manganèse 1000 ppm dans HNO ₃ 4 %		7439-96-5	55,85	± 1 %
Solution standard de zinc 1000 ppm dans HNO ₃ 4 %		7440-66-6	65,37	± 1 %
MRC de cuivre 1000 ± 1 % retraçable NIST	Cu			Absorption atomique
MRC de fer 1000 ± 1 % retraçable NIST	Fe			Absorption atomique
MRC de manganèse 1000 ± 1 % retraçable NIST	Mn			Absorption atomique
MRC de zinc 1000 ± 1 % retraçable NIST	Zn			Absorption atomique

N.B. : Les constituants des solutions peuvent varier d'un fournisseur à l'autre.

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C15

8.0 Préparation des solutions

8.1 Solution mère pour les solutions standard

Dans une fiole jaugée de 250 ml, avec des pipettes volumétriques ou graduées si le volume comporte des décimales :

- 8.1.1 Pipetter 25 ml de la solution 1000 ppm de Fer.
- 8.1.2 Pipetter 25 ml de la solution 1000 ppm de cuivre.
- 8.1.3 Pipetter 6,25 ml de la solution 1000 ppm de zinc.
- 8.1.4 Pipetter 12,5 ml de la solution 1000 ppm de manganèse.
- 8.1.5 Compléter avec de l'eau déionisée et conserver 1 mois.

8.2 Préparation du MR pour dosages cations

Voir l'étape 8.4 de la procédure "Na, K, Ca et Mg sur absorption atomique" (S-PROC-03-3-C14). Cependant, ne pas diluer la solution d'extraction Mehlich III dans l'eau déionisée avant de compléter à un volume de 200 ml.

9.0 Mode opératoire

9.1 Contrôle de la qualité

- 9.1.1 Introduire 1 MR par série d'échantillons ≤ 30 .

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C15

9.2 Préparation des solutions de la courbe standard

9.2.1 Dans 4 fioles jaugées de 100 ml, diluer la solution mère standard 1 dans 100, 2 dans 100, 3 dans 100 et 4 dans 100.

9.2.2 Compléter le volume avec la solution d'extraction des échantillons. La solution d'extraction sera utilisée comme zéro.

9.3 Calibration de l'appareil


L'appareil effectue sa propre calibration, puis il passe à la solution MR placée à la position 1 des échantillons. On vérifie si les résultats de la solution MR sont dans les limites permises (voir 9.5). Si les résultats ne se retrouvent pas dans ces limites, on doit ajuster l'appareil (en variant les pressions de l'air et de l'acétylène, en variant le débit de l'analyte ou en ajustant la longueur d'onde) et recommencer la calibration.

9.4 Traitement des échantillons, MR, blancs et duplicata

9.4.1 Dilution préliminaire: aucune.

9.4.2 Lorsqu'un échantillon est au-dessus de la courbe, l'appareil affiche "over" au lieu de nous donner sa concentration. Repasser l'échantillon en diluant davantage (diluer dans la solution d'extraction). On peut se fier à la lecture d'absorbance pour déterminer le facteur de dilution.

9.4.3 Lorsque l'absorbance d'un échantillon est inférieure à la moitié de l'absorbance du plus petit point de la courbe standard, l'échantillon est trop dilué. On peut se fier à la lecture d'absorbance pour déterminer le facteur de dilution.

 PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
	Service d'analyses	P-10-C15
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES		

9.5 Vérification des blancs, duplicata et MR

Comparer les résultats avec les valeurs limites inscrites sur le formulaire S-FORM-03-8-01-02. Si les valeurs obtenues ne sont pas dans les limites permises, aviser le superviseur du Service d'analyses.

10.0 Limites

10.1 Limite instrumentale de détection

Tableau 1 : limite instrumentale de détection du cuivre, du fer, du manganèse et du zinc dans l'eau déionisée et dans une solution fertilisante.


Limites instrumentales	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
Eau déionisée	0,07	0,19	0,02	0,07
Solution fertilisante	0,06	0,14	0,10	0,12

10.2 Limite de détection de la méthode

S/O

10.3 Limite de quantification de la méthode

S/O

 PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
	Service d'analyses	P-10-C15

10.3 Limite de linéarité

S/O

11.0 Réplicabilité

Tableau 3 : réplicabilités de la détermination de la concentration de cuivre, de fer, de manganèse et de zinc à un niveau de confiance de 95 % pour des échantillons de substrats tourbeux.

Réplicabilités	Cu	Fe	Mn	Zn
Absolute (ppm)	0,00	0,05	0,05	0,01
Relative (%)	0,00	3,43	6,20	4,19

12.0 Justesse

S/O

13.0 Sensibilité

S/O

14.0 Récupération

S/O

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
	MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses P-10-C15

15.0 Calculs

15.1 Minéralisation

15.1.1 Formule

$$\frac{[] \text{ lue} \times F. \text{ dil.} \times \text{Vol. final}}{\text{pds échantillon (g)}} = \text{ppm } (\mu\text{g/g}) \text{ de Fe, Cu, Zn et Mn}$$

15.1.2 Exemples de calculs

[] lue = 1,297 ppm de fer

Facteur de dilution = 1

Vol. final = 100 ml

pds = 0,3452 g

$$[] \text{ fer} = \frac{1,297 \mu\text{g} \times 1 \times 100 \text{ ml}}{0,3452 \text{ g}} = 375,7 \text{ ppm}$$

15.2 SME

15.2.1 Formule

[] lue x F. dilution = ppm (μg/ml) de Fe, Cu, Zn et de Mn

15.2.2 Exemple de calcul

[] lue = 2,456 ppm de Cu

Facteur de dilution = 10

[] Cu = 2,456 ppm x 10 = 24,56 ppm

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C15

15.3 Analyse totale (HCl 1,86 N)

15.3.1 Formule

$$\frac{[] \text{ lue} \times F, \text{dil.} \times \text{Vol. final}}{\text{pds échantillon (g)}} = \text{ppm } \mu\text{g/g de Fe, Cu, Zn et Mn}$$

15.3.2 Exemple de calcul

[] lue = 0,625 ppm de Zn

Vol. final = 100 ml

Facteur dilution = 3

pds échantillon = 0,9734

$$[] \text{ Zn} = \frac{0,625 \times 3 \times 100}{0,9734} = 192,6 \text{ ppm}$$

15.4 Mehlich

15.4.1 Résultats exprimés par rapport au poids

$$\frac{[] \text{ lue} \times F, \text{dil.} \times \text{Vol. final}}{\text{pds échantillon (g)} - \text{pds} \times \% \text{ H}} = \text{ppm } (\mu\text{g/g}) \text{ de Fe, Cu, Zn et Mn}$$

$$\text{Teneur}(\% \text{ H}) = \frac{C_{\text{H}} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \right) \times F \times V_f \times 2,24}{\text{pds}}$$

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
	MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses P-10-C15

15.4.2 Exemple de calcul

[] lue = 1,564 ppm de Mn

facteur dilution = 1

Vol. final = 30 ml

pds éch. = 3 g

% Humidité = 3,4 %

$$[] Mn = \frac{1,564 \times 1 \times 30}{3 \text{ g} - (3 \times 3,4 \%)} = \frac{46,92}{3 - 0,102} = 16,2 \text{ ppm}$$

15.4.3 Résultats exprimés par rapport au volume

$$\text{Teneur (kg/ha)} = \frac{C_{lue} \times F_z \times V_f \times D \times 2,24}{pds}$$

où

D = densité

C_{lue} = Concentration lue

F = Facteur de dilution

V_f = Volume final

pds = Poids sec d'échantillon

15.5 HCl 0,1N et DTPA-TEA

15.5.1 Formule

$$\frac{[] \text{ lue} \times F. \text{dil.} \times \text{Vol. final}}{\text{pds échantillon (g)} - (\text{pds} \times \% H)} = \text{ppm } (\mu\text{g/g}) \text{ de Fe, Cu, Zn et Mn}$$

PREMIER <small>PREMIER HORTICULTURE</small>	Fe, Cu, Zn, Mn sur absorption atomique	
MANUEL DES MÉTHODES D'ANALYSES	Service d'analyses	P-10-C15

15.5.2 Exemple de calcul

[] lue = 1,956 ppm de fer

F.dil. = 1

Vol. final. = 50 ml

pds échantillon = 2,0 g

% Humidité = 4,2 %

$$[]_{fer} = \frac{1,956 \times 1 \times 50}{2,0 - (2,0 \times 4\%)} = \frac{97,8}{2,0 - 0,08} = \frac{97,8}{1,92} = 50,9 \text{ ppm}$$

16.0 Références

S/O

17.0 Diagramme d'écoulement

S/O

18.0 Annexes

S/O

Annexe 4a: Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S= Site; M= Mycorhize; F=Fertilisant) pour les éléments minéraux chez le pâturin du Kentucky pour 1996 et 1997.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn
Été 1996										
S	***	***	***	NS	NS	***	***	***	***	*
M	***	NS	***	***	NS	***	***	NS	***	**
F	***	*	NS	***	**	NS	**	**	NS	NS
SxM	***	NS	NS	***	***	***	***	***	NS	***
SxF	NS	NS	NS	*	NS	***	NS	NS	***	*
MxF	NS	NS	NS	NS	NS	**	*	NS	***	***
MxFxS	***	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	***
Automne 1996										
S	NS	***	NS	***	***	*	NS	***	***	NS
M	*	NS	***	NS	NS	NS	***	***	***	***
F	NS	**	NS	*	***	***	NS	***	NS	NS
SxM	NS	NS	***	**	NS	***	***	***	***	***
SxF	*	***	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS
MxFxS	*	NS	**	*	NS	NS	**	NS	NS	NS
Automne 1997										
S	NS	***	NS	**	***	NS	NS	***	***	***
M	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS
F	***	NS	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	*
SxM	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS
SxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
MxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS
MxFxS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 4b : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S= Site; M= Mycorhize; F=fertilisant) pour les éléments minéraux chez l'agrostide stolonifère pour 1996 et 1997.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn
Été 1996										
S	***	***	**	***	***	NS	***	***	***	*
M	**	NS	***	NS	NS	NS	***	***	**	***
F	***	NS	NS	NS	NS	**	NS	**	NS	NS
SxM	NS	*	**	***	**	***	NS	***	NS	***
SxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	**
MxF	NS	NS	**	NS	*	*	NS	NS	NS	***
MxFxS	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS	*	***
Automne 1996										
S	NS	***	***	***	***	***	***	***	NS	***
M	NS	NS	***	***	NS	NS	NS	NS	**	***
F	NS	NS	**	NS	***	***	NS	*	NS	*
SxM	NS	NS	***	*	NS	NS	NS	*	NS	***
SxF	NS	*	NS	NS	***	***	NS	**	NS	*
MxF	NS	NS	***	**	NS	*	NS	NS	NS	***
MxFxS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***
Automne 1997										
S	NS	***	***	NS	***	NS	**	***	***	***
M	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS
F	***	*	***	NS	***	NS	*	*	NS	*
SxM	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	***	NS	NS
SxF	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	*	NS
MxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS
MxFxS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 4c : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S=Site, M=Mycorhize, F=Fertilisant) pour les ratios C/N dans les feuilles des deux graminées de gazon pour 1996 et 1997. Les données ont subi une transformation logarithmique avant l'analyse.

	PÂTURIN			AGROSTIDE		
	Été 1996	Automne 1996	Automne 1997	Été 1996	Automne 1996	Automne 1997
S	***	NS	*	***	**	NS
M	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F	***	NS	***	***	***	***
SxM	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SxF	***	**	NS	NS	NS	NS
MxF	**	NS	NS	NS	*	NS
SxMxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 4d : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S=Site, M=Mycorhize, F=Fertilisant) pour le taux de croissance (g/m²/ jour) chez les deux graminées de gazon pour 1996 et 1997 à AAC et CC.

	PÂTURIN				AGROSTIDE			
	Été 1996	Automne 1996	Été 1997	Automne 1997	Été 1996	Automne 1996	Été 1997	Automne 1997
S	***	NS	NS	***	***	*	NS	***
M	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F	***	**	NS	***	***	NS	NS	***
SxM	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
SxF	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
MxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SxMxF	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

* P≤0.05 ** P≤0.01 *** P≤0.001 NS P>0.05

Annexe 4e : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S=Site, M=Mycorhize, F=Fertilisant) pour la hauteur cumulée chez deux graminées de gazon pour l'année 1997 à AAC et CC.

	Pâturin	Agrostide
	Automne 1997	Automne 1997
S	***	NS†
M	NS	NS
F	***	***
SxM	NS	NS
SxF	NS	NS
MxF	NS	NS
SxMxF	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$
 † Résultat marginalement significatif ($P \leq 0.1$)

Annexe 4f : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S=Site, M=Mycorhize, F=Fertilisant) pour les observations visuelles chez deux graminées de gazon pour l'année 1997 à AAC et CC.

	Pâturin	Agrostide
	Automne 1997	Automne 1997
S	NS	*
M	NS	NS
F	***	***
SxM	NS	NS
SxF	NS	**
MxF	NS	NS
SxMxF	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 4g : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S=Site, M=Mycorhize, F=Fertilisant) pour la concentration totale de chlorophylle dans les feuilles chez deux graminées de gazon pour 1996 et 1997 à AAC et CC.

	Pâturin			Agrostide		
	Été 1996	Automne 1996	Automne 1997	Été 1996	Automne 1996	Automne 1997
S	***	***	***	**	***	***
M	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F	***	***	***	***	NS	***
SxM	NS	NS	*	NS	NS	NS
SxF	*	***	**	NS	NS	***
MxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SxMxF	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 4h : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S=Site, M=Mycorhize, F=Fertilisant) pour le diamètre des racines chez deux graminées de gazon pour la saison 1997 à AAC et CC.

	Pâturin		Agrostide	
	Été 1997	Automne 1997	Été 1997	Automne 1997
S	NS	NS	**	NS
M	NS	NS	NS	NS
F	NS	***	NS	***
SxM	NS	NS	*	*
SxF	NS	NS	NS	NS
MxF	NS	NS	NS	NS
SxMxF	NS	NS	NS	*

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 4i : Analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (S=Site, M=Mycorhize, F=Fertilisant) pour la longueur totale des racines chez les deux graminées de gazon pour la saison 1997 à AAC et CC.

	Pâturin		Agrostide	
	Été 1997	Automne 1997	Été 1997	Automne 1997
S	***	NS	*	NS
M	NS [†]	NS	NS	NS
F	NS	NS	***	NS
SxM	NS	NS	NS [†]	NS
SxF	NS	NS	NS	NS
MxF	NS	NS [†]	NS	NS
SxMxF	NS	NS	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

† Résultat marginalement significatif ($P \leq 0.1$)

Annexe 4j : Analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (M= Mycorhize, F=Fertilisant) pour les différents paramètres morphologiques des deux graminées de gazon pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées. Les données pour le ratio racine/feuille ont subi une transformation logarithmique avant d'être analysées.

	PÂTURIN				AGROSTIDE			
	Feuille	Racine	Racine/ Feuille	Croissance cumulée	Feuille	Racine	Racine/ Feuille	Croissance cumulée
M	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F	NS	NS	***	NS	NS	***	***	***
M x F	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 4k : Analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (M= Mycorhize, F=Fertilisant) pour les différents paramètres morphologiques des racines chez les deux graminées de gazon pour l'expérience de mycorhization de plantes isolées.

	PÂTURIN		AGROSTIDE	
	Longueur	Diamètre	Longueur	Diamètre
M	NS	NS	NS	NS
F	NS	NS	NS	**
M x F	NS	NS	NS	NS

* $P \leq 0.05$ ** $P \leq 0.01$ *** $P \leq 0.001$ NS $P > 0.05$

Annexe 5.0: Composition des fertilisants utilisés pour les deux années de terrain.

Composition des fertilisants (%)							
Fertilisant	Azote (N)	Acide phosphorique assimilable (P₂O₅)	Potasse soluble (K₂O)	Magnésium (Mg)	Soufre (S)	Calcium (Ca)	Fer (Fe)
Botanix 21-4-6	21	4	6	1	4.5	0	0
Botanix 4-10-15	4	10	15	0	0	0	0
Ecoval 9-2-4	9	2	4	2	2	2	0
Ecoval 4-4-8	4	4	8	2	4	4	1
Botanix 2-14-0 (os moulu)	2	14 (25% de P ₂ O ₅ , total)	0	0	0	25	0
Botanix 0-20-0 (Super phosphate)	0	20	0	0	0	0	0
Ecoval 0-0-22 (Potassium plus)	0	0	22	11	22	0	0
Botanix 0-0-22 (sulphate de potasse et magnésie)	0	0	22	11	22	0	0