TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ ..... **II**

REMERCIEMENTS ..... **IV**

AVANT-PROPOS ..... **V**

TABLE DES MATIÈRES ..... **VI**

LISTE DES FIGURES ..... **VIII**

LISTE DES TABLEAUX ..... **X**

LISTE DES SIGLES ET ABBRÉVIATIONS ..... **XI**

1 INTRODUCTION 1

1.1 PRÉSENCE DE PLANTES INDÉSIRABLES *2*

1.2 FERTILISATION MINÉRALE DANS LA CULTURE DU BLEUET NAIN SAUVAGE *3*

1.3 AMENDEMENTS ORGANIQUES DANS LA CULTURE DU BLEUET NAIN SAUVAGE *4*

1.4 ASSIMILATION DE L'AZOTE SOUS FORMES ORGANIQUES *5*

1.5 IMPACT DE DIFFÉRENTS AMENDEMENTS SUR LA DÉCOMPOSITION DE LA MO *6*

1.6 OBJECTIFS DE L'ETUDE ET HYPOTHESES *8*

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES 10

2.1 SITE A L'ETUDE *10*

2.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL *11*

2.3 TRAITEMENTS FERTILISANTS *13*

2.4 VARIABLES MESUREES *15*

2.4.1 RECOUVREMENT VEGETAL 15

2.4.2 RENDEMENTS EN FRUITS 16

2.4.3 BIOMASSE AERIENNE 17

2.4.4 ASSIMILATION DE L'N ISSU DU FERTILISANT MINÉRAL ET ACQUISITION DE L'N 17

2.4.5 DECOMPOSITION DE LA LITIERE 21

2.5 ANALYSES STATISTIQUES *23*

3 RÉSULTATS 25

3.1 Bleuet nain sauvage *25*

3.1.1 RECOUVREMENT VEGETAL 25

3.1.1.1 Sites avec danthonie à épi 25

3.1.1.2 Sites avec comptonie voyageuse 25

3.1.2 BIOMASSE AERIENNE 28

3.1.2.1 Site avec danthonie à épi 28

3.1.2.2 Site avec la comptonie voyageuse 28

3.1.3 RENDEMENTS EN FRUITS 30

3.1.3.1 Site avec Danthonie à épi 30

3.1.3.2 Site avec Comptonie voyageuse 30

3.2 PLANTES INDÉSIRABLES *32*

3.2.1 RECOUVREMENT VEGETATIF 32

3.2.1.1 Danthonie à épi 32

3.2.1.2 Comptonie voyageuse 32

3.2.2 BIOMASSE AERIENNE 34

3.2.2.1 Danthonie à épi 34

3.2.2.2 Comptonie voyageuse 34

3.3 ASSIMILATION DE L'N ISSU DU FERTILISANT MINÉRAL *35*

3.3.1 SITES AVEC DANTHONIE À ÉPI 35

3.3.2 SITES AVEC COMPTONIE VOYAGEUSE 35

3.4 DECOMPOSITION DE LA MATIERE ORGANIQUE *37*

4 DISCUSSION 39

4.1 Impact de la fertilisation azotée *39*

4.1.1 Croissance des plantes indésirables 39

4.1.1.1 Danthonie à épi....39
4.1.1.2 Comptonie voyageuse....39
4.1.2 Croissance et productivité du bleuet....40
4.1.3 Productivité des sols....42
4.1.4 Gestion de la culture et des plantes indésirables....44
4.2 Les impacts de l'abondance des plantes indésirables....45
4.3 Nouvelles perspectives de recherche....46
5 CONCLUSION....47
6 RÉFÉRENCES....49
7 ANNEXE A-TABLES D'ANALYSES DE LA VARIANCE....56
8 ANNEXE B- ANALYSES BRF....59

LISTE DES FIGURES

Figure 1-A) Localisation de la bleuetière de St-Eugène-D'Argentenay. B) Carte de la bleuetière avec localisation des six sites étudiés. C) Schéma du dispositif expérimental pour chacun des sites, les traitements (fertilisation minérale (M), organique (O), et témoin (T)) ont été appliqués de façon aléatoire pour chacune des densités de recouvrement de plantes indésirables (D1, D2, D3, D4). Voir tableau 1 pour les détails sur les densités. 11
Figure 2-Représentation des densités de recouvrement (D1, D2, D3, D4) de la danthonie à épi lors de la mise en place des parcelles soit à l'automne 2014.....13
Figure 3-Application des traitements fertilisants (M, O, T) dans les parcelles. Le traitement minéral a été dilué dans l'eau et ensuite appliqué dans les parcelles à l'aide d'un pulvérisateur à main. 14
Figure 4-Prise de mesure du recouvrement végétal d'une parcelle à l'aide de la technique du "Point intercept method". 16
Figure 5-Échantillonnage du système racinaire d'une parcelle. A) Sectionnement (50 × 50 cm) des racines, B) Insertion de la planche sous le système racinaire, C) Récolte des racines et du sol, D) Échantillon emballé dans une pellicule plastique pour le transport. 20
Figure 6-Mise en terre des sacs de litière (feuilles de bleuet) pour l'incubation.....22
Figure 7-Effets des traitements fertilisants sur la biomasse estimée du bleuet (g m^{-2}) des sites caractérisés par la présence de la danthonie à épi et la comptonie voyageuse, pour les années 1 et 2. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau $\alpha = 0.05$ ont été effectués.....27
Figure 8-Effets des traitements fertilisants et de l'abondance des plantes indésirables sur la biomasse aérienne moyenne du bleuet mesurée à la fin de l'année 2 des sites caractérisés par la présence de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau $\alpha = 0.05$ ont été effectués.....29
Figure 9-Effets des traitements fertilisants et de l'abondance des plantes indésirables sur les rendements en fruits moyens des sites caractérisés par la présence de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau $\alpha = 0.05$ ont été effectués. Chaque niveau d'abondance des PI est associé à des ratios dans le texte. Pour la danthonie : D1=0-1 plants/m^2, D2=5-10 plants/m^2, D3=15-20 plants/m^2, D4=25+ plants/m^2. Pour la comptonie : D1=0-1 plants/m^2, D2=2-3 plants/m^2, D3=4 plants/m^2, D4=5-6 plants/m^2.....31
Figure 10-Effets de la fertilisation et du ratio de recouvrement sur la biomasse estimée de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse pour les deux années de l'étude. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau $\alpha = 0.05$ ont été effectués. 33
Figure 11-Comparaison de l'assimilation de l'N issu du fertilisant (%) et de l'acquisition de l'N ($\mu g\ g^{-1}_{racine}$) entre le bleuet et les deux espèces de PI (comptonie voyageuse et danthonie à épi). Les seuils de significativité ont été fixés à un niveau alpha de 0,05.....36
Figure 12-Effets de la durée de l'incubation de sacs enfouis sur la perte de masse moyenne de la litière (feuilles de bleuet), la perte de C et la perte d'N. Les dates d'échantillonnage

correspondent à : 1=15 octobre 2015, 2 =18 mai 2016 et 3= 20 août 2016. Les lettres indiquent les différences significatives entre les dates suite au test a *posteriori* de Tukey. Les seuils de significativités ont été fixés à 0,05. 37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-Quantité de plantes indésirables (PI) correspondant aux densités de recouvrement pour chaque espèce. 12
Tableau 2-Quantités d'azote, de phosphore et de potassium appliquées la première année seulement pour chacun des traitements fertilisants. 15

LISTE DES SIGLES ET ABBRÉVIATIONS

ANOVA: Analyse de la variance

AN^{15}N: Abondance isotopique naturelle du ^{15}N dans l'atmosphère

BAB: Biomasse aérienne du bleuet

BAC: Biomasse aérienne de la comptonie

BAD: Biomasse aérienne de la danthonie

BE: Biomasse estimée

BEB: Biomasse estimée du bleuet nain sauvage

BEC: Biomasse estimée de la comptonie

BED: Biomasse estimée de la danthonie

BP: Boues de papetière

BRF: Bois raméal fragmenté

c.-à-d.: C'est-à-dire

CE_{FM}: Coefficient d'efficacité de la fraction minérale ($N\text{-}NH_4^+$)

CE_{FO}: Coefficient d'efficacité de la fraction organique de l'N

MAPAQ: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

$M_{échantillon}$: Masse totale de l'échantillon

MO: Matière organique

Nbre: Nombre

NIDF: Quantité d'azote issu du fertilisant

ns: Non significatif

PI: Plante indésirable

SLSJ: Saguenay-Lac-Saint-Jean

TN: Teneur en N total

UQAC: Université du Québec à Chicoutimi

UQAM: Université du Québec à Montréal

Symboles chimiques:

C: Carbone
N: Azote
^{15}N: Azote isotopique
$N\text{-}NH_4$: Azote sous forme d'ammonium
$N\text{-}NO_3$: Azote sous forme de nitrate
$(NH_4)_2SO_4$: Sulfate d'ammonium
K: Potassium
K_2O: Oxyde de potassium
K_2SO_4: Sulfate de potassium
P: Phosphore
P_2O_5: Pentoxyde de phosphate

Unité de mesure:

cm : Centimètre
°C : Degré Celsius
g : Gramme
ha : hectar
L : Litre
µg : Microgramme
m : Mètre
mm : Millimètre
mg : Milligramme
mL : Millilitre
% : Pourcentage
kg : kilogramme

Traitements utilisés dans l'expérience:

M : Fertilisation minérale
O : Fertilisation organique
T : Fertilisation Témoin
D1 : Densité de recouvrement de plantes indésirables 1
D2 : Densité de recouvrement de plantes indésirables 2
D3 : Densité de recouvrement de plantes indésirables 3
D4 : Densité de recouvrement de plantes indésirables 4
µg : Microgramme
m : Mètre
mm : Millimètre
mg : Milligramme
mL : Millilitre
% : Pourcentage
kg : kilogramme

Clicours.com

1 INTRODUCTION

Le bleuet nain sauvage (*Vaccinium angustifolium* Ait.*)* est un arbuste indigène de l'Amérique du Nord de la famille des Éricacées. Cet arbuste est mis en culture pour la production de ses petits fruits qui sont appréciés mondialement par les consommateurs étant donné leur goût unique et leurs propriétés bénéfiques pour la santé. Les deux pays producteurs de bleuets sauvages sont le Canada et les États-Unis. En effet, le Canada a produit en moyenne 64 milles tonnes de fruits entre 2010 et 2014, tandis que les États-Unis ont produit 40 milles tonnes de fruits pour cette même période (MAPAQ 2016). La culture de bleuets, incluant les bleuets sauvages et les bleuets en corymbe, représente environ 59 % des superficies fruitières du Canada (MAPAQ 2016). Lors des dernières décennies, la production de bleuets sauvages a connu une forte expansion au Canada, et ce, notamment dans les provinces de l'Est comme le Québec, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse (Statistique Canada 2011). Le Québec a produit 32 % des bleuets sauvages du pays en 2014, ce qui fait d'elle la principale province productrice de bleuets sauvages du Canada.

En 2015, près de 82 % des superficies québécoises destinées à la production de bleuets sauvages étaient localisées dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ) (MAPAQ 2016). Toutefois, les rendements en fruit au SLSJ ont beaucoup fluctués lors de la dernière décennie avec des productions annuelles oscillant entre 5 et 30 milles tonnes par année (Lavoie 2014). Comme le bleuet est la principale exportation fruitière au Canada, il est primordial de stabiliser les rendements afin de s'assurer une place de choix parmi les exportateurs mondiaux de bleuets sauvages.

La section qui suit présentera certaines problématiques liées à la culture du bleuet nain sauvage, comme la présence de plantes indésirables qui compétitionnent avec le bleuet nain pour les nutriments du sol. De plus, certaines pratiques culturales seront abordées, comme la fertilisation minérale et/ou organique appliquée dans la culture du bleuet. Par la suite, l'assimilation des nutriments par les plantes, et l'aptitude de certaines espèces à capter l'N sous formes organiques seront discutées. L'effet de l'ajout de différents amendements (minéraux ou

organiques) sur le taux de décomposition de la matière organique (MO) sera également abordé. Finalement, les objectifs et hypothèses de ce projet seront présentés à la fin de cette section.

1.1 PRÉSENCE DE PLANTES INDÉSIRABLES

Au SLSJ, les pinèdes grises constituent des sites de prédilection pour l'implantation et la mise en production d'une bleuetière. Lors de la mise en place d'une bleuetière, les plants de bleuets, initialement présents avant la coupe forestière, colonisent progressivement le territoire défriché. Toutefois, le bleuet est généralement accompagné par d'autres espèces de plantes et arbustes dont le kalmia à feuilles étroites (*Kalmia angustifolia* L.), la comptonie voyageuse (*Comptonia peregrina* (L.) Coulter), la grande fougère (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) et la danthonie à épi (*Danthonia Spicat* (L.) P.Beauv. ex Roem&Schult.) (Gagnon et Pierre 2010). Il est bien connu que la présence de ces plantes indésirables (PI) nuit à la croissance, au développement et aux rendements en fruit du bleuet étant donné qu'une compétition s'installe, notamment pour l'acquisition des nutriments du sol. Avant qu'un contrôle des PI ne soit effectué par les applications d'herbicides, les résultats d'études portant sur l'effet des applications en fertilisants sur les rendements en fruits étaient plutôt variables. En effet, l'application de différents traitements fertilisants occasionnait soit une augmentation des rendements (Chandler *et al.* 1931; Smith *et al.* 1946; Trevett 1962; Rayment 1965), un effet nul ou non significatif (Eaton et Hall 1950) et même une diminution des rendements (Chandler 1943). Différents herbicides ont été développés depuis, et lorsqu'un contrôle de PI est effectué, les rendements en fruits sont grandement augmentés par l'ajout de fertilisants (Yarborough *et al.* 1986; Eaton 1994; Penney et McRae 2000; Yarborough 2004). Par contre, les applications répétées d'herbicides peuvent occasionner de nombreux problèmes agronomiques et environnementaux. En effet, certaines espèces de PI ont développé des résistances à l'hexazinone, un herbicide fréquemment utilisé pour le contrôle des PI en bleuetière (Yarborough 1991). De plus, des relevés de végétation effectués dans plusieurs bleuetières de la Nouvelle-Écosse entre 1984 et 2001 démontrent que la diversité des PI a doublée depuis les débuts d'utilisation des herbicides et des engrais (Jensen et Yarborough 2004). Finalement, l'hexazinone, l'herbicide le plus fréquemment utilisé en bleuetière, est très soluble dans l'eau et a une faible capacité d'absorption aux particules du sol

Clicours.COM

(Bouchard *et al.* 1985), ce qui fait en sorte que cet herbicide est très mobile dans l'environnement et peut donc potentiellement se retrouver dans les eaux souterraines et de surface (Giroux 2003). L'utilisation de l'hexazinone peut donc occasionner des risques pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine (Peterson *et al.* 1997; Nieves-Puigdoller *et al.* 2007).

1.2 FERTILISATION MINÉRALE DANS LA CULTURE DU BLEUET NAIN SAUVAGE

L'azote (N) inorganique assimilé par les plantes se trouve sous forme d'ammonium ($N\text{-}NH_4^+$) et/ou de nitrate ($N\text{-}NO_3^-$) et peut provenir soit de la décomposition de la matière organique du sol et/ou par l'ajout de fertilisants. L'application d'N sous forme ammoniacale ($N\text{-}NH_4^+$) est recommandée dans la culture du bleuet comparativement à la forme nitrique (NO_3^-) car le bleuetier ne prélève pas efficacement la forme nitrique (Townsend 1966; Townsend 1969; Percival et Prive 2002). De plus, il est préférable d'appliquer l'N sous forme de sulfate d'ammonium car certaines autres formes de fertilisants azotés, comme l'urée, peuvent augmenter le pH du sol ce qui n'avantage pas le bleuet par rapport aux autres espèces de PI. En effet, le bleuet est une plante acidiphile, c'est-à-dire une espèce qui se développe et qui préfère les sols avec des pH acides soient entre 4,6 et 5,2. De plus, le fait de maintenir un pH du sol bas peut permettre de diminuer la compétitivité de certaines PI telles que la grande fougère et la danthonie à épi (Lafond 2010a). Actuellement, les applications en N recommandées au Québec sont de 25 à 60 kg N ha^{-1} sous forme de sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$) (Lafond 2014). En effet, plusieurs études ont démontré que la fertilisation azotée favorise la croissance du bleuet (Penney et McRae 2000; Percival et Sanderson 2004; Yarborough 2004; Eaton *et al.* 2009; Lafond 2010b; Lafond et Ziadi 2011). Plus spécifiquement, l'ajout de fertilisants azotés engendre une augmentation des rendements en fruits, de la longueur des tiges et de la concentration en N des feuilles (Penney et McRae 2000; Eaton *et al.* 2009; Lafond 2010b). Les applications de fertilisants s'effectuent généralement au printemps de l'année de croissance végétative, mais un fractionnement de la fertilisation peut être suggéré lorsque les doses appliquées sont supérieures à 50 kg N ha^{-1} afin d'éviter des pertes dans l'environnement, principalement par lessivage (Lafond 2010b).

Dans la culture du bleuet, il est également recommandé d'appliquer du phosphore (P) (Fortin *et al.* 2000; Lafond 2014). Toutefois, les résultats des études portant sur l'efficacité d'une fertilisation phosphatée sur le bleuet sont mitigés. En effet, certaines études démontrent que les apports en P favorisent la croissance des plants (Smagula et Dunham 1996) et augmentent les rendements (Percival et Sanderson 2004) alors que d'autres études indiquent que les applications de P n'ont aucun effet significatif sur la croissance et les rendements en fruits (Eaton *et al.* 1997; Sanderson et Eaton 2008). Étant donné la variabilité des résultats, un apport minimal de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 est alors recommandé dans les productions commerciales au Québec (Lafond 2014).

L'apport en potassium (K) a été peu étudié dans la culture du bleuet puisqu'une seul étude menée à l'Île-du-Prince-Édouard suggère un effet du K sur les teneurs en N-P-K des feuilles, alors que le K semble influencer le taux de mise à fruits des fleurs (Percival et Sanderson 2004). Par conséquent, au Québec, il est recommandé d'appliquer 20 kg ha^{-1} de K_2O (Lafond 2014).

1.3 AMENDEMENTS ORGANIQUES DANS LA CULTURE DU BLEUET NAIN SAUVAGE

Les apports en engrais organiques dans la culture du bleuet sont pratiques courantes notamment sous le modèle de production biologique. Différents amendements tels que le fumier de poulet, le fumier de bovin, les lisiers de porc, les boues de papetière (BP) et les biosolides municipaux ont fait l'objet d'études pour leur efficacité sur la production de bleuet (Warman 1987; Lafond 2004; Lemay et Vallée 2010). Les travaux de Warman (1987), réalisés en Nouvelle-Écosse, n'ont pas permis de démontrer que les amendements testés (fumier de poulet, fumier de bovin, lisiers de porc, sciure) augmentaient les rendements en fruits et la concentration en N des tissus foliaires. De plus, une autre étude menée au SLSJ n'a également pas permis de démontrer que l'application de fumier de poulet granulé permettait d'augmenter les rendements en fruits (Lemay et Vallée 2010). Par contre, d'autres études, portant sur l'effet de l'apport de BP, démontrent une augmentation significative des rendements en fruits et des teneurs en N-P-K des feuilles comparativement aux parcelles témoins (Gagnon *et al.* 2003 ; Lafond 2004). Finalement, les travaux de Warman *et al.* (2009) ont permis de démontrer que les applications de

biosolides municipaux compostés augmentent les teneurs en N et en K des feuilles, sans pour autant avoir un effet significatif sur les rendements en fruits.

Il ne semble pas y avoir dans la littérature scientifique de travaux portant sur l'utilisation de bois raméal fragmenté (BRF) pour la fertilisation du bleuet. À titre informatif, le BRF est constitué de copeaux provenant de tiges et de rameaux d'arbres feuillus (*Betula papyrifera*, *Prunus pennsylvanica*, *Alnus viridis, Prunus Virginiana*) ayant des diamètres inférieurs à 7 cm (Lemieux 1986). Des essais menés dans d'autres cultures comme les céréales annuelles et les pommes de terre n'ont pas permis de démontrer l'efficacité des BRF comme fertilisant organique (Beauchemin *et al.* 1990; Beauchemin *et al.* 1992b; N'Dayegamiye et Angers 1993; Larochelle 1994). En effet, les études démontrent que l'utilisation des BRF occasionne très souvent une immobilisation de l'N durant la première année après les applications (Beauchemin *et al.* 1990; Beauchemin *et al.* 1992a; Larochelle 1994), rendant ainsi l'N minérale présent dans le sol moins disponible pour les plantes. Par contre, lorsque les apports de BRF sont combinés à un amendement riche en N (lisier, fumier, engrais minéraux, etc.), l'immobilisation de l'N est diminuée et une augmentation significative des rendements peut être observée (Ndayegamiye et Dubé 1986; Beauchemin *et al.* 1990; Larochelle 1994). Toutefois, contrairement à la plupart des plantes agricoles, le bleuet est une plante sauvage et indigène aux sols pauvres issus des pinèdes grises ; les plantes y poussant ont donc développé d'autres mécanismes d'assimilation de l'N. L'assimilation de l'N sous formes organiques est un de ces mécanismes.

1.4 ASSIMILATION DE L'AZOTE SOUS FORMES ORGANIQUES

On a longtemps cru que les plantes utilisaient seulement l'N présent dans le sol sous formes inorganiques, soient l'ammonium ($N\text{-}NH_4^+$) et/ou le nitrate ($N\text{-}NO_3^-$). Ce paradigme implique que les végétaux sont dépendants des processus de minéralisation de l'N et/ou d'une fertilisation minérale pour leur nutrition azotée (Schimel et Bennett 2004). Par contre, les résultats issus de nombreuses recherches effectuées lors des dernières décennies ont permis de démontrer que certaines espèces (majoritairement nordiques c.-à-d. des espèces issues de milieux froids où les processus de minéralisation sont ralentis) assimilent aussi l'N sous formes organiques (Chapin *et al.* 1993; Kielland 1994; Schimel et Chapin 1996; Nasholm *et al.* 1998;

Jones et Kielland 2002). En effet, il a été démontré, et ce pour différents écosystèmes, que certaines plantes avec ou sans l'aide d'une symbiose mycorhizienne, étaient capables d'assimiler l'N sous formes de protéines et d'acides aminés. Les résultats d'une étude portant sur la capacité d'assimilation des nutriments provenant de l'humus organique en forêt boréale démontrent que plusieurs plantes Éricacées (la famille du bleuet) sont performantes, comparativement à d'autres espèces, pour assimiler l'N directement sous formes organiques (Nasholm *et al.* 1998). De plus, une autre étude menée en forêt boréale a démontré que la capacité des plantes Éricacées à acquérir les nutriments présents dans l'humus organique dépasse largement celle de la végétation compétitrice (Joanisse *et al.* 2009). Les plantes de la famille des Éricacées pourraient être donc moins dépendantes (versus végétation compétitrice) des processus de minéralisation du sol afin de subvenir à leurs besoins en N et en nutriments. Toutefois, à ma connaissance, aucune étude portant spécifiquement sur les capacités d'assimilation de l'N organique du bleuet n'a été publiée.

1.5 IMPACT DE DIFFÉRENTS AMENDEMENTS SUR LA DÉCOMPOSITION DE LA MO

La décomposition de la matière organique (MO) du sol est un processus qui consiste à transformer des composés organiques complexes en composés organiques plus stables et riches en nutriments tels que l'N (Chapin *et al.* 2002). Ce processus est directement impliqué dans le recyclage des nutriments et est donc essentiel afin de maintenir une bonne fertilité des sols. En effet, le recyclage des nutriments est un processus essentiel pour la nutrition végétale et ce particulièrement pour les sols pauvres qui accumulent très peu de MO dont les sols sous culture de bleuets. En effet, les bleuetières de la région sont généralement aménagées sur des sols sableux, pauvres en éléments nutritifs, acides et contenants une mince couche de matière organique (MO) en surface (Raymond *et al.* 1965). Malgré le fait que le bleuet soit bien adapté à croître dans des sols pauvres en éléments nutritifs et où le recyclage des nutriments est relativement lent, il a été néanmoins démontré que les ajouts en fertilisants en contexte de production commerciale augmentent la croissance végétative et les rendements en fruits (Penney et McRae 2000; Percival et Sanderson 2004; Yarborough 2004; Eaton, Sanderson et Fillmore

2009; Lafond 2010b; Lafond et Ziadi 2011). En ce sens, les applications d'amendements organiques ont des effets généralement positifs sur la croissance des plantes, en augmentant la quantité de nutriments disponibles pour leur développement, mais ces applications ont également des impacts significatifs sur les dynamiques de décomposition de la MO indigène dans les sols, c.-à-d. sur la MO présente dans les sols avant les apports en amendements organiques. Le terme « *Priming effect* » a été introduit par Bingeman *et al.* (1953) pour décrire ce phénomène. Ce concept fait référence essentiellement à l'accélération du taux de décomposition de la MO indigène suite à l'ajout d'amendements organiques frais et labiles. En effet, l'apport de MO fraîche au sol stimule l'activité des microorganismes hétérotrophes en leur procurant une source de carbone (C) labile supplémentaire, source qu'ils utilisent comme énergie pour dégrader la MO indigène du sol qui était, jusque-là, peu disponible pour les microbes et éventuellement aux plantes (Broadbent 1948; Bingeman *et al.* 1953; Sørensen 1974). Il y a donc une stimulation (*Priming*) de l'activité microbienne du sol suite aux apports en C labile et comme les microorganismes hétérotrophes sont impliqués dans les processus de décomposition de la MO, le recyclage des nutriments est accéléré. Les ajouts en fertilisants minéraux pourraient aussi avoir un effet stimulant (*Priming effect)* sur la décomposition de la MO indigène du sol. En effet, les résultats de plusieurs études ont démontré que les taux de décomposition de la MO étaient augmentés par les ajouts en N minéral, et ce, dans différents écosystèmes (Hunt *et al.* 1988; Prescott *et al.* 1992; Apolinário *et al.* 2014). Par contre, il demeure que d'autres études démontrent plutôt que l'ajout d'N minéral n'a pas d'effet significatif sur le taux de décomposition (Theodorou et Bowen 1990; Prescott 1995), alors que d'autres notent un ralentissement (Titus et Malcolm 1987; Magill et Aber 1998). Dans la culture du bleuet, quelques études ont mesuré les effets de différents amendements organiques sur les propriétés chimiques des sols (Warman 1987; Gagnon *et al.* 2003; Warman 2009), mais aucune étude ne s'est intéressée aux processus de recyclage des nutriments du sol tels les taux de décomposition de la MO. Il serait donc pertinent, dans le contexte de culture du bleuet, de mesurer les effets de différents amendements azotés sur la décomposition de la MO afin d'identifier les contextes de production favorables au recyclage des nutriments dans ces sols qui sont, pour le rappeler, fondamentalement peu fertiles et pauvres en éléments nutritifs.

1.6 OBJECTIFS DE L'ETUDE ET HYPOTHESES

Puisque la littérature suggère que le bleuet est peu compétitif pour l'assimilation des nutriments sous formes minérales dans un contexte de compétition, le premier objectif de ce projet est de vérifier les effets de la fertilisation minérale et organique sur la croissance et les rendements du bleuet dans différents contextes de compétition. En effet, les essais de fertilisation sur le bleuet sont parfois infructueux lorsqu'il y a présence de PI (Chandler 1943; Eaton et Hall 1950; Trevett 1962). Par contre, des études ont démontré que lorsqu'un contrôle des PI est effectué, les rendements et la croissance du bleuet sont grandement augmentés par les ajouts en fertilisants (Yarborough *et al.* 1986; Eaton 1994; Penney et McRae 2000; Yarborough 2004). En contrepartie, la capacité des plantes Éricacées à acquérir les nutriments sous formes organiques semble supérieure à d'autres espèces selon les résultats d'autres études (Nasholm *et al.* 1998; Joanisse *et al.* 2009). L'hypothèse du premier objectif est que la croissance et les rendements du bleuet seront supérieurs lorsque la fertilisation organique sera appliquée comparativement à la fertilisation minérale, et ce, seulement dans un contexte de compétition avec d'autres espèces.

Le second objectif est de vérifier les effets de la fertilisation minérale et organique sur la croissance des plantes indésirables. L'hypothèse du second objectif est donc que la croissance des plantes indésirables sera supérieure lorsque la fertilisation minérale sera appliquée comparativement à la fertilisation organique.

Le troisième objectif de ce projet était de mesurer l'assimilation de l'N minéral par le bleuet, et ce, dans différents contextes de PI. Tel que mentionné précédemment, le bleuet sera peu compétitif (versus plantes compétitrices) pour l'assimilation de l'N sous forme minérale. En effet, une étude utilisant de l'ammonium marqué ($^{15}N\text{-}NH_4^+$) en présence d'Éricacées (*Kalmia angustifolia, Vaccinium angustifolium, Vaccinium myrtilloides*) a démontré que l'absorption de l'N par quantité de racines est plus élevée chez les plantes compétitrices que chez les plantes Éricacées (Thiffault *et al.* 2004). L'hypothèse qui découle de cet objectif est que le bleuet n'est pas compétitif pour l'assimilation de l'N minéral dans un contexte de compétition avec d'autres espèces. Il est donc prédit que comparativement aux plantes indésirables, le bleuet aura besoin de plus de racines pour absorber une quantité équivalente d'N issu de l'engrais minéral.

Finalement le quatrième et dernier objectif de ce chapitre est de vérifier les effets de la fertilisation minérale et organique sur la décomposition de la litière dans le sol. Les hypothèses qui découlent sont que les deux traitements fertilisants appliqués (organique et minérale) auront un effet positif (versus sans application de fertilisant) sur le taux de décomposition de la litière, alors que le traitement organique occasionnera un taux de décomposition de la litière plus rapide que le traitement minéral (*Priming effect*).

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE A L'ETUDE

L'expérience a été réalisée sur la Bleuetière coopérative de Saint-Eugène-D'Argentenay située au nord du Lac-Saint-Jean, Québec, Canada (48°59'52''N, 72°18'49''W) (Figure 1). Le site est situé aux limites nord de la zone de végétation tempérée nordique, dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune (Ministère de la forêt, des faunes et des parcs du Québec). Les sols de la bleuetière sont caractérisés par des sols de l'Ordre Podzolique issus de dépôts de sable fin ou très fin, d'origine fluvioglaciaire où principalement les séries de sols Parent et Ste-Méthode sont représentées (Raymond *et al.* 1965). On y retrouve également des dunes sableuses d'origine éolienne (série L'Afrique). Les sols situés sur le territoire de la bleuetière sont définis comme étant peu fertiles, très acides et possédant de très faibles capacités de rétention en eau (Raymond *et al.* 1965).

Cette région du Lac Saint-Jean est caractérisée par un climat frais et humide, avec une température annuelle moyenne de 0,8°C. De mai à août, les températures moyennes sont de 14,0°C et les précipitations moyennes annuelles sont de 989,1 mm. Pour la période estivale, les précipitations moyennes sont de 100,9 mm, où le mois de juillet est celui qui reçoit la plus grande quantité de précipitations sous forme de pluie (Environnement Canada, 1981-2010).

La Bleuetière coopérative de Saint-Eugène-d'Argentenay a été aménagée il y a plus de 20 années et est actuellement gérée sur un cycle de production de deux ans, soit une année de croissance végétative suivie d'une année de production de fruits. Le cycle débute par un fauchage complet (à ras le sol) des plants de bleuets à l'automne ou au printemps suivant.

clicours.com

Figure 1- A) Localisation de la bleuetière de St-Eugène-D'Argentenay. B) Carte de la bleuetière avec localisation des six sites étudiés. C) Schéma du dispositif expérimental pour chacun des sites, les traitements (fertilisation minérale (M), organique (O), et témoin (T)) ont été appliqués de façon aléatoire pour chacune des densités de recouvrement de plantes indésirables (R1, R2, R3, R4). Voir tableau 1 pour les détails sur les densités.

2.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'étude a été réalisée de 2014 à 2016. À l'automne 2014, deux secteurs ont été ciblés sur la bleuetière (Figure 1) Les secteurs ont été sélectionnés parce qu'ils étaient caractérisés par la présence de plantes indésirables (PI). En effet, un des secteurs était caractérisé par la présence de la comptonie voyageuse, tandis que l'autre secteur était favorable à la présence de la danthonie à épi. Pour chacun de ces secteurs, 3 sites ont été délimités, où chacun des sites servait de réplicats (répétitions) (Figure 1).

Différentes densités de recouvrement des PI ont été ciblées sur chacun de ces sites. Le recouvrement des plantes dans les parcelles a été évalué en comptant le nombre de plants par m^2 pour la Comptonie voyageuse et la danthonie à épi (Figure 2). Pour ce faire, des parcelles d'un mètre carré (1 m^2) ont été délimitées avec différents pourcentages de PI. Quatre densités de recouvrement des plantes ont été retenues pour l'expérience. Le tableau 1 indique la quantité de plants associés à chacun des densités de recouvrement.

Tableau 1-Quantité de plantes indésirables (PI) correspondant aux densités de recouvrement pour chaque espèce.

Densité de recouvrement de PI	Comptonie voyageuse (Nombre plants m^{-2})	Danthonie à épi (Nombre plants m^{-2})
1	0-1	0-1
2	2-3	5-10
3	4-5	15-20
4	6+	25+

Trois parcelles (1 m^2) ont été délimitées dans chacune des densités autour desquelles des tranchées d'une vingtaine de centimètres de profondeur ont été creusées. L'objectif de cette manœuvre était d'isoler les systèmes racinaires (ex. : les rhizomes du bleuet) afin de restreindre les effets des traitements fertilisants à cette zone de 1 m^2. Une toile de polyéthylène à double épaisseur a été insérée dans les tranchées puis le tout a été rechaussé avec du sol. Un fauchage complet à l'intérieur des parcelles a été par la suite effectué avec une débroussailleuse. La hauteur des tiges fut taillée à moins de 2 cm au-dessus du sol. Aucun herbicide n'a été appliqué sur les sites à l'étude pour toute la durée de l'expérience.

Des traitements fertilisants ont été appliqués au printemps suivant soit en mai 2015. Pour chaque type de PI (comptonie voyageuse et danthonie à épi) et chacune des densités, 3 traitements ont été appliqués de façon aléatoire (Figure 1). Les traitements étaient 1) fertilisation minérale (M), 2) fertilisation organique (O) et 3) traitement témoin (T) (2 PI × 4 Densités × 3 Traitements = 24 combinaisons de traitements × 3 répétitions = 72 unités expérimentales).

Clicours.COM

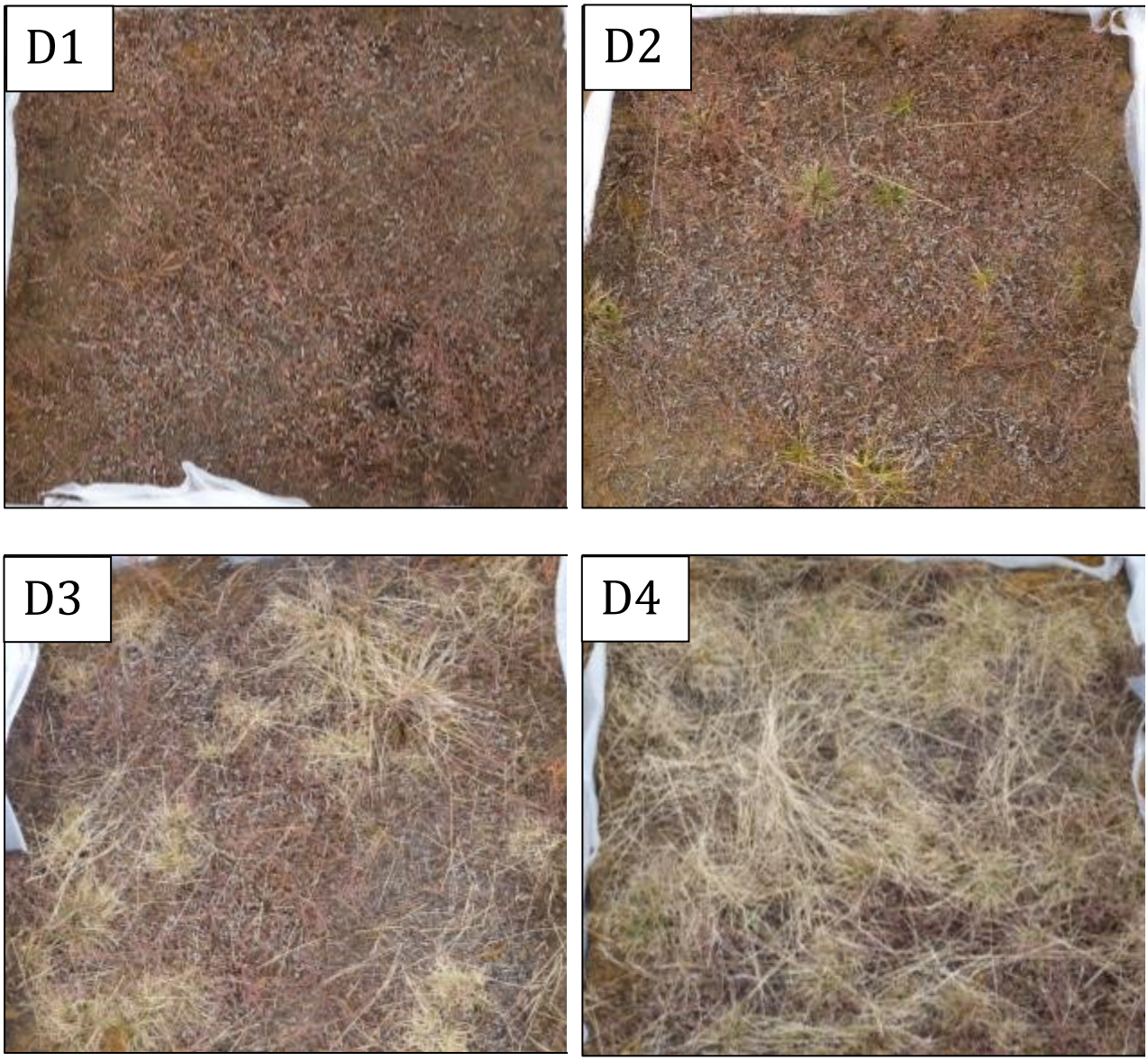

Figure 2-Représentation des densités de recouvrement (D1, D2, D3, D4) de la danthonie à épi lors de la mise en place des parcelles soit à l'automne 2014.

2.3 TRAITEMENTS FERTILISANTS

La fertilisation minérale azotée appliquée était sous forme de sulfate d'ammonium $(NH_4)_2SO_4$ contenant 5 % d'azote isotopique (^{15}N). La fertilisation minérale a été appliquée à un taux équivalent à 45 kg N ha^{-1}, ce qui correspondait à la recommandation du guide de production

des bleuets (Lafond 2014). L'engrais minéral a été dilué dans 2 litres d'eau et appliqué uniformément dans les parcelles à l'aide d'un pulvérisateur manuel (Figure 3).

Une fertilisation en P et en potassium K a également été appliquée tel que recommandé dans le guide de production du bleuet (Lafond 2014). En effet, l'équivalent de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 et 20 kg ha^{-1} K_2O ont été appliqués à la volée uniformément dans chacune des parcelles.

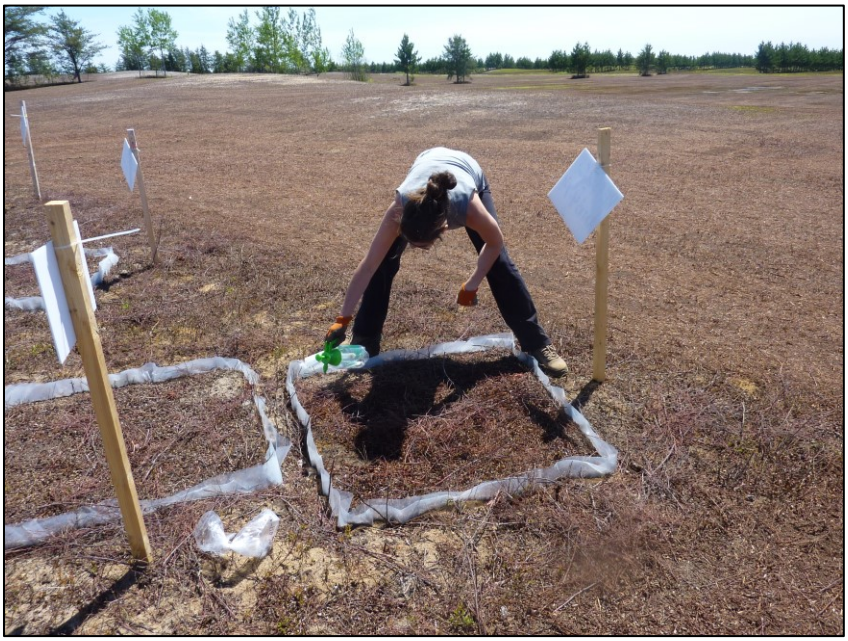

Figure 3-Application des traitements fertilisants (M, O, T) dans les parcelles. Le traitement minéral a été dilué dans l'eau et ensuite appliqué dans les parcelles à l'aide d'un pulvérisateur à main.

L'amendement organique utilisé pour cette étude était du bois raméal fragmenté (BRF) composté en andain pendant trois années. Le BRF a été fourni par la Coopérative forestière Ferland-Boilleau (Saguenay, Québec). Le mélange d'essence qui a été utilisé pour la fabrication du BRF est composé exclusivement de feuillus, principalement de cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pennsylvanica*), d'aulne vert (*Alnus viridis*) et de bouleau à papier (*Betula papyrifera*).

Le BRF utilisé pour cette étude a été analysé pour sa composition en éléments principaux. Les résultats des analyses sont présentés en Annexe B, les analyses du premier échantillon (BRF3_C) ont été utilisées pour les calculs. Les quantités de BRF appliquées dans les parcelles ont été sélectionnées afin de fournir la même quantité d'N que le traitement minéral, soit 45 kg N ha^{-1} pour les deux années de culture. Pour cette raison, le coefficient d'efficacité de la fraction organique du BRF a été fixé à 0,25 (Hébert *et al.* 2010).

$$\text{N disponible } 1^{re}_{année} = [\text{N-NH}_4^+ \text{ x } CE_{FM}] + [\text{N organique x } CE_{FO}] \quad (1)$$

Où :

CE_{FM}=coefficient d'efficacité de la fraction minérale ($N\text{-}NH_4^+$) ;

N organique= N_{total}- $N\text{-}NH_4^+$;

CE_{FO}=coefficient d'efficacité de la fraction organique de l'N.

Au final, 10 kg de BRF humide par m^2 (l'équivalent de 100 t ha^{-1}) ont été appliqués dans chacune des parcelles avec traitement organique. L'ensemble des parcelles ont également reçu 2 L d'eau déminéralisée (sans engrais).

Aucune fertilisation azotée n'a été appliquée dans les parcelles témoins. Par contre, un amendement en P et en K a été appliqué afin de comparer uniquement l'effet d'un apport azoté. En effet, une dose de 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 a été appliquée à la volée. Du sulfate de potassium (K_2SO_4) a aussi été appliqué assurant une dose de 20 kg ha^{-1} de K_2O selon les recommandations du guide de production du bleuet (Lafond 2014). Les parcelles avec traitement témoin ont également reçu 2 L d'eau déminéralisée (sans engrais).

Tableau 2-Quantités d'azote, de phosphore et de potassium appliquées la première année seulement pour chacun des traitements fertilisants.

Traitement fertilisant	Azote (kg N ha^{-1})	Phosphore (kg P_2O_5 ha^{-1})	Potassium (kg K_2O ha^{-1})
Minéral	45	20	20
Organique	45	48	59
Témoin	0	20	20

2.4 VARIABLES MESUREES

2.4.1 RECOUVREMENT VEGETAL

La technique non destructive du « *Point intercept method* » a été utilisée pour déterminer le recouvrement végétal de chacune des espèces (bleuet et PI) présentes dans les parcelles tout au long de l'expérience. Cette technique consiste à insérer une tige pointue à des intervalles

réguliers et à noter le nombre de fois où chacune des espèces est interceptée par le pointe de la tige (Goodall 1952). Pour ce faire, un instrument composé de deux barres perpendiculaires perforées aux 10 cm a été utilisé (Figure 4). L'instrument a permis de recouvrir chacune des parcelles d'un mètre carré et la tige a intercepté la végétation sur 100 points par parcelle.

La mesure du recouvrement végétal a été réalisée à quatre reprises au cours des deux années du projet. Deux relevés ont été faits au cours de la saison de croissance végétative, un à la fin juin et un à la fin août, avant la sénescence des feuilles. Deux autres relevés ont été faits pendant la saison de fructification, un début juin pendant la floraison et un à la mi-août, avant la récolte des fruits. Les équations développées par Lévesque *et al.* (2018) ont été utilisées afin des prédire les biomasses aériennes du bleuet et des PI à chacune des dates d'échantillonnage.

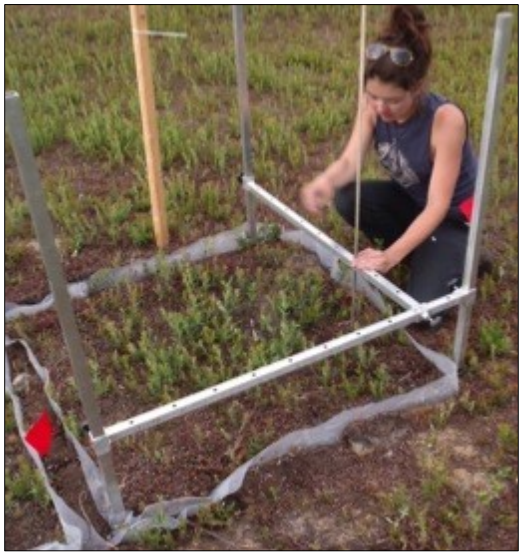

Figure 4- Prise de mesure du recouvrement végétal d'une parcelle à l'aide de la technique du "Point intercept method".

2.4.2 RENDEMENTS EN FRUITS

Tous les fruits dans chacune des parcelles ont été récoltés à la main pendant la semaine du 15 août 2016. Les fruits frais récoltés pour chacune des parcelles ont été pesés immédiatement après leur récolte, alors qu'un sous-échantillon (~125 mL) a été retiré pour estimer les rendements vendables en fruits ainsi que les rendements en matières sèches (65°C, 5 jours). Pour les rendements vendables, les fruits verts (ex. : non mûrs) et malades (ex. : pourritures, etc.) ont été retirés afin de respecter les critères de qualité de l'industrie.

2.4.3 BIOMASSE AERIENNE

Tous les plants de bleuets et de PI ont été coupés à ras le sol dans chacune des parcelles à l'aide d'un sécateur manuel pendant la semaine du 15 août 2016. Les plants (tiges et feuilles) ont été alors pesés, rangés dans des sacs de papier et ensuite entreposés dans un endroit sec avant de procéder au séchage dans une étuve à 60°C pendant 48 heures. Une fois secs, tous les plants ont été pesés à nouveau afin d'estimer leur contenu en matières sèches.

2.4.4 ASSIMILATION DE L'N ISSU DU FERTILISANT MINÉRAL ET ACQUISITION DE L'N

Le dispositif expérimental n'a pas été utilisé en totalité pour mesurer l'assimilation de l'N issu du fertilisant et l'acquisition de l'N. En effet, ces variables ont été mesurées uniquement dans les parcelles ayant reçu un traitement d'N minéral étant donné la présence d'un traceur isotopique (2 PI x 4 Ratios = 8 combinaisons de facteurs x 3 Répétitions = 24 unités expérimentales).

En plus des parties aériennes préalablement récoltées, les systèmes racinaires ont également été récoltés à l'intérieur même des parcelles afin d'estimer les capacités du bleuet et des PI à acquérir l'N issu du fertilisant minéral. Pour ce faire, une superficie équivalente au quart de chaque parcelle (50 × 50 cm, n = 24) a été sélectionnée aléatoirement et délimitée à l'aide d'un gabarit préalablement construit. À l'aide d'une sciotte, les racines ont été sectionnées suivant la délimitation du secteur à échantillonner (Figure 5A). Par la suite, à l'aide d'une pelle, le devant de la superficie à échantillonner a été dégagé afin de permettre l'insertion d'une planche de contre-plaquée préalablement coupée à la dimension voulue (Figure 5B). La planche a été insérée sous la majorité du système racinaire, soit entre 15 et 20 cm de profondeur. En soulevant la planche, les racines et le sol contenus au-dessus de celle-ci ont été récoltés, et ensuite le tout a été enveloppé à l'aide d'une pellicule de plastique pour emballage (Figure 5B et 5D). L'objectif de ces manœuvres était de 1) pouvoir échantillonner rapidement et en totalité le système racinaire et de 2) faciliter son transport au laboratoire.

Une fois au laboratoire, chaque échantillon a ensuite été lavé à l'eau afin de bien séparer les racines du sol. Une fois bien nettoyées, les racines de bleuets et de plantes indésirables

contenues dans chaque parcelle ont été séparées. Les racines ont ensuite été pesées et séchées dans une étuve à 60°C pendant 72 heures.

Une fois séchées, les parties aériennes et racinaires des plants de bleuets et des PI ont été broyées et mélangées une première fois à 1 mm avec un broyeur à marteaux (Pulverisette 19, Fritsch, Idar-Oberstein, Allemagne). Puis, un sous-échantillon du matériel a été broyé plus finement (afin de réduire en poudre) avec un broyeur à bille (Mixer Mill MM 200, Retsch, Haan, Allemagne). Une petite partie des échantillons (~6 mg) a par la suite été insérée dans une capsule d'étain puis envoyée au Centre de recherche GEOTOP (Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, UQÀM, Québec, Canada) afin d'en déterminer la teneur en N total (TruMac CNS macro analyser, Leco, St. Joseph, États-Unis) et en ^{15}N à l'aide d'un spectromètre de masse à rapport isotopique (Micromass Isoprime™ Isoprime 100, Cheadle, Royaume-Uni) couplé à un analyseur élémentaire (Vario MicroCube, Elementar, Hanu, Allemagne).

A l'aide des valeurs obtenues suite aux analyses (teneur en N total (TN) et $\delta\ ^{15}N$), il a été possible de calculer l'N issu du fertilisant (NIDF) pour chaque espèce (bleuet et PI). Pour ce faire, nous avons tout d'abord déterminé la quantité de ^{15}N de chaque échantillon à l'aide de la formule suivante :

$$^{15}N_{échantillon}\ (g) = [\ [(\delta\ ^{15}N/1000)\ x\ AN^{15}N] + AN^{15}N]/100]\ x\ [TN\ x\ M_{échantillon}/100] \qquad (2)$$

Où :

$\delta\ ^{15}N$ MO exprimé en ‰ vs AIR (±0,2‰ à 1σ) ;

$AN^{15}N$ = Abondance isotopique naturelle du ^{15}N dans l'atmosphère ;
TN = Teneur en azote totale de l'échantillon (%) ;
$M_{échantillon}$= Masse totale de l'échantillon (g).

Cette valeur nous a permis de calculer le pourcentage d'N issu du fertilisant à l'aide de la formule suivante :

$$NIDF = [^{15}N_{échantillon} / {}^{15}N_{appliqué}]\ x\ 100 \qquad (3)$$

Où :

$^{15}N_{échantillon}$= Quantité d'^{15}N dans l'échantillon analysé (g) ;

$^{15}N_{appliqué}$= Quantité d'^{15}N appliqué dans la parcelle (g).

Une normalisation des données par rapport à la biomasse racinaire a également été réalisée pour chaque espèce (bleuet et PI). En effet, afin de calculer l'acquisition d'N ($\mu g\ g^{-1}_{racine}$) la formule suivante a été utilisée :

$$\text{Acquisition d'N} = {}^{15}N_{totale} / BR \quad (4)$$

Où :

$^{15}N_{totale}$ = Quantité ^{15}N pour une espèce dans une parcelle (μg) ;

BR = Biomasse racinaire d'une espèce dans une parcelle (g).

Figure 5- Échantillonnage du système racinaire d'une parcelle. A) Sectionnement (50 × 50 cm) des racines, B) Insertion de la planche sous le système racinaire, C) Récolte des racines et du sol, D) Échantillon emballé dans une pellicule plastique pour le transport.

2.4.5 DECOMPOSITION DE LA LITIERE

La décomposition de la litière a été mesurée à l'aide de la méthode des sacs enfouis proposée par Beyaert (2007). Seulement les densités de recouvrement 1 et 4 ont été utilisées pour mesurer la décomposition de la litière (Tableau 1). De plus, un quatrième facteur a aussi été pris en compte, soit le temps d'incubation des résidus où l'on retrouve trois niveaux (3 traitements × 2 PI × 2 densités × 3 dates = 36 combinaisons de facteurs × 3 Répétitions = 108 unités expérimentales).

Pour la méthode des sacs enfouis, des sacs de 10 cm x 10 cm en moustiquaire de fibre de verre avec des ouvertures d'une dimension approximative de 1.5 mm ont été fabriqués. La litière utilisée pour remplir les sacs était composée de feuilles fraîches de bleuet. La quantité de matériel frais inséré dans chacun des sacs variait entre 2 et 3 grammes. L'épaisseur des sacs était de 1 cm maximum, augmentant ainsi la surface de contact du matériel avec le sol. Après la confection des sacs, une quantité de litière a été congelée immédiatement jusqu'à analyse. Un autre échantillon a été séché à 65ºC pendant 48 h afin de déterminer la teneur en eau de la litière utilisée.

Tous les sacs ont été enterrés dans les parcelles le 23 juin 2015, soit environ un mois après l'application des traitements fertilisants. Afin de minimiser les perturbations engendrées aux plants lors de la mise en terre des sacs, ceux-ci ont été disposés sur le même côté en bordure des parcelles. Trois sacs par parcelle ont été enterrés avec une distance d'environ 30 cm entre eux. Les sacs ont été insérés en position horizontale dans l'horizon LFH du sol, soit à une profondeur d'environ 2 à 5 cm (Figure 6).

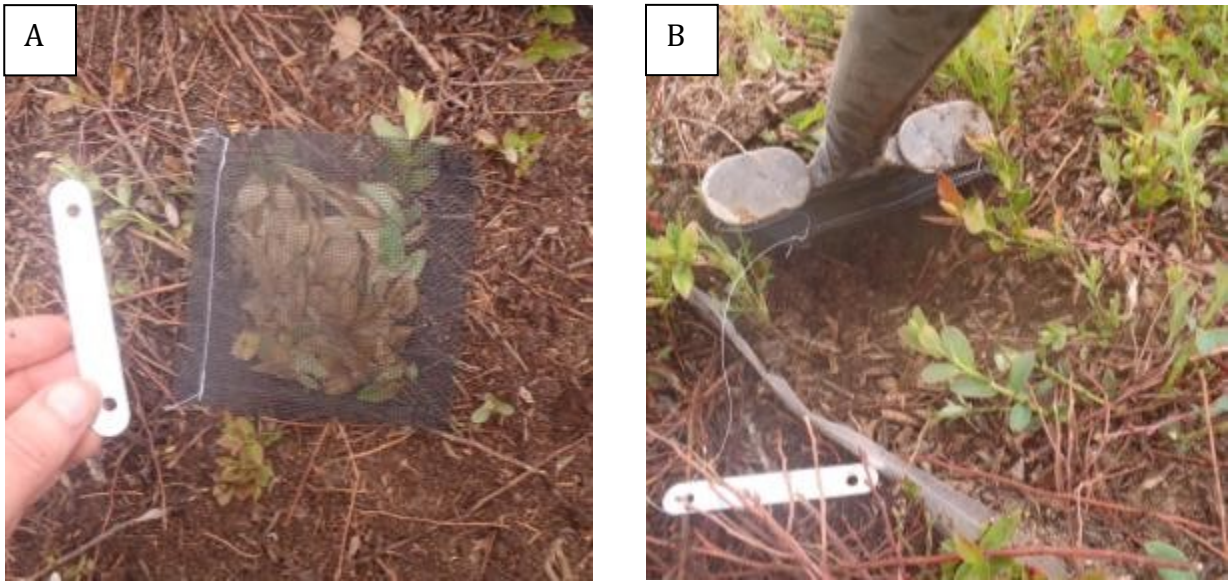

Figure 6-Mise en terre des sacs de litière (feuilles de bleuet) pour l'incubation.

Le tiers des sacs (36) a été prélevé à l'automne 2015, soit après 114 jours d'incubation. Au printemps 2016, une autre série de sacs (36) a été sortie de terre suite à une incubation de 330 jours. Finalement, le dernier tiers des sacs a été prélevé suite à 330 jours d'incubation, soit après la récolte des fruits et des plants dans les parcelles en août 2016.

Après avoir déterré les sacs, ceux-ci ont immédiatement été placés dans des sacs de plastique afin de minimiser la perte de litière. Les sacs ont été entreposés dans un congélateur (-14 ^{o}C) jusqu'à leur ouverture. Ensuite, la litière contenue dans les sacs a été retirée et séchée à 55 ^{o}C pendant 48 heures, nettoyée puis pesée. Afin de bien nettoyer les échantillons, la litière a été examinée à l'aide d'un microscope (binoculaire) pour bien retirer le sable et les racines qui s'étaient introduits dans les sacs. Une fois bien nettoyée, la litière a été broyée finement (Mixer Mill MM 200, Retsch, Haan, Allemagne) puis analysée à la Ferme expérimentale de Normandin d'Agriculture Canada pour déterminer leurs contenus en carbone et N par combustion sèche (TruMac CNS macro analyser, Leco, St. Joseph, États-Unis).

Afin de calculer les pourcentages de perte de masse, perte de C et perte d'N, les formules suivantes ont été utilisées :

$$\text{Perte de masse} = [(M_{initiale}-M_{finale})/M_{initiale}] \times 100 \quad (5)$$

Où:

Clicours.COM

$M_{initiale}$= Masse de la litière dans les sacs avant l'incubation (g)

M_{finale}= Masse finale de la litière dans les sacs après incubation (g)

$$\text{Perte de C} = [(C_{initiale}-C_{finale})/C_{initiale}] \times 100 \quad (6)$$

Où :

$C_{initiale}$= Quantité de C dans les sacs avant incubation (g)

C_{finale} = Quantité de C dans les sacs après incubation (g)

$$\text{Perte d'N} = [(N_{initiale}-N_{finale})/N_{initiale}] \times 100 \quad (7)$$

Où :

$N_{initiale}$= Quantité d'N dans les sacs avant incubation (g)

N_{finale} = Quantité d'N dans les sacs après incubation (g)

2.5 ANALYSES STATISTIQUES

Des analyses de variance (ANOVA) avec modèles mixtes ont été effectuées afin de mesurer l'effet des différents facteurs sur les variables mesurées. Les deux PI ont été séparées pour les analyses statistiques puisque leurs densités ne correspondaient pas aux mêmes abondances entre les deux espèces. Pour mesurer les effets des facteurs et de leurs interactions sur le recouvrement végétal, le modèle statistique était composé de 3 blocs (facteur aléatoire), de 3 traitements (facteur fixe), de 4 densités de recouvrement des PI (facteur fixe) et de 2 dates (facteur fixe). Les années (2) de mesures de recouvrement végétal ont également été séparées pour les analyses. Seuls les facteurs blocs, traitements fertilisants et densité de recouvrement ont été utilisés pour la biomasse aérienne et les rendements en fruits, alors que les facteurs blocs, traitements fertilisants, densité de recouvrement, temps d'incubation et types de PI ont été utilisés pour la décomposition de la litière.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel JMP 11.0.0 (SAS institut, Cary, NC, États-Unis). Avant d'effectuer les analyses, l'homogénéité et la normalité des données ont été évaluées graphiquement. Lorsque nécessaire, une transformation racine carrée des données a été effectuée. Lorsqu'un facteur ou une interaction de facteurs démontraient un effet significatif,

le test *a posteriori* de comparaisons multiples Tukey a été effectué. Les seuils de significativité ont été fixés à un niveau alpha de 0,05.

3 RÉSULTATS

3.1 BLEUET NAIN SAUVAGE

3.1.1 RECOUVREMENT VEGETAL

3.1.1.1 SITES AVEC DANTHONIE A EPI

À la première année, les traitements fertilisants ont eu un effet significatif sur la biomasse estimée du bleuet (BEB) (Figure 7). En effet, la fertilisation minérale a augmenté la BEB de 51 % par rapport au témoin à l'année 1. En contrepartie, lorsqu'une fertilisation organique est appliquée, une diminution de 14 % par rapport au témoin de la BEB est observée lors de la première année. À la deuxième année, la BEB est significativement supérieure lorsque la fertilisation minérale est appliquée, comparativement au traitement organique et au témoin. En effet, une augmentation de la BEB de 30 % comparativement au témoin est observée avec une fertilisation minérale. Par contre, il n'y a aucune différence significative entre le traitement organique et le témoin à l'année 2 (Figure 7).

Le facteur densité de recouvrement a un effet significatif sur la BEB, et ce pour les deux années (Annexe A, résultats non présentés). Ce résultat est logique, car le facteur densité de recouvrement correspond à l'abondance de plantes indésirables dans les parcelles, ce qui influe directement la biomasse du bleuet dans celles-ci.

Le facteur date est significatif, et ce pour les deux années. En effet, une croissance de 103 % du bleuet entre le début et la fin de la première année est observée tandis qu'à la deuxième année, une croissance de 28 % de la BEB a été mesurée (résultats non présentés). De plus, il y a une interaction significative entre les facteurs date et traitement à l'année 1 (Annexe A, $p=0,0076$).

3.1.1.2 SITES AVEC COMPTONIE VOYAGEUSE

La fertilisation a eu un effet significatif sur la BEB à l'année 1 (Annexe A, $p< 0,0001$). En effet, il y a une augmentation de 25 % de la BE des plants de bleuets fertilisés avec un amendement minéral comparativement au témoin (Figure 7). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre le traitement organique et le traitement minéral pour la BEB.

Le facteur date est fortement significatif pour les BEB aux deux années (Annexe A). Ceci indique une augmentation de la BEB de 139 % entre le début et la fin pour la première année, et de 82 % à la deuxième année (résultats non présentés). Le facteur densité de recouvrement a eu un effet significatif sur la BEB à l'année 1 mais pas à l'année 2 (Annexe A). Une interaction significative des facteurs traitement et date est présente à l'année 1.

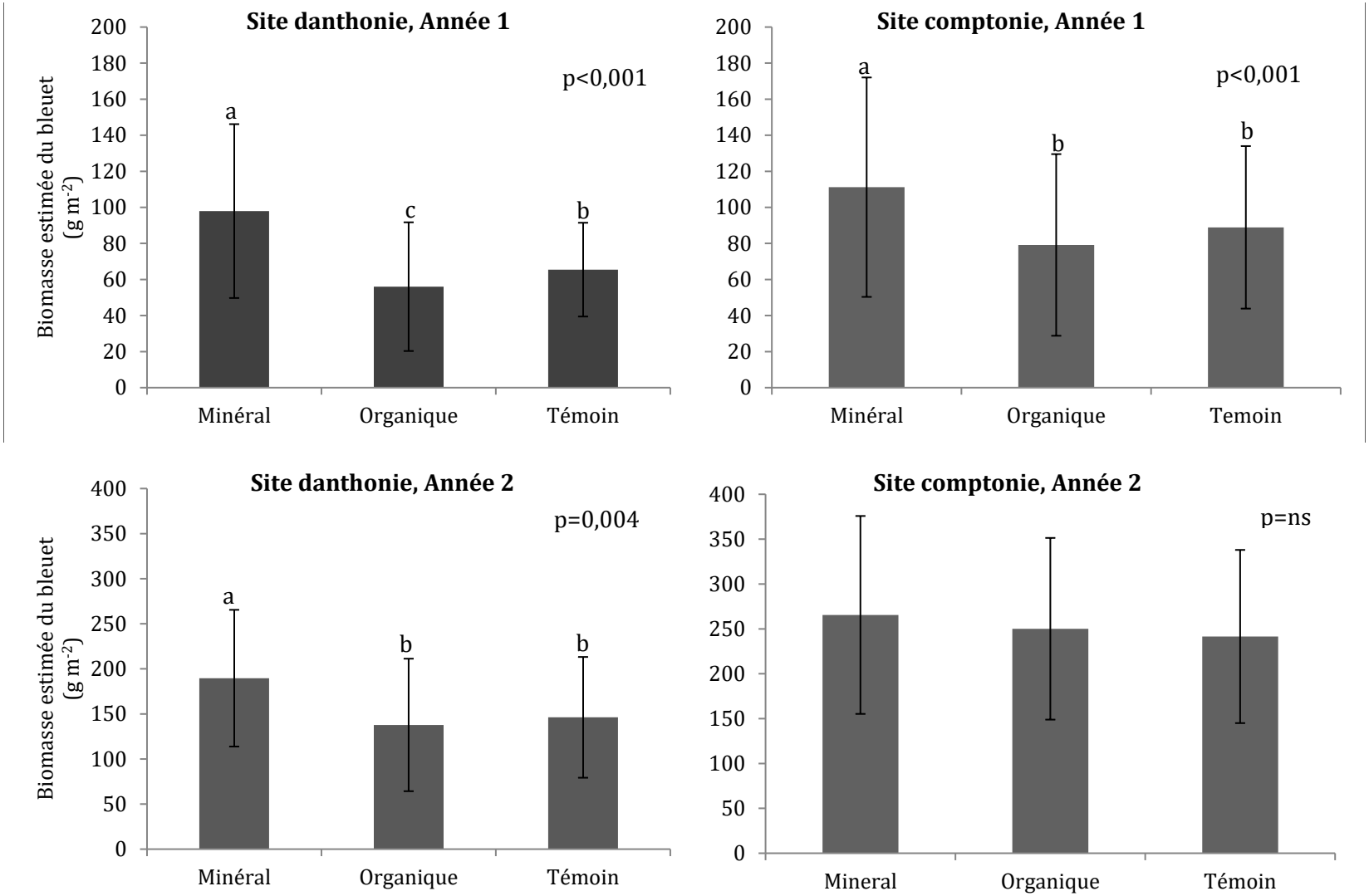

Figure 7-Effets des traitements fertilisants sur la biomasse estimée du bleuet (g m^{-2}) des sites caractérisés par la présence de la danthonie à épi et la comptonie voyageuse, pour les années 1 et 2. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau α = 0.05 ont été effectués.

3.1.2 BIOMASSE AERIENNE

3.1.2.1 SITE AVEC DANTHONIE A EPI

Les traitements fertilisants ont eu un impact significatif sur la biomasse aérienne finale (à la fin de l'année 2) du bleuet (BAB) (Figure 8, p=0,029). Des tests a *posteriori* de Tukey ont indiqué qu'il y a une différence significative entre le traitement minéral et le témoin, tandis que le traitement organique se situe entre les deux traitements mais n'est pas différent des deux autres (Figure 8). Une augmentation de 44 % de la BAB est présente avec la fertilisation minérale comparativement au témoin. Même s'il n'y a pas de différence significative entre les traitements organique et témoin, une tendance d'augmentation de la BAB de 13 % est observée lorsque le traitement organique est appliqué comparativement au témoin.

L'abondance de la danthonie à épi (densité de recouvrement) a eu un impact significatif sur la BAB (Annexe A, p<0,001). Des tests a *posteriori* de Tukey ont permis de démontrer que la BAB des densités 1, 2 et 3 est statistiquement similaire alors qu'une différence significative est observée entre la densité 4 et les autres densités de recouvrement (Figure 8). En effet, la BAB diminue de 61 % lorsqu'il y a plus de 25 plants/m^2 de danthonie à épi (Figure 8).

3.1.2.2 SITE AVEC LA COMPTONIE VOYAGEUSE

En présence de la comptonie voyageuse, le facteur traitement fertilisant a aussi eu un impact significatif sur BAB (Annexe A, p=0,008). Les tests a *posteriori* de Tukey ont permis de démontrer une différence significative entre les BAB associés au traitement minéral et témoin (Figure 8). En effet, une augmentation de 30 % de la BAB est observée entre le traitement minéral et le témoin. Bien qu'il n'y ait pas de différence significative entre le traitement organique et le témoin, une tendance d'augmentation de la BAB de 10 % est présente lorsque la fertilisation organique est appliquée.

L'abondance de la comptonie voyageuse n'a pas eu d'effet significatif sur la BAB (Figure 8, p=0,07).

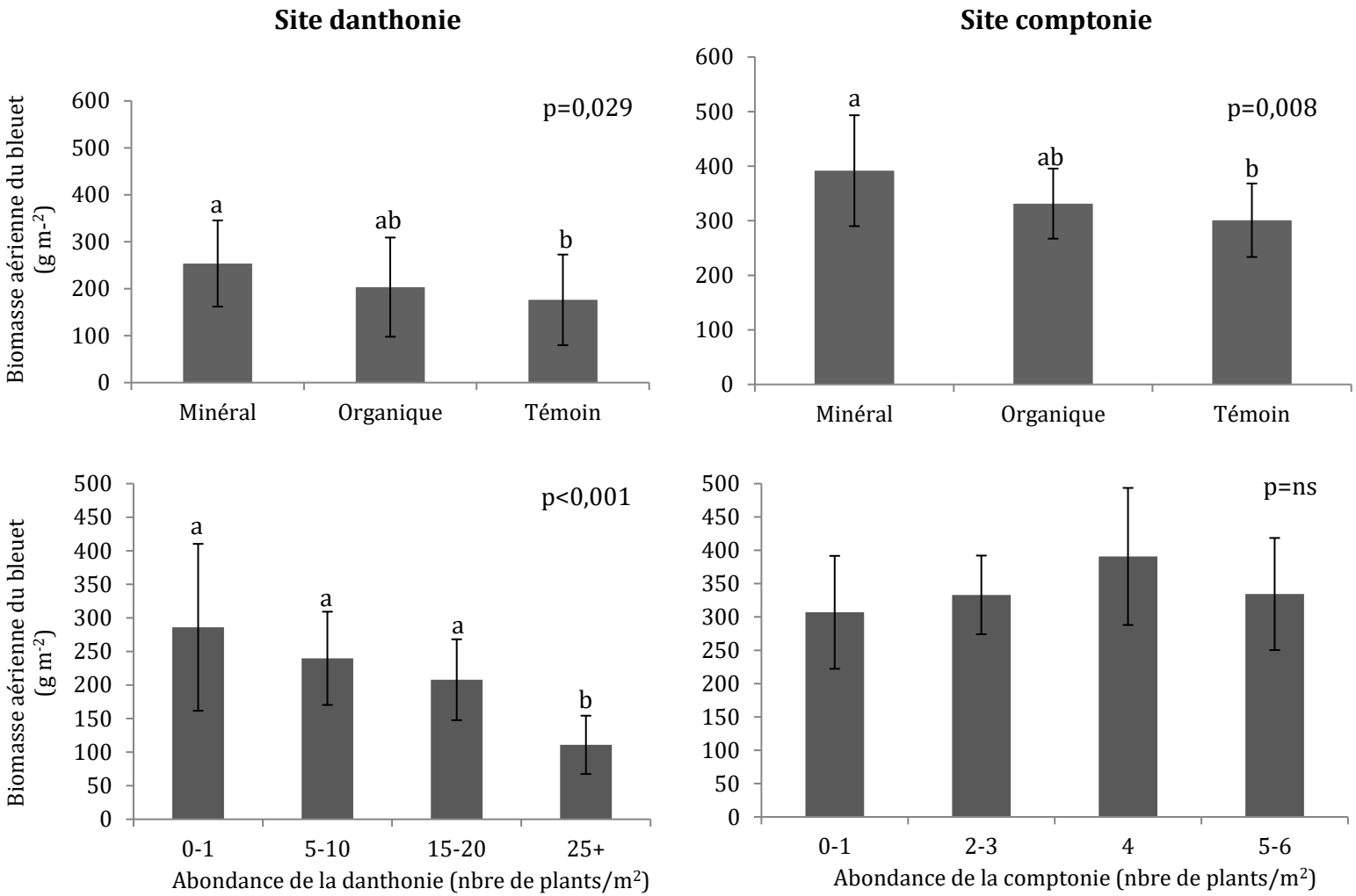

Figure 8-Effets des traitements fertilisants et de l'abondance des plantes indésirables sur la biomasse aérienne moyenne du bleuet mesurée à la fin de l'année 2 des sites caractérisés par la présence de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau α = 0.05 ont été effectués.

3.1.3 RENDEMENTS EN FRUITS

3.1.3.1 SITE AVEC DANTHONIE A EPI

La fertilisation a eu un impact significatif sur les rendements en fruits vendables (Figure 9, p=0,023). Des tests a *posteriori* de Tukey ont permis de démontrer qu'il y a une différence significative entre le traitement minéral et le témoin alors que le traitement organique est statistiquement similaire aux deux autres types de fertilisation (Figure 9). La fertilisation minérale a permis d'augmenter les rendements en fruits de 82 % comparativement au témoin. Même s'il n'y a pas de différence significative, une tendance d'augmentation des rendements de 19 % est observée lorsque le traitement organique est appliqué comparativement au témoin.

L'abondance de la danthonie à épi (densité de recouvrement) a eu un impact significatif sur les rendements en fruits vendables (Figure 9, p=0,003). Lorsque l'abondance de la danthonie à épi se situait entre 15 et 20 plants/m^2, une diminution des rendements de 35 % était observée comparativement à la densité de recouvrement 1 (Figure 9). De plus, lorsque l'abondance de la danthonie à épi correspondait à 25+ plants/m^2, la diminution des rendements en fruits était de 70 %.

3.1.3.2 SITE AVEC COMPTONIE VOYAGEUSE

La fertilisation a aussi eu un impact significatif sur les rendements en fruits lorsque le bleuet était en présence de la comptonie voyageuse (Figure 9, p=0,042). En effet, la fertilisation minérale a permis d'augmenter les rendements en fruits de 45 % comparativement au témoin (Figure 9). De plus, bien qu'il n'y ait pas de différence significative entre le traitement organique et le témoin, une tendance d'augmentation des rendements en fruits de 13 % a été observée lorsque la fertilisation organique est appliquée.

Contrairement à la biomasse aérienne, l'abondance de la comptonie voyageuse (densité de recouvrement) a aussi eu un effet significatif sur les rendements en fruits (Figure 9, p< 0,0001). En effet, une diminution des rendements en fruits de 48 % est observée lorsqu'on retrouve 4 plants/m^2 de comptonie voyageuse comparativement à la densité 1, alors que cette diminution des rendements augmente à 72 % lorsque l'abondance de la comptonie voyageuse est de 5-6 plants/m^2.

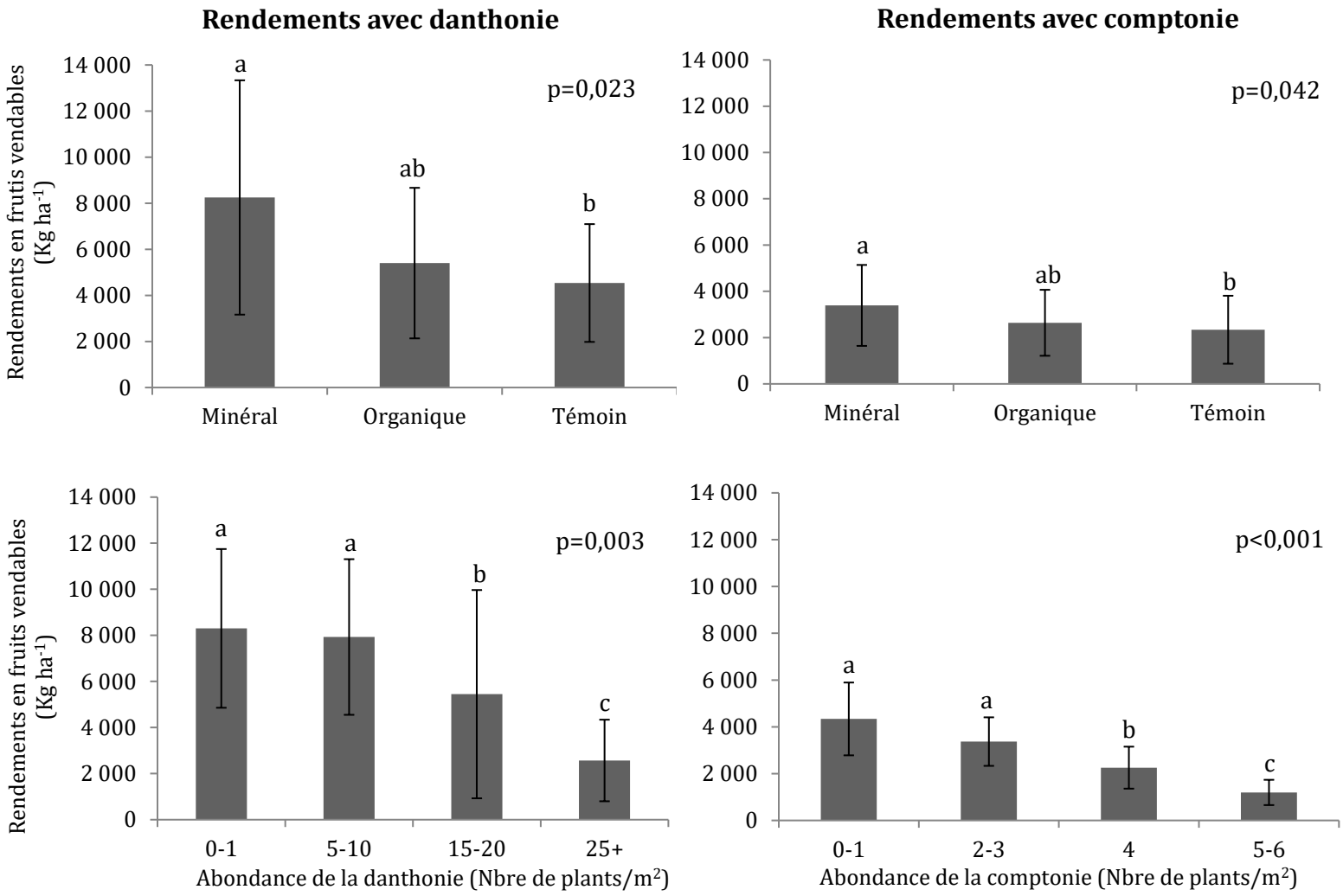

Figure 9 Effets des traitements fertilisants et de l'abondance des plantes indésirables sur les rendements en fruits moyens des sites caractérisés par la présence de la danthonie à épi à épi et de la comptonie voyageuse. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau α = 0.05 ont été effectués. Chaque niveau d'abondance des PI est associé à des densités dans le texte. Pour la danthonie à épi : D1= 0-1 plants/m^2, D2=5-10 plants/m^2, D3=15-20 plants/m^2, D4=25+ plants/m^2. Pour la comptonie voyageuse : D1= 0-1 plants/m^2, D2=2-3 plants/m^2, D3=4 plants/m^2, D4=5-6 plants/m^2.

3.2 PLANTES INDÉSIRABLES

3.2.1 RECOUVREMENT VEGETATIF

3.2.1.1 DANTHONIE A EPI

À la première année, le facteur traitement fertilisant a eu un effet significatif sur la biomasse estimée de la danthonie à épi (BED) (Annexe A, $p< 0,0001$). En effet, la fertilisation minérale a augmenté la BED de 71 % comparativement au témoin (résultats non présentés). Par contre, toujours à l'année 1, il n'y a pas de différences significatives entre les traitements organique et témoin pour la BED (résultats non présentés). À l'année deux, les traitements fertilisants n'ont pas eu d'effet sur la BED (résultats non présentés).

Le facteur date est significatif pour la BED et ce aux deux années, indiquant une biomasse estimée différente au début et à la fin des deux saisons du projet (Annexe A, résultats non présentés). À l'année 1 et à l'année 2, des croissances respectives de la BED de 88 % et de 45 % sont présentes entre le début et la fin des deux saisons (résultats non présentés).

Une interaction significative entre la fertilisation et la densité est observée durant l'année 1 (Annexe A). En effet, nos résultats indiquent une augmentation >75 % de la BED lorsque la fertilisation minérale est appliquée comparativement au témoin, et ce, seulement lorsque l'abondance de la danthonie à épi est élevée (>15 plants/m^2) (Figure 10). De plus, les résultats indiquent clairement que la fertilisation organique n'a pas augmenté la BED (Figure 10).

3.2.1.2 COMPTONIE VOYAGEUSE

Les traitements fertilisants n'ont pas eu d'effet sur la biomasse estimée de la comptonie voyageuse (BEC) et ce, pour les deux années (Figure 10). Il n'y a pas d'interactions significatives entre la fertilisation et la densité de recouvrement de la comptonie voyageuse (Figure 10).

Clicours.COM

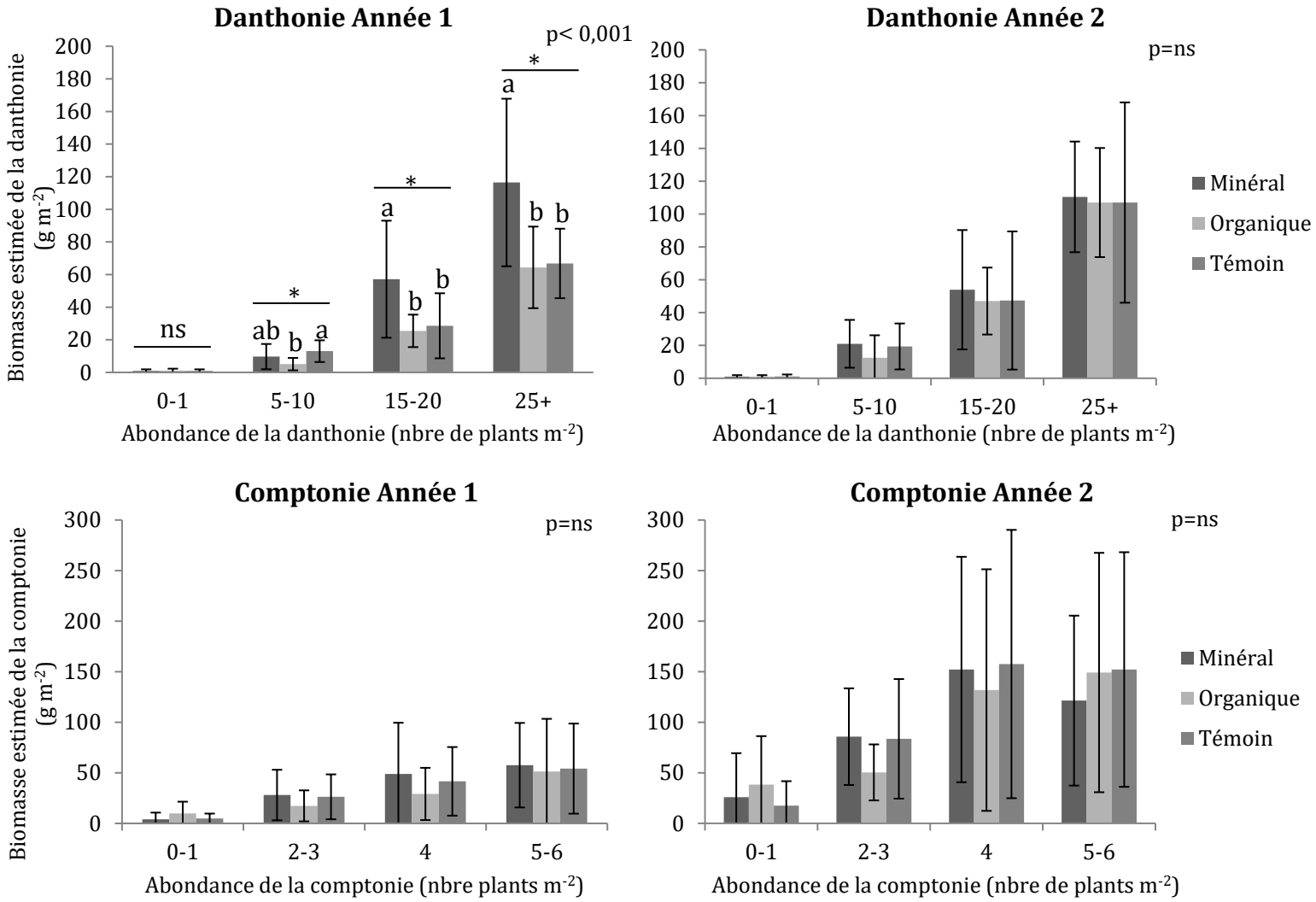

Figure 10 Effets de la fertilisation et de la densité de recouvrement sur la biomasse estimée de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse pour les deux années de l'étude. Lorsque les ANOVAs ont indiqué des différences significatives pour les facteurs (Annexe A), des tests *a posteriori* de Tukey à un niveau α = 0.05 ont été effectués.

3.2.2 BIOMASSE AERIENNE

3.2.2.1 DANTHONIE A EPI

La fertilisation n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse aérienne de la danthonie à épi (BAD) (Annexe A, p=0,7170). Il semble donc que l'augmentation de la biomasse de la danthonie à épi occasionnée par l'ajout d'un fertilisant azoté minéral soit observable à la première année seulement, année où le fertilisant est appliqué.

3.2.2.2 COMPTONIE VOYAGEUSE

Pour la comptonie voyageuse, le même patron est observé que pour la danthonie à épi. Effectivement, la fertilisation n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse aérienne de la comptonie voyageuse (BAC) (Annexe A, p=0,9493).

3.3 ASSIMILATION DE L'N ISSU DU FERTILISANT MINÉRAL

3.3.1 SITES AVEC DANTHONIE À ÉPI

La végétation dans les parcelles (bleuet et danthonie à épi) a assimilé 22 % de l'N appliqué. Pour l'ensemble des sites, le bleuet a assimilé près de 6 fois plus d'N que la danthonie à épi (Figure 11). Toutefois, comparativement au bleuet, l'acquisition de l'N par gramme de biomasse racinaire a été 4 fois plus élevée pour la danthonie à épi, (Figure 11), suggérant ainsi une plus faible compétitivité du bleuet pour l'acquisition de l'N sous forme minéral.

3.3.2 SITES AVEC COMPTONIE VOYAGEUSE

Pour les sites avec présence de comptonie voyageuse, la végétation (bleuet et comptonie voyageuse) a assimilé plus de 40 % de l'N issu du fertilisant minéral (Figure 13). De façon générale, la majorité de l'N qui a été appliquée sous forme de fertilisant minéral a été assimilée par le bleuet (Figure 11). En effet, le bleuet a assimilé près de 3 fois plus d'N que la comptonie voyageuse (Figure 11). Toutefois, tout comme en présence de la danthonie à épi, l'acquisition par gramme de biomasse racinaire a été 3 fois plus élevée pour la comptonie voyageuse comparativement au bleuet (Figure 11), suggérant ainsi, encore une fois, une plus faible compétitivité du bleuet lorsque la fertilisation minérale azotée est utilisée.

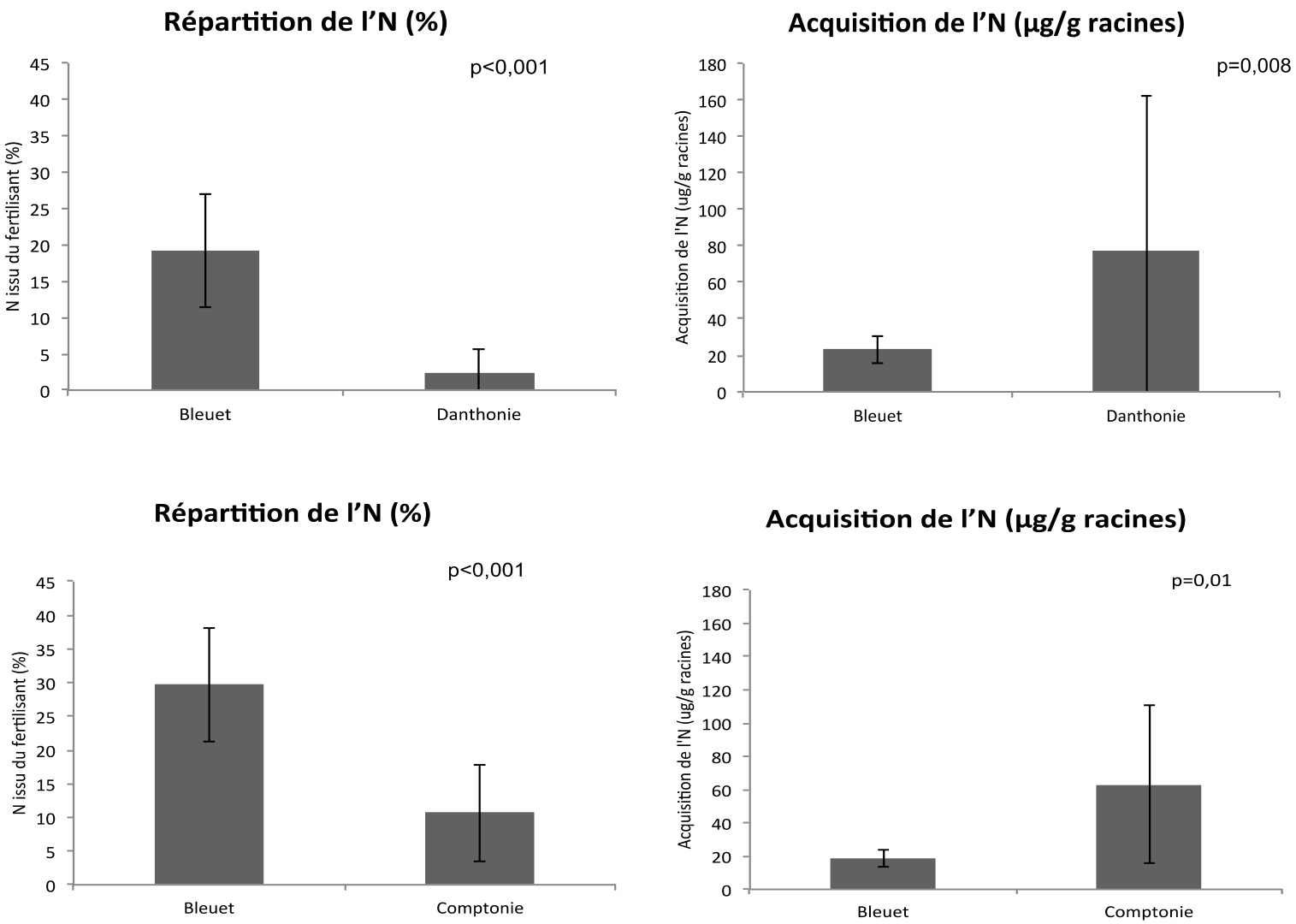

Figure 11-Comparaison de l'assimilation de l'N issu du fertilisant (%) et de l'acquisition de l'N (µg g^{-1}_{racine}) entre le bleuet et les deux espèces de PI (comptonie voyageuse et danthonie à épi). Les seuils de significativité ont été fixés à un niveau alpha de 0,05.

3.4 DECOMPOSITION DE LA MATIERE ORGANIQUE

Les traitements fertilisants n'ont pas eu d'effets significatifs sur la perte de masse, la perte de C et la perte d'N de la litière (Annexe A). En fait, mis à part le facteur date, aucun autre facteur n'a eu d'effet significatif sur les trois variables mesurées (Annexe A). Le type de fertilisation ainsi que la densité de recouvrement en PI n'ont donc pas d'effet sur la décomposition de la litière dans le sol.

Les résultats montrent que la majorité de la décomposition de la litière s'effectue durant les 114 premiers jours d'incubation (Figure 12). En effet, à la date 1 (114^{e} jour), plus de 72 % de la litière avait disparu des sacs, tandis que 216 jours plus tard, à la date 2, seulement 10 % de la litière a été dégradé. Finalement, 18 % de la litière a été décomposée entre la date 2 et la date 3, soit pendant les 94 derniers jours d'incubation (Figure 12).

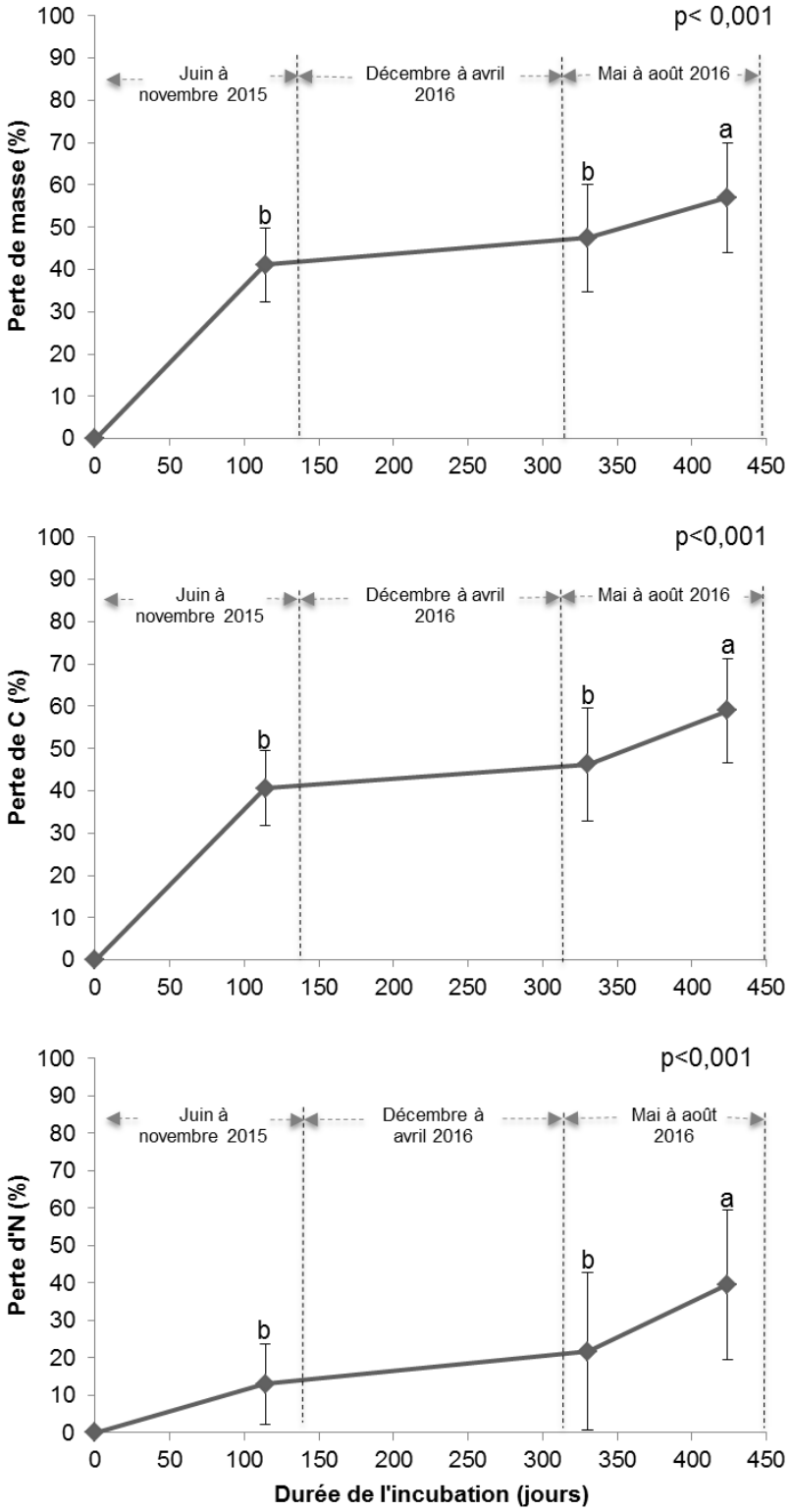

Figure 12- Effets de la durée de l'incubation de sacs enfouis sur la perte de masse moyenne de la litière la perte de C et la perte d'N. Les dates d'échantillonnage correspondent à : 1=15 octobre 2015, 2 =18 mai 2016 et 3= 20 août 2016. Les résultats représentent la moyenne combinée pour chaque date d'échantillonnage (n=36). Les lettres indiquent les différences significatives entre les dates suite au test a *posteriori* de Tukey. Les seuils de significativités ont été fixés à 0,05.

4 DISCUSSION

4.1 IMPACT DE LA FERTILISATION AZOTEE

4.1.1 CROISSANCE DES PLANTES INDESIRABLES

4.1.1.1 DANTHONIE A EPI

La croissance de la danthonie à épi a clairement été stimulée par la fertilisation azotée minérale. En effet, la croissance de la danthonie à épi a augmenté de plus de 75 % la première année suivant la fertilisation lorsque la densité des plants était supérieure à 10 plants m^{-2}. De plus, bien que le bleuet ait assimilé la majorité du ^{15}N lorsqu'il était en compétition avec la danthonie à épi, celle-ci a été plus performante pour assimiler l'N minéral (4 fois plus performante que le bleuet) par rapport à sa biomasse racinaire (Figure 11). La danthonie à épi est plus compétitive que le bleuet afin de prélever l'N minéral provenant d'un fertilisant appliqué à la surface du sol étant donné la distribution spatiale de son système racinaire. En effet, celui-ci est constitué d'un réseau de petites fibres très densément distribué dans les couches superficielles du sol, majoritairement au-dessus du système racinaire du bleuet (Darbyshire, 1989). De plus, il est connu que certaines espèces, notamment les graminées, sont aptes à augmenter la prolifération de leurs racines dans les zones du sol plus riches en nutriments (Robinson 1994; Hodge *et al.* 1999). En contrepartie, l'N sous forme organique n'a pas eu d'effet sur la croissance de la danthonie à épi et ce, pour toutes les densités de recouvrement testés, suggérant ainsi deux choses : 1) un faible arrière effet de l'N issu du BRF appliqué et 2) de faibles prélèvements d'N sous formes organiques par la danthonie à épi. Tout comme le suggère l'étude de Persson *et al.* (2003), les Graminées assimilent une plus grande quantité d'N minéral que d'N organique. Les résultats de notre étude permettent donc d'appuyer le fait que la danthonie à épi, une graminée, semble avoir une aptitude particulière à assimiler l'N sous forme minérale seulement.

4.1.1.2 COMPTONIE VOYAGEUSE

La comptonie voyageuse, quant à elle, ne semble pas avoir été avantagée par les différents traitements fertilisants. En effet, nos résultats démontrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements minéral, organique et témoin pour la biomasse estimée de la

comptonie voyageuse, et ce aux deux années ainsi que pour toutes les densités de recouvrement (Figure 10). Toutefois, l'acquisition d'N issu du fertilisant minérale par gramme de biomasse racinaire a été 3 fois plus élevée pour la comptonie voyageuse comparativement au bleuet. Ces résultats suggèrent donc que cette espèce, de la famille des Myricacées, compétitionne fortement le bleuet pour l'acquisition de l'N (organique ou minérale). En effet, la comptonie voyageuse a développé différents mécanismes d'acquisition des nutriments ce qui fait en sorte que cette espèce n'est pas dépendante de l'apport exogène d'N pour sa nutrition. Tout d'abord, cet arbuste est capable de fixer l'N atmosphérique à l'aide d'une association symbiotique avec l'actinobactérie *Frankia* (Fessenden *et al.* 1973; Morris *et al.* 1974; Berliner et Torrey 1989), lui donnant ainsi un avantage de taille en sols pauvres en nutriments tels que ceux utilisés pour produire le bleuet dans la région. De plus, la présence de racines en amas chez la comptonie voyageuse lui permet également d'être très performante pour l'acquisition des nutriments (Berliner et Torrey 1989; Hurd et Schwintzer 1997). En effet, le développement de racines en amas chez certaines espèces peut se faire très rapidement dans les zones du sol riches en nutriments et dans les couches supérieures du sol ou la matière organique est plus abondante (Lamont 1973). Ce trait fonctionnel confère à la comptonie voyageuse la capacité d'aller chercher rapidement les nutriments et d'être très compétitives pour leur acquisition, et ce peu importe la forme d'N (organique ou minéral) et la densité de recouvrement de cette plante indésirable.

4.1.2 CROISSANCE ET PRODUCTIVITE DU BLEUET

À la première année suivant l'application des traitements fertilisants, la fertilisation minérale semble avoir avantagé le bleuet. En effet, la biomasse estimée du bleuet obtenue à l'aide du «*Point intercept method*» est plus élevée pour les parcelles minérales à la première année. De plus, la fertilisation organique semble avoir diminuée la croissance du bleuet dans les parcelles contenant la danthonie à épi, et ce uniquement lors de la première année suivant les traitements. Il est possible que l'épaisseur de BRF appliqué dans les parcelles ait causé un léger ralentissement de la croissance végétative des bleuetiers en raison du ratio C/N élevé du BRF (Annexe B). En effet, l'application de matières ligneuses, comme le BRF, cause une immobilisation de l'N durant la première année, rendant ainsi moins d'N minéral disponible pour le bleuet (Beauchemin, 1990).

Par contre, à la deuxième année suivant l'application des traitements fertilisants, le traitement minéral ne semble plus améliorer la croissance végétative du bleuet comparativement au traitement organique. Effectivement, il est intéressant de constater qu'il n'y a pas de différences significatives de la biomasse aérienne du bleuet entre le traitement minéral et organique à la fin de la deuxième année d'étude (Figure 8). De plus, il n'y avait pas de différences significatives entre les rendements en fruits associés aux deux traitements fertilisants (Figure 9). Deux phénomènes peuvent expliquer ces résultats. Le premier est simplement la minéralisation de l'N organique en azote minéral durant les deux premières années suivantes aux applications de BRF. En effet, l'arrière effet (minéralisation d'N organique en N minéral) des engrais organiques peut s'effectuer sur plusieurs années (Hébert *et al*., 2010), alors qu'il est maintenant documenté que l'engrais minéral est presque totalement utilisé lors de la première année de l'application (Lafond et Ziadi 2013). Le deuxième phénomène se rapporte à l'assimilation (p. ex. absorption) de l'azote organique (p. ex. protéines, acides aminés, etc.) issu du BRF par le bleuetier. En effet, il a été démontré que plusieurs espèces de la forêt boréale (*Pinus sylvestris, Picea abies, Vaccinium myrtillus, Deschampsia flexuosa, etc*) sont en mesure d'assimiler l'N directement sous forme organique, plutôt que sous forme minérale (Chapin *et al.* 1993; Nasholm *et al.* 1998; Persson et Näsholm 2001). À ce titre, les Éricacées semblent performantes comparativement à d'autres espèces pour assimiler l'N organique (Nasholm *et al.* 1998). De plus, il semblerait que les plantes ayant des mycorhizes éricoïdes, comme les Éricacées, soient particulièrement efficaces pour prélever l'N organique (Read 1991; Cairney et Meharg 2003; Read et Perez‐Moreno 2003). C'est un avantage notable pour ces espèces particulièrement dans les contextes où la disponibilité de l'N sous formes minérales est faible. La faible performance de la danthonie à épi suite aux apports de BRF favorise le deuxième phénomène comme explication plausible. Ainsi, les résultats de notre étude suggèrent donc que le bleuet a bénéficié (comparativement à la danthonie à épi) de sa capacité à assimiler l'N sous forme organique dans les parcelles où le traitement organique (BRF) a été appliqué. Bien qu'il n'y ait pas de différences significatives entre le traitement organique et le traitement témoin, il y a tout de même une tendance d'augmentation des rendements en fruits de 13 à 20 % entre les deux traitements.

La majorité du ^{15}N qui a été appliqué lors de ce projet a été assimilé par le bleuet. En effet, dans les parcelles contenant la danthonie à épi, 20 % du ^{15}N a été retrouvé dans la biomasse du bleuet tandis que 2 % étaient dans la danthonie à épi, tandis que dans les parcelles contenant la comptonie voyageuse, 30 % du ^{15}N a été assimilé par le bleuet contre 10 % pour la comptonie voyageuse. Les Éricacées ont donc acquis une plus grande quantité d'N issu du fertilisant minéral comparativement aux autres espèces. Par contre, il faut considérer que l'abondance du bleuet était beaucoup plus importante que les autres espèces dans cette étude et que l'acquisition par gramme de biomasse racinaire a été beaucoup moins élevée pour le bleuet comparativement à la danthonie à épi et à la comptonie voyageuse. Les arbustes Éricacées ont donc assimilé une plus grande proportion d'N minéral non pas à cause de leur performance d'acquisition, mais à cause de leur biomasse racinaire importante et majoritaire à l'intérieur de chacune des parcelles.

De plus, il est intéressant de constater que les résultats obtenus dans cette étude suggèrent que la majorité de l'N minéral appliqué n'est pas assimilé par les plantes. En effet, 70 % du ^{15}N qui a été appliqué n'a pas été retrouvé dans les tissus végétaux après analyse. Ce qui corrobore les résultats d'autres études comme celle de Thiffault *et al.* (2004), de Preston et Mead (1994) et de Staples *et al.* (1999). La quantité d'^{15}N résiduelle est possiblement immobilisée sous forme organique dans divers constituants présents dans le sol (Chang *et al.* 1997). En effet, les résultats d'une étude suggèrent que la majorité du ^{15}N appliqué est retenu dans le sol sous formes organiques pour une période d'au moins 8 ans (Preston et Mead 1994).

4.1.3 PRODUCTIVITE DES SOLS

Bien que certaines études aient démontré que l'apport de MO fraîche et labile (Broadbent 1948; Bingeman *et al.* 1953; Sørensen 1974) ou d'N minéral (Hunt *et al.* 1988; Prescott *et al.* 1992; Apolinário *et al.* 2014) au sol accélère le taux de décomposition de la MO indigène, les résultats de notre étude n'ont pas permis d'appuyer ces faits. En effet, le taux de décomposition de la litière mesuré avec la méthode des sacs enfouis (Beyaert et Fox 2007) n'a pas été influencé par aucun des traitements appliqués dans notre étude, soit l'N-$(NH_4)SO_4$ ou l'N sous forme organique (BRF). Selon la méta-analyse réalisée par Knorr (2005), plusieurs facteurs influencent la réponse du taux de décomposition de la litière à un ajout de fertilisation azotée. En effet, les résultats sont très variables, certaines études démontrent une stimulation des taux de décomposition après un apport d'N exogène (Hunt, 1988; Carreiro, 2000 ; Hobbie, 2000),

Clicours.COM

d'autres des effets non significatifs (Prescott, 1995 ; Hunt, 1988) tandis que même des inhibitions du taux de décomposition sont observées dans certaines études (Magill, 1998 ; Carreiro, 2000). Par contre, dans un contexte de culture du bleuet, ce phénomène ne semble jamais avoir été documenté. Selon Knorr (2005), la réponse du taux de décomposition de la MO à la fertilisation azotée dépend de la dose de fertilisation appliquée, de la qualité de la litière et de l'apport d'N anthropogénique. Dans le contexte de notre étude, la dose de fertilisation était de 45 kg N ha^{-1} appliquée seulement une année sur deux tandis que dans certaines études, les doses appliquées peuvent atteindre 600 kg N $ha^{-1}an^{-1}$. Il est donc possible que la quantité d'N amendée n'ait pas été suffisante afin d'influencer le taux de décomposition de la MO indigène. La qualité de la litière utilisée, c.-à-d. le taux de lignine et le contenu en N, peut également avoir un impact sur la perte de masse de la litière (Melillo, 1982). La litière utilisée pour notre projet était composée de feuilles fraîches de bleuet et la quantité en lignine dans les feuilles est généralement assez faible comparativement aux parties fibreuses des plantes, ce qui devrait en faire une litière de bonne qualité et facilement décomposable. Il est toutefois surprenant que l'apport de MO, soit le BRF dans notre étude, n'ait pas occasionné le «*priming effect*» escompté. Il est fort probable que l'apport de BRF ait stimulé l'activité microbiologique du sol en procurant aux microorganismes une source de C supplémentaire, par contre une augmentation significative de la décomposition de la MO dans les sacs n'a pas été observée. Il se pourrait que les microorganismes aient utilisé cette nouvelle source d'énergie pour dégrader la MO fraîche incorporée et non pas la MO indigène insérée dans les sacs. La pertinence de la méthode des sacs enfouis est également discutée dans certaines études soulignant l'exclusion de la faune du sol de plus grosses dimensions qui ne peut incorporer la litière dans les sacs et ainsi participer à la dégradation (Howard, 1974 ; Berg, 1993). Finalement le fait que les engrais aient été appliqués uniquement en surface et non incorporé au sol comme dans plusieurs études, est peut-être une explication plausible de l'absence de réponse.

En contrepartie, nos résultats ont démontré que la durée d'incubation de la litière a eu un effet significatif sur le taux de décomposition de la MO. En effet, un peu plus de 40 % de la perte de masse et de la perte de C de la litière ont été réalisées dans les 114 premières journées. Ceci s'explique par le fait que le taux de décomposition est plus rapide au début du cycle, car les microorganismes dégradent tout d'abord les composés dits labiles, soit facilement dégradables (Melillo, 1982). Plus la décomposition de la MO progresse, plus la concentration de composés

récalcitrants augmente, ce qui diminue donc la vitesse de décomposition. Lors de la deuxième période d'incubation, soit pour les 261 jours qui ont suivi, il n'y a pas eu de pertes significatives de masse, de C et d'N de la litière. Comme cette période correspond à la saison hivernale, les températures plus froides ont fort probablement diminué l'activité microbiologique du sol et ainsi ralentit la décomposition de la MO. La perte d'N s'est quant à elle réalisée en majorité lors des 95 dernières journées d'incubation. En effet, presque la même quantité d'N a été dégradée pendant les 330 premières journées d'incubation que pendant les 95 derniers jours. Les premières journées d'incubation en début de cycle, ou le taux de perte d'N a été plus faible, correspond probablement à une période d'immobilisation de l'N causé par l'apport de MO fraîche. Le dernier intervalle d'incubation, où la perte d'N a été plus importante, s'explique probablement par une période de minéralisation de l'N, période qui correspond à la transformation de l'N organique en N minéral (Hart, 1994).

4.1.4 GESTION DE LA CULTURE ET DES PLANTES INDESIRABLES

Étant donné la nature sauvage du bleuet et le principe de mise en place d'une bleuetière, la présence de plantes indésirables en production commerciale est inévitable. Le mode de gestion des plantes indésirables dans la culture du bleuet est principalement basé sur l'application d'herbicides. Bien que ces herbicides aient démontré leur efficacité et même leur nécessité pour l'implantation d'une production de bleuets, leur application n'est pas sans impact. En effet, certaines espèces développent des résistances à ces herbicides et l'impact de leur utilisation peut être néfaste sur les écosystèmes et la santé humaine (Yarborough 1991; Peterson *et al.* 1997).

Après avoir appliqué les herbicides qui limitent la croissance des plantes indésirables, les producteurs de bleuets appliquent une fertilisation minérale afin de stimuler la croissance et la production de bleuets. Les résultats de notre étude suggèrent que l'application d'N minéral stimule également la croissance de certaines plantes indésirables, notamment la danthonie à épi. Il serait donc pertinent d'appliquer une fertilisation adaptée à l'abondance de la danthonie à épi afin d'éviter de stimuler sa croissance en appliquant une fertilisation qui pourrait l'avantager. Les résultats de cette étude suggèrent que dans les secteurs où la densité de la danthonie à épi est élevée, soit plus de 10 plants/m^2, l'application d'N minéral devrait être évitée et remplacée par une fertilisation organique. Cette pratique pourrait diminuer l'application d'engrais minéral et d'herbicides dans les bleuetières où la présence de la danthonie à épi est problématique.

Par contre, nos résultats suggèrent que ce principe de fertilisation adapté à l'abondance des plantes indésirables ne peut être appliqué lorsque c'est la comptonie voyageuse qui est problématique. Cette espèce semble être très compétitive pour l'acquisition des nutriments qu'ils soient sous formes organiques ou minérales.

4.2 LES IMPACTS DE L'ABONDANCE DES PLANTES INDESIRABLES

Les impacts négatifs occasionnés par la présence de PI dans les productions commerciales de bleuets sont connus depuis de nombreuses années. En effet, la présence d'autres espèces que celles mises en culture engendre une compétition pour l'acquisition des nutriments, de l'eau et de la lumière. Des études menées depuis les quatre-vingts dernières années démontrent que la présence de PI nuit à la croissance, au développement et au rendement en fruits du bleuet (Chandler 1943). Les résultats de notre étude confirment que l'abondance des PI a un impact significatif sur les rendements en fruits et la croissance du bleuet. Pour les deux types de PI étudiées lors de ce projet, une diminution importante des rendements en fruits est observée avec l'augmentation de la densité des PI. En effet, lorsqu'il y a présence de la danthonie à épi avec une abondance supérieure à 10 plants/m^2, une perte de rendements en fruits de plus de 48 % est observée (Figure 9). Lorsque le bleuet est en présence de la comptonie voyageuse avec plus de 3 plants/m^2, on observe une perte de rendement en fruits supérieure à 35 % (Figure 9). De plus, l'abondance de la danthonie à épi a également diminuée la croissance du bleuet. En effet, la biomasse aérienne du bleuet en présence de la danthonie à épi a diminué de 61 % lorsque la densité de la danthonie à épi était supérieure à 25 plants/m^2 (Figure 8).

Nos résultats sont appuyés par d'autres études réalisées depuis de nombreuses années démontrant une augmentation des rendements en fruits et de la croissance du bleuet suite à l'application d'herbicides (hexazinone) (Yarborough *et al.* 1986; Eaton 1994; Penney et McRae 2000). Par contre, dans certaines de ces études, il est difficile de déterminer si c'est le fait d'éradiquer les PI par l'application d'herbicides qui a un impact sur le bleuet ou si ce n'est pas l'herbicide lui-même (hexazinone) qui engendre une augmentation des rendements et de la croissance du bleuet. Ces résultats nous confirment donc l'importance d'effectuer un contrôle des PI dans les productions commerciales et de ne pas appliquer une fertilisation qui pourrait les avantager et stimuler leur propagation.

4.3 NOUVELLES PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Cette étude nous a permis de constater que certaines espèces sont très performantes pour l'acquisition des nutriments sous forme minérale et/ou organique. En effet, il a été démontré que la fertilisation minérale avantage la danthonie à épi comparativement à un traitement organique, toutefois cela ne semble pas être le cas pour la comptonie voyageuse qui est très compétitive pour l'acquisition de l'N peu importe la forme. L'étude a porté sur deux espèces envahissantes qui sont communément retrouvées dans les bleuetières du SLSJ. Par contre, il serait intéressant de comparer l'assimilation de l'N sous forme organique et minérale sur d'autres espèces de PI qui sont fréquemment retrouvées dans les bleuetières, comme le kalmia à feuilles étroite ou la grande fougère.

Bien que nos résultats suggèrent que le bleuet soit apte à assimiler directement l'N sous formes organiques, ceci n'a pas été directement mesuré dans cette étude. Afin de valider cette présomption, il serait pertinent de mesurer et de quantifier les apports d'N organique qui sont assimilés par le bleuetier et de les comparer à ses compétiteurs. Il semblerait également que certaines molécules organiques sont plus facilement assimilées par les espèces (Öhlund et Nashlom 2004). Il serait donc également pertinent de mesurer en laboratoire quelles molécules (Aginine, glycine, etc) sont assimilées par le bleuet et d'identifier si ce sont les mêmes pour ses compétiteurs, notamment pour la comptonie voyageuse qui semble bien performer également pour l'acquisition des molécules organiques. Il a été démontré que certaines espèces possèdent des mécanismes de régulation qui leur permet d'abaisser ou d'augmenter leur taux d'absorption d'N organique ou minérale dépendamment de la quantité et de la forme d'N disponible dans leur environnement (Öhlund et Nashlom 2004). Ce fait suscite quelques questionnements : Est-ce qu'une espèce végétale, comme le bleuet, qui était adaptée à croître dans les sols pauvres en nutriments peut modifier ses préférences et ainsi devenir moins performant pour acquérir les nutriments sous formes organiques étant donné l'augmentation de la disponibilité de l'N minéral occasionné par les traitements fertilisants lorsqu'il est mis en culture? Il serait, selon moi, fortement intéressant de vérifier cette hypothèse en comparant notamment les taux d'absorption de l'N organique des bleuetiers mis en culture depuis un certain nombre d'années versus des plants retrouvés en milieux sauvages.

5 CONCLUSION

Ce projet de maîtrise réalisé sur une bleuetière du SLSJ a permis de vérifier les effets des fertilisations minérales et organiques sur la croissance et les rendements en fruits du bleuet et de deux plantes indésirables communes dans la région. L'assimilation de l'N minérale par le bleuet et des plantes indésirables a également été mesurée et comparée. L'effet de l'application de fertilisants minérales et organiques sur la productivité des sols a aussi été mesuré. Les objectifs généraux de cette étude étaient de cibler une fertilisation adaptée au bleuet dans plusieurs contextes de compétition avec d'autres plantes et ultimement, de rationaliser les utilisations des fertilisants et des herbicides. Les résultats de cette étude ont permis de démontrer que pour l'une des deux espèces compétitrices étudiées lors de ce projet, soit la danthonie à épi, il serait pertinent d'appliquer une fertilisation adaptée à son abondance.

Bien que la décomposition de la MO n'ait pas été affectée par les traitements fertilisants, ceux-ci ont eu un impact sur la croissance du bleuet et des plantes indésirables. En effet, la fertilisation minérale a stimulé fortement la croissance de la danthonie à épi à l'année de l'application du fertilisant et particulièrement lorsque celle-ci était présente en abondance (>10 plants m^{-2}). Le traitement organique n'a pas eu d'effet sur la croissance de la danthonie à épi. Dans le cas du bleuet, l'application d'engrais organique a produit des rendements similaires aux engrais minéraux. De plus, les résultats indiquent que le bleuet a besoin de 4 fois plus de racines que la danthonie à épi pour assimiler une quantité comparable d'N du sol. Ces résultats suggèrent que la danthonie à épi, une espèce retrouvée dans les bleuetières du SLSJ, est une espèce qui est très performante pour assimiler l'N minérale. Lorsque celle-ci est présente en abondance dans les bleuetières, les résultats indiquent qu'il serait pertinent d'éviter d'appliquer une fertilisation minérale afin de ne pas favoriser son habilité à compétitionner le bleuet pour l'N minéral du sol. Dans les contextes de fortes compétition avec la danthonie à épi (>10 plants m^{-2}), les résultats indiquent qu'il est préférable d'appliquer une fertilisation organique, ce qui pourrait aider à la croissance du bleuetier sans avantager la danthonie à épi.

Ces résultats n'ont pas été observés avec l'autre espèce compétitrice étudiée dans le cadre de ce projet, la comptonie voyageuse. En effet, cette espèce est très compétitive pour l'acquisition des nutriments sous forme organique et minérale. De plus, étant donné ses mécanismes d'acquisition de l'N, soit par fixation de l'N atmosphérique, la comptonie voyageuse

n’a pas été affectée significativement par les ajouts de fertilisants et ce, peu importe la densité [0–6 plants m^{-2}] présente.

Bien que les résultats obtenus lors de cette étude soient assez robustes, il n’en demeure pas moins qu’il sera nécessaire de poursuivre les travaux sur le sujet avant de recommander aux producteurs de changer leurs pratiques culturales. Tout d’abord, il sera pertinent de valider nos conclusions sur de plus grandes surfaces (>1 m^2) avant d’appliquer ces connaissances à l’échelle du champ. Il sera également important de mesurer les effets des applications de fertilisants organiques et minéraux à plus longs termes, à savoir sur plusieurs cycles de production. Néanmoins, les résultats présentés dans le cadre de cette étude témoignent du grand potentiel d’étudier et de mieux comprendre les traits fonctionnels du bleuet et des plantes indésirables dans un contexte de production. Ce mémoire de maîtrise ajoute donc une contribution scientifique significative et importante pour la lutte intégrée des plantes indésirables en bleuetières commerciales.

6 RÉFÉRENCES

Apolinário VX, Dubeux JC, Mello AC, Vendramini J, Lira MA, Santos MV et Muir JP. 2014. Litter decomposition of signalgrass grazed with different stocking rates and nitrogen fertilizer levels. Agronomy Journal, 106 : 622-627.

Beauchemin S, Laverdière MR et N'Dayegamiye A. 1990. Effets d'apport d'amendements ligneux frais et humifiés sur la production de pomme de terre et sur la disponibilité de l'azote en sol sableux. Canadian Journal of Soil Science, 70 : 555-564.

Beauchemin S, Laverdière MR et N'dayegamiye A. 1992a. Effets d'amendements ligneux sur la disponibilité d'azote dans un sol sableux cultivé en pomme de terre. Canadian Journal of Soil Science, 72 : 89-95.

Beauchemin S, Laverdière MR et N'dayegamiye A. 1992b. Phytotoxicité des matériaux ligneux frais et compostés utilisés comme amendements organiques des sols. Canadian Journal of Soil Science, 72 : 177-181.

Berliner R et Torrey JG. 1989. On tripartite Frankia–mycorrhizal associations in the *Myricaceae*. Canadian Journal of Botany, 67 : 1708-1712.

Beyaert RP et Fox CA. 2007. Assessment of soil biological Activity. Dans : Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Canada, 40.

Bingeman CW, Varner JE et Martin WP. 1953. The Effect of the Addition of Organic Materials on the Decomposition of an Organic Soil1. Soil Science Society of America Journal, 17 : 34-38.

Bouchard D, Lavy T et Lawson E. 1985. Mobility and persistence of hexazinone in a forest watershed. Journal of Environmental Quality, 14 : 229-233.

Broadbent F. 1948. Nitrogen release and carbon loss from soil organic matter during decomposition of added plant residues. Soil Science Society of America Journal, 12 : 246-249.

Cairney JW et Meharg AA. 2003. Ericoid mycorrhiza: a partnership that exploits harsh edaphic conditions. European Journal of Soil Science, 54 : 735-740.

Chandler FB. 1943. Low-bush blueberries. University of Maine, the Maine Agricultural Experiment Station.

Chandler FB, Mason IC et Joseph AC. 1931. Blueberry investigations. Maine Agr Exp Sta Bui, 360 : 184-185.

Chang SX, Preston CM et McCullough K. 1997. Transformations of residual 15 N in a coniferous forest soil humus layer in northern Vancouver Island, British Columbia. Plant and Soil, 192 : 295-305.

Chapin FS, Moilanen L et Kielland K. 1993. Preferential use of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal arctic sedge. Nature, 361 : 150-153.

Chapin FS, Matson P et Mooney HA. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer-Verlag, New York. 447 p.

Eaton E et Hall I. 1950. Blueberry culture and propagation. The blueberry Publ, 754 : 1-25.

Eaton LJ. 1994. Long-term effects of herbicide and fertilizers on lowbush blueberry growth and production. Canadian Journal of Plant Science, 74 : 341-345.

Eaton LJ, Stratto GW et Sanderson KR. Fertilizer phosphorus in lowbush blueberries: effects and fate. Dans : 1997. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, p. 477-486.

Eaton LJ, Sanderson KR et Fillmore SAE. 2009. Comparison of consecutive and alternate fertilizer applications in wild blueberry production. Canadian Journal of Plant Science, 89 : 93-98.

Fessenden R, Knowles R et Brouzes R. 1973. Acetylene-Ethylene Assay Studies on Excised Root Nodules of *Myrica asplenifolia* L. 1. Soil Science Society of America Journal, 37 : 893-898.

Fortin R, Tremblay L, Savard J, G. S, Grenon G et Trépanier R. 2000. Trousse d'information et de démarrage en production du bleuet nain semi-cultivé. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec. 25 p.

Gagnon B, Simard RR, Lalande R et Lafond J. 2003. Improvement of soil properties and fruit yield of native lowbush blueberry by papermill sludge addition. Canadian Journal of Soil Science, 83 : 1-9.

Gagnon S et Pierre G. 2010. Les mauvaises herbes. Dans : Guide de production du bleuet sauvage. Agrinova, Club conseil bleuet, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, CRAAQ, Québec. Sections 8.1-8.8.

Giroux I. 2003. Concentration d'hexazinone dans des prises d'eau potable près de bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ministère de l'environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 9 p.

Goodall DW. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Australian journal of scientific research series biological sciences, 5 : 1-41.

Hébert M, Chantigny MH, N'Dayegamiye A et Côté C. 2010. Les engrais de ferme et les matières résiduelles fertilisantes organique. Dans: Guide de référence en fertilisation. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec, p. 289-344.

Hodge A, Robinson D, Griffiths B et Fitter A. 1999. Why plants bother: root proliferation results in increased nitrogen capture from an organic patch when two grasses compete. Plant, Cell & Environment, 22 : 811-820.

Hunt H, Ingham E, Coleman D, Elliott E et Reid C. 1988. Nitrogen limitation of production and decomposition in prairie, mountain meadow, and pine forest. Ecology, 69 : 1009-1016.

Hurd TM et Schwintzer CR. 1997. Formation of cluster roots and mycorrhizal status of *Comptonia peregrina* and *Myrica pensylvanica* in Maine, USA. Physiologia Plantarum, 99 : 680-689.

Jensen KIN et Yarborough DE. 2004. An Overview of Weed Management in the Wild Lowbush Blueberry—Past and Present. Small Fruits Review, 3 : 229-255.

Joanisse GD, Bradley RL, Preston CM et Bending GD. 2009. Sequestration of soil nitrogen as tannin–protein complexes may improve the competitive ability of sheep laurel (*Kalmia angustifolia*) relative to black spruce (*Picea mariana*). New Phytologist, 181 : 187-198.

Jones DL et Kielland K. 2002. Soil amino acid turnover dominates the nitrogen flux in permafrost-dominated taiga forest soils. Soil Biology and Biochemistry, 34 : 209-219.

Kielland K. 1994. Amino Acid Absorption by Arctic Plants: Implications for Plant Nutrition and Nitrogen Cycling. Ecology, 75 : 2373-2383.

Lafond J. 2004. Application of Paper Mill Biosolids, Wood Ash and Ground Bark on Wild Lowbush Blueberry Production. Small Fruits Review, 3 : 3-10.

Lafond J. 2010a. Évaluation de l'efficacité de différentes formes d'azote dans le bleuet sauvage. Canada AeA, Gouvernement du Canada, 40 p.

Lafond J. 2010b. Effect of nitrogen split application on wild lowbush blueberry productivity and on soil nitrogen. Canadian Journal of Soil Science, 90 : 189-199.

Lafond J. 2014. La fertilisation de la culture du bleuet. Dans : Guide de production du bleuet sauvage. Agrinova, Club conseil bleuet, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, CRAAQ, Québec, p. 1-5.

Lafond J et Ziadi N. 2011. Nitrogen and phosphorus fertilization in wild lowbush blueberry in Quebec. Canadian Journal of Plant Science, 91 : 535-544.

Lafond J et Ziadi N. 2013. Soil nitrogen and phosphorus bioavailability to wild lowbush blueberry produced in Quebec. Canadian Journal of Soil Science, 93 : 33-44.

Lamont B. 1973. Factors affecting the distribution of proteoid roots within the root systems of two Hakea species. Australian Journal of Botany, 21 : 165-187.

Larochelle L. 1997. L'impact de la qualite du bois rameal fragmente sur la dynamique de la mesofaune du sol. Québec: Groupe de coordination sur les bois raméaux, Universite Laval, Québec, 68 p.

Lavoie G. Plan stratégique du secteur québécois des bleuets sauvages. Dans : Conseil FL, Journée Bleuet, Dolbeau-Mistassini, 19 mars 2014. p. 35.

Lemay C et Vallée É. 2010. Essai de fertilisation fractionnée avec du fumier granulé à l'année de production du bleuet nain biologique. Agrinova, Alma, 15 p.

Lemieux G. 1986. Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol. Dans: Colloque Amendements des sols: perspectives d'avenir. Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des Ressources, Direction de la sylviculture, Québec, 20 p.

Lévesque J-A, Bradley R, Bellemare M, Lafond J et Pare M. 2018. Predicting weed and lowbush blueberry biomass using the point intercept method. Canadian Journal of Plant Science, 98 (4) : 967-970.

Magill AH et Aber JD. 1998. Long-term effects of experimental nitrogen additions on foliar litter decay and humus formation in forest ecosystems. Plant and Soil, 203 : 301-311.

MAPAQ. 2016. Monographie de l'industrie du bleuet sauvage au Québec. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ), agroalimentaires Dddds, Québec, 22 p.

Morris M, Eveleigh D, Riggs S et Tiffney Jr W. 1974. Nitrogen fixation in the bayberry (*Myrica pensylvanica*) and its role in coastal succession. American Journal of Botany, 61 : 867-870.

N'Dayegamiye A et Angers DA. 1993. Organic matter characteristics and water-stable aggregation of a sandy loam soil after 9 years of wood-residue applications. Canadian Journal of Soil Science, 73 : 115-122.

Nasholm T, Ekblad A, Nordin A, Giesler R, Hogberg M et Hogberg P. 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. Nature, 392 : 914-916.

N'Dayegamiye A et Dubé A. 1986. L'effet de l'incorporation de matières ligneuses sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur la croissance des plantes. Canadian Journal of Soil Science, 66 : 623-631.

Nieves-Puigdoller K, Björnsson BT et McCormick SD. 2007. Effects of hexazinone and atrazine on the physiology and endocrinology of smolt development in Atlantic salmon. Aquatic Toxicology, 84 : 27-37.

Öhlund J et Nashlom T. 2004. Regulation of organic and inorganic nitrogen uptake in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings. Tree Physiology, 24 : 1397-1402.

Clicours.COM

Parent L et Gagné G. 2010. Guide de référence en fertilisation. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec, 473 p.

Penney BG et McRae KB. 2000. Herbicidal weed control and crop-year NPK fertilization improves lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) production. Canadian Journal of Plant Science, 80 : 351-361.

Percival D et Sanderson K. 2004. Main and interactive effects of vegetative-year applications of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on the wild blueberry. Small Fruits Review, 3 : 105-121.

Percival DC et Prive JP. 2002. Nitrogen formulation influences plant nutrition and yield components of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). Dans : Hepp RF éd. Proceedings of the Seventh International Symposium on Vaccinium Culture. International Society Horticultural Science, Leuven 1, 347-353.

Persson J et Näsholm T. 2001. Amino acid uptake: a widespread ability among boreal forest plants. Ecology Letters, 4 : 434-438.

Persson J, Högberg P, Ekblad A, Högberg MN, Nordgren A et Näsholm T. 2003. Nitrogen acquisition from inorganic and organic sources by boreal forest plants in the field. Oecologia, 137 : 252-257.

Peterson HG, Boutin C, Freemark KE et Martin PA. 1997. Toxicity of hexazinone and diquat to green algae, diatoms, cyanobacteria and duckweed. Aquatic Toxicology, 39 : 111-134.

Prescott C. 1995. Does nitrogen availability control rates of litter decomposition in forests? Plant and Soil, 168 : 83-88.

Prescott C, Corbin J et Parkinson D. 1992. Immobilization and availability of N and P in the forest floors of fertilized Rocky Mountain coniferous forests. Plant and Soil, 143 : 1-10.

Preston C et Mead D. 1994. Growth response and recovery of 15N-fertilizer one and eight growing seasons after application to lodgepole pine in British Columbia. Forest Ecology and Management, 65 : 219-229.

Rayment AF. 1965. The response of native stands of lowbush blueberry in newfoundland to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. Canadian Journal of Plant Science, 45 : 145-152.

Raymond R, Mailloux A et Dubé A. 1965. Pédologie de la région du Lac-Saint-Jean. Ministre de l'Agriculture et de la Colonisation, Québec, sols Dd, La Pocatière, 159 p.

Read D et Perez‐Moreno J. 2003. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems–a journey towards relevance? New Phytologist, 157 : 475-492.

Read DJ. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. Experientia, 47 : 376-391.

Robinson D. 1994. The responses of plants to non - uniform supplies of nutrients. New Phytologist, 127 : 635-674.

Sanderson KR et Eaton LJ. 2008. Wild blueberry response to phosphorus applied to Prince Edward Island soils. Canadian Journal of Plant Science, 88 : 363-366.

Schimel JP et Chapin FS. 1996. Tundra Plant Uptake of Amino Acid and NH4+ Nitrogen in Situ: Plants Complete Well for Amino Acid N. Ecology, 77 : 2142-2147.

Schimel JP et Bennett J. 2004. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. Ecology, 85 : 591-602.

Smagula JM et Dunham S. 1996. Diammonium Phosphate Corrects Phosphorus Deficiency in Lowbush Blueberry. Journal of Small Fruit & Viticulture, 3 : 183-191.

Smith W, Eggert R, Hodgdon A et Yeager A. Response of the lowbush blueberry to fertilizers. Dans : Proceedings of the American society for horticultural science, VA 22314-1998, 263-268.

Sørensen LH. 1974. Rate of decomposition of organic matter in soil as influenced by repeated air drying-rewetting and repeated additions of organic material. Soil Biology and Biochemistry, 6 : 287-292.

Staples TE, Van Rees KC et Kessel Cv. 1999. Nitrogen competition using 15N between early successional plants and planted white spruce seedlings. Canadian Journal of Forest Research, 29 : 1282-1289.

Statistique Canada. 2011. Agriculture. Consulté le 2 février 2015, http://www5.statcan.gc.ca/subject-sujet/subtheme-soustheme.action?pid=920&id=-920&lang=fra&more=0

Theodorou C et Bowen G. 1990. Effects of fertilizer on litterfall and N and P release from decomposing litter in a Pinus radiata plantation. Forest Ecology and Management, 32 : 87-102.

Thiffault N, Titus BD et Munson AD. 2004. Black spruce seedlings in a Kalmia-Vaccinium association: microsite manipulation to explore interactions in the field. Canadian Journal of Forest Research, 34 : 1657-1668.

Titus B et Malcolm D. 1987. The effect of fertilization on litter decomposition in clearfelled spruce stands. Plant and Soil, 100 : 297-322.

Townsend LR. 1966. Effect of nitrate and ammonium nitrogen on the growth of the lowbush blueberry. Canadian Journal of Plant Science, 46 : 209-210.

Townsend LR. 1969. Influence of form of nitrogen and ph on growth and nutrient levels in the leaves and roots of the lowbush blueberry. Canadian Journal of Plant Science, 49 : 333-338.

Trevett MF. 1962. Nutrition and growth of the Lowbush blueberry. Maine agricultural experiment station. , Bull. 605.

Warman PR. 1987. The effects of pruning, fertilizers, and organic amendments on lowbush blueberry production. Plant and Soil, 101 : 67-72.

Warman PR. 2009. Soil and Plant Response to Applications of Municipal Solid Waste Compost and Fertilizer to Willamette Raspberries. International Journal of Fruit Science, 9 : 35-45.

Warman PR, Burnham JC et Eaton LJ. 2009. Effects of repeated applications of municipal solid waste compost and fertilizers to three lowbush blueberry fields. Scientia Horticulturae, 122 : 393-398.

Yarborough DE. 1991. Effect of hexazinone on species distributions and weed competition in lowbush blueberry fields in Maine. Thèse de Doctorat, University of Massachusetts, Amherst.

Yarborough DE. 2004. Factors Contributing to the Increase in Productivity in the Wild Blueberry Industry. Small Fruits Review, 3 : 33-43.

Yarborough DE, Hanchar JJ, Skinner SP et Ismail AA. 1986. Weed Response, Yield, and Economics of Hexazinone and Nitrogen Use in Lowbush Blueberry Production. Weed Science, 34 : 723-729.

7 ANNEXE A-TABLES D'ANALYSES DE LA VARIANCE

Tableau A.1- Modèle de l'ANOVA pour les effets des traitements fertilisants, des densités de recouvrement des plantes indésirables et de la date du relevé sur la biomasse estimée du bleuet pour les deux années et les deux sites. Les données ont subi une transformation racine carrée préalablement aux analyses. Les degrés de liberté (Ddl) pour chaque facteur sont indiqués.

Facteurs	Ddl	Biomasse estimée du bleuet			
		Année 1		Année 2	
		Site danthonie	Site comptonie	Site danthonie	Site comptonie
Traitement fertilisant (TF)	2	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0040 **	0.3704
Densité de recouvrement (DE)	3	<0,0001***	0.0035**	< 0,0001***	0.1378
Date (DA)	1	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0048 **	< 0,0001***
TF*DE	6	0,6320	0.6728	0,9958	0.2382
DE*DA	3	0,0309 *	0.1389	0,8266	0.0445*
TF*DA	2	0,0076 **	0.0463*	0,9350	0.7248

Tableau A.2-Valeur de p des analyses de variance pour les effets des densités de recouvrement, des traitements, et de leurs interactions sur biomasse aérienne du bleuet des parcelles avec présence de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse. Les degrés de liberté (Ddl) pour chaque facteur sont indiqués.

Facteurs	Ddl	Biomasse aérienne du bleuet	
		Site avec Danthonie	Site avec Comptonie
Traitement (TF)	2	0,029*	0,008**
Densité de recouvrement (DE)	3	< 0,001***	0,07
DE*TF	6	0,985	0,62

Tableau A.3- Valeur de p des analyses de variance pour les effets des densités de recouvrement, des traitements, et de leurs interactions sur les rendements en fruits des parcelles avec présence de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse. Les degrés de liberté (Ddl) pour chaque facteur sont indiqués.

Facteurs	Ddl	Rendements en fruits	
		Site avec Danthonie	Site avec Comptonie
Traitement (TF)	2	0.023 *	0,042 *
Densité de recouvrement (DE)	3	0,003 **	< 0,001***
DE*TF	6	0.694	0,381

Tableau A.4- Valeur de p des ANOVA pour les effets des traitements fertilisants, des densités de recouvrement des plantes indésirables et de la date du relevé sur la biomasse estimée de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse pour les deux années. Les données ont subi une transformation racinaire préalablement aux analyses. Les degrés de liberté (Ddl) pour chaque facteur sont indiqués.

Facteurs	Ddl	Biomasse estimée de la danthonie			
		Année 1		Année 2	
		Danthonie	Comptonie	Danthonie	Comptonie
Traitement (TF)	2	< 0,0001***	0,3398	0.6815	0,7859
Densité de recouvrement (DE)	3	<0,0001***	<0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***
Date (DA)	1	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0125 *	< 0,0001***
TF*DE	6	0,0005***	0,1517	0,9073	0,2647
DE*DA	3	0,0009***	< 0,0001***	0,4038	0,0002***
TF*DA	2	0,0873	0,9321	0,6494	0,8369
TF*DE*DA	6	0,8261	0,5388	0,9846	0,7880

Tableau A.5- Valeur de p des analyses de variance pour les effets des traitements, des densités de recouvrements et de leurs interactions sur les biomasses aériennes de la danthonie à épi et de la comptonie voyageuse. Les données de biomasse de la danthonie à épi ont subi une transformation racinaire afin de rencontrer les postulats de l'ANOVA. Les seuils de significativité ont été fixés à 0,05. Les degrés de liberté (Ddl) pour chaque facteur sont indiqués.

Facteurs	Ddl	Biomasse aérienne	
		Danthonie	Comptonie
Traitement (TF)	2	0,7170	0,9493
Densité de recouvrement (DE)	3	< 0,0001***	< 0,0001***
DE*TF	6	0,9753	0,2395

Tableau A.6 -Moyenne de la biomasse racinaire, de la répartition de l'N issu du fertilisant et de l'acquisition de l'N par biomasse racinaire par le bleuet et la danthonie à épi. Des tests de Tukey ont été faits pour comparer les moyennes de répartition de l'N et de l'acquisition de l'N des deux espèces.

Espèces	Biomasse racinaire (g)	Répartition de l'N (%)	Acquisition de l'N (µg g^{-1} racines)
Bleuets sauvages	1440 (774)	19,1 (7,8)	23,2 (7,5)
Danthonie à épi	72 (88)	2,5 (3,1)	77,5 (85,0)
		p<0,001	*p*=0,008

Tableau A.7- Moyenne de la biomasse racinaire, de la répartition de l'N issu du fertilisant et de l'acquisition de l'N par biomasse racinaire par le bleuet et la comptonie voyageuse. Des tests de Tukey ont été faits pour comparer les moyennes de répartition de l'N et de l'acquisition de l'N des deux espèces.

Espèces	Biomasse racinaire (g)	Répartition de l'N (%)	Acquisition de l'N (µg g^{-1} racines)
Bleuets sauvages	2289 (458)	29,7 (8,5)	18,8 (5,3)
Comptonie voyageuse	344 (235)	10,7 (7,2)	63,1 (47,4)
		p<0,001	p=0,01

Tableau A.8- Valeur de p des ANOVA pour les effets des traitements, des densités de recouvrements des plantes indésirables, de la date et du type de plantes indésirables sur la perte de masse (%), la perte de C (%) et la perte d'N (%) de sacs enfouis. Les seuils de significativité ont été fixés à 0,05. Les degrés de liberté (Ddl) pour chaque facteur sont indiqués.

Facteurs	Ddl	Perte de masse	Perte de C	Perte d'N
Traitement (TR)	2	0,5768	0,9262	0,9847
Densité de recouvrement (DE)	3	0,9420	0,8802	0,9765
Date (DA)	2	< 0,0001***	< 0,0001***	< 0,0001***
Plantes indésirables (PI)	1	0,1452	0,3194	0,3206

8 ANNEXE B- ANALYSES BRF

AGRI QUANTA Laboratoire environnemental

74, rue Dansereau
St-Ours, Qc, J0G 1P0
T 450.785.2013
info@agriquanta.com

RAPPORT D'ANALYSES
FINAL
ENGRAIS ORGANIQUE

IDENTIFICATION			
Provenance	**Echantillons**		
Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) 1212, rang Edmour Lavoie Ferland-et-Boilleau, QC Josée-Anne Lévesque	Coopérative forestière Ferland-et-Boilleau 4452902771 Ferland-et-Boilleau, QC G0V1H0 Luc Godin	**Numéro du rapport :** **Date du rapport :** **Date de réception :**	EO-00698 2015-05-04 2015-04-13

		Id échantillon :	**1-BRF3_C**	**2-BRF3_S**	**3-BRF_F**	**4-Biomasse**	
		No laboratoire :	2015_40089	2015_40090	2015_40091	2015_40092	
		Type et source engrais organique :	MRF	MRF	MRF	Autres	
		Date de l'échantillon :	2015-04-10	2015-04-10	2015-04-10	2015-04-10	
	Paramètre (méthode)						
*	**Azote Total** (N) (1)	kg / t	1,77	1,12	0,71	0,00	
*	**Azote ammoniacal** ($N\text{-}NH_4$) (2)	kg / t	0,00	0,00	0,00	0,00	
*	**Phosphore** (P) (3)	kg / t	0,22	0,18	0,11	0,12	
	Phosphore en P_2O_5	kg / t	0,51	0,42	0,26	0,27	
*	**Potassium** (K) (3)	kg / t	0,52	0,27	0,18	0,79	
	Potassium total en K_2O	kg / t	0,63	0,32	0,22	0,96	
*	**Calcium** (Ca) (3)	kg / t	2,62	2,76	2,68	3,26	
*	**Magnésium** (Mg) (3)	kg / t	0,16	0,17	0,12	0,28	
*	**Matière sèche** (4)	%	22,39	35,34	28,38	64,86	
*	**Matière organique** (5)	%	96,52	97,58	97,29	98,47	
*	**pH** (6)		6,39	3,79	5,96	5,56	
1	**Rapport C/N**		61,11	153,65	193,28		
	Cuivre (Cu) (3)	ppm					
	Manganèse (Mn) (3)	ppm					
	Zinc (Zn) (3)	ppm					
	Fer (Fe) (3)	ppm					
	Bore (B) (3)	ppm					
	Sodium (Na) (3)	ppm					
	Aluminium (Al) (3)	ppm					
	Autres résultats						
	Indice maturité SOLVITA						
	Conductivité	mS					

Note : résultats présentés sur base humide (tel que reçu) à l'exception des cendres (base sèche)

Commentaires

*** Paramètres accrédités selon la Norme ISO/CEI 17025.** **** Effectué en sous-traitance.**
1 : Rapport C/N = (Matière sèche * Matière organique * 0.1 / 2) / Azote total
Méthodes : (1) MET_EO_Azote total, (2) MET_EO_Azote ammoniacal, (3) MET_EO_Métaux, (4) MET_EO_Matière sèche, (5) MET_EO_Matière organique et cendre, (6) MET_EO_pH
Les résultats ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai. Une reproduction du présent rapport est interdite, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Résultats vérifiés et approuvés par
Emmanuel Robidas, chimiste