

2 M 11. 279/4

Université de Montréal

Établissement d'espèces d'arbres feuillus en friches arbustives dans le sud-ouest du Québec selon diverses intensités d'accompagnement

Par

Karyne Benjamin

Département de Sciences biologiques

Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences (M.Sc.)

en Sciences biologiques

Juin, 2000

© Benjamin, Karyne, 2000



QK

3

U54

2000

V.002



**Page d'identification du jury**

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Établissement d'espèces d'arbres feuillus en friches arbustives dans le sud-ouest du  
Québec selon diverses intensités d'accompagnement

présenté par :

Karyne Benjamin

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Hargurdeep Saini	président du jury
André Bouchard	directeur de recherche
Alain Cogliastro	codirecteur de recherche
Marc St-Arnaud	membre du jury

Mémoire accepté le ..... 29 septembre 2000 .....

## Sommaire

L'abandon de l'agriculture sur les sols morainiques est observé depuis quelques dizaines d'années dans le sud-ouest du Québec. Ce phénomène a laissé sur certaines terres une végétation essentiellement arbustive où la régénération en espèces d'arbres feuillus de haute valeur est souvent faible ou absente. Dans le but d'assurer d'établissement de ces espèces au sein des friches arbustives, la présente étude compare l'approche actuellement utilisée, le débroussaillage total du site avant la plantation, à une approche qui vise à utiliser la végétation déjà en place en guise d'accompagnement aux arbres plantés; cet accompagnement pourrait induire des conditions favorables à la bonne croissance du jeune plant d'arbre.

Trois friches arbustives situées dans la MRC du Haut-Saint-Laurent ont été étudiées. La plantation y a été réalisée en avril 1998 selon un dispositif intégrant le débroussaillage total et le débroussaillage partiel qui laisse une partie de la végétation en place en accompagnement. Le dispositif comporte un deuxième niveau de traitement qui permet de comparer les effets de la maîtrise ou non de la végétation compétitrice par l'utilisation d'un herbicide appliqué à la périphérie immédiate. Les espèces d'arbres plantés à l'étude sont : *Fraxinus americana* L., *Acer saccharum* Marsh., *Juglans nigra* L., *Prunus serotina* Ehrh. , *Quercus rubra* L. et *Betula alleghaniensis* Britt. L'analyse de la croissance des espèces plantées de même que des conditions de lumière, de sol et climatologiques a été effectuée. L'évolution de la végétation suite aux différents traitements a aussi été étudiée.

Les taux de survie des six espèces à l'étude, après deux années en plantation, sont généralement supérieurs à 85%. Les variations de croissance de *Fraxinus*

*americana* en fonction des traitements sont les plus importantes parmi les six espèces à l'étude; le débroussaillage partiel, avec ou sans herbicide favorise particulièrement cette espèce. L'évolution de la végétation suite aux différentes intensités de coupes présente des résultats qui diffèrent d'un site à l'autre. Ainsi la reprise de la végétation suite à la coupe totale peut être dominée par les herbacées, les ligneux ou présenter une bonne proportion des deux. Dans le cas des bandes de végétation d'accompagnement du débroussaillage partiel, le recouvrement des herbacées peut se maintenir, diminuer ou augmenter. La lumière parvenant aux plants d'arbre en 1999 est plus faible et les différences entre les traitements sont réduites en comparaison aux mesures réalisées en 1998. Attribuées essentiellement à la reprise ligneuse et herbacée suite aux interventions de 1998 (débroussaillage et application d'herbicide), ces modifications de l'ambiance lumineuse démontrent la nécessité de calibrer les interventions futures en fonction de la dynamique végétale du milieu. L'absence d'une maîtrise de la végétation compétitrice a favorisé la disponibilité de l'eau en limitant l'évaporation et en induisant une plus grande teneur en eau du sol. Ces résultats, expliqués par le contexte de la friche arbustive, vont à l'encontre des résultats d'autres études en champs.

L'établissement réussi de ces plantations en friches arbustives ouvre la voie à l'enrichissement de ces terres en espèces d'arbres feuillus. Si aucune intervention devait être appliquée, l'évolution futur des friches arbustives pourrait procéder selon différents rythmes de fermeture du couvert. La séquence des actions prochaines et le rendement des différents traitements dépendront de la dynamique de la végétation en place, laquelle varie selon les traitements et les sites.

## Table des matières

Sommaire.....	iii
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Introduction.....	1
Méthodologie.....	3
Description du territoire et des sites de plantation.....	3
Dispositif et espèces plantées.....	4
Échantillonnage.....	6
Description de la végétation formant les bandes d'accompagnement...6	
Compétition à la périphérie des jeunes plants d'arbres.....	7
Conditions de lumière.....	8
Indice climatologique.....	9
Conditions des sols.....	10
Croissance des jeunes plants d'arbres.....	11
Analyses statistiques.....	12
Résultats.....	14
Dynamique de la végétation formant les bandes d'accompagnement.....	14
Débroussaillage partiel.....	14
Débroussaillage total.....	15
Conditions lumineuses.....	15
Indice climatologique.....	16

Conditions des sols.....	17
Étude de la croissance des jeunes plants d'arbres.....	18
Discussion.....	21
Succès d'établissement mais peu de différences entre les traitements.....	21
Succès de l'établissement.....	21
Effets des traitements sur la croissance des arbres.....	21
Effets des traitements sur les conditions abiotiques.....	24
Suite à la réussite de l'établissement, quel est l'avenir de telles plantation ?.....	26
Conclusion.....	29
Bibliographie.....	55
Annexe 1.....	x
Remerciements.....	xiv

## Liste des tableaux

Tableau I. Description édaphique, composition floristique, hauteur de la communauté et espèces plantées sur chacun des trois sites.....	47
Tableau II. Composition de la végétation des bandes d'accompagnement du débroussaillage partiel. Principales espèces ainsi que leur valeur d'importance (VI) respective.....	48
Tableau III. Composition de la végétation des bandes de reprise du débroussaillage total. Principales espèces ainsi que leur valeur d'importance (VI) respective.....	49
Tableau IV. Description de la végétation des bandes de reprise du débroussaillage total .....	50
Tableau V. Synthèse des effets significatifs des traitements sur les paramètres de croissance .....	51
Tableau VI. Corrélations entre la lumière et différents paramètres de croissance mesurés en seconde saison de croissance (1999).....	52
Tableau VII. Synthèse des relations significatives des paramètres de croissance pour les différents traitements.....	53
Tableau VIII. Synthèse des relations significatives des variables abiotiques pour les différents traitements.....	54



## Liste des figures

Figure 1. Localisation des sites de plantation (argile, loam et sable loameux).....	30
Figure 2. Dispositif expérimental, exemple d'un bloc.....	31
Figure 3. Analyses de correspondance (AC) comparant la végétation des bandes d'accompagnement telle que retrouvée en 1998 et 1999.....	32
Figure 4. Analyses de correspondance (AC) comparant la végétation d'origine (1998) à la végétation en reprise (1999) après le débroussaillage total .....	33
Figure 5. Densité de flux photonique photosynthétisant (% DFPP) mesurée au cours de deux saisons de croissance en fonction des sites et des traitements .....	34
Figure 6. Rapport rouge/rouge lointain mesuré au cours d'une saison de croissance (1999) en fonction des sites et des traitements .....	35
Figure 7. Indice climatologique mesuré au cours de deux saisons de croissance en fonction des sites et des traitements .....	36
Figure 8. Somme des deux périodes d'incubation, mesurée au cours de deux saisons de croissance, des taux de NH <sub>4</sub> en fonction des sites et des traitements. ....	37
Figure 9. Somme des deux périodes d'incubation, mesurée au cours de deux saisons de croissance, des taux de NO <sub>3</sub> en fonction des sites et des traitements.....	38
Figure 10. Teneur en eau du sol mesurée au cours de deux saisons de croissance en fonction des sites et des traitements .....	39
Figure 11. Taux de survie des espèces après deux années en plantation en fonctions des sites et des traitements .....	40
Figure 12. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de <i>Fraxinus</i> <i>americana</i> à l'automne 1999.....	41
Figure 13. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de <i>Acer</i> <i>saccharum</i> à l'automne 1999.....	42
Figure 14. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de <i>Juglans</i> <i>nigra</i> à l'automne 1999.....	43
Figure 15. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de <i>Prunus</i> <i>serotina</i> à l'automne 1999.....	44

Figure 16. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Quercus rubra* à l'automne 1999.....45

Figure 17. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Betula alleghaniensis* à l'automne 1999.....46

## Introduction

La réduction continuelle de la superficie des terres utilisées pour l'agriculture est un phénomène observé au niveau mondial, surtout dans les pays industrialisés, dont le Québec (Domon *et al.* 1993, Houerou 1993, Orwig et Abrams 1994, Tatoni et Roche 1994). L'abandon de ces terres agricoles a induit l'établissement de nouvelles communautés végétales parmi lesquelles on retrouve des arbustaies (Meilleur et al. 1994, Stover et Marks 1998).

Au Québec, où les régions rurales sont traditionnellement agroforestières, l'importance de l'abandon de terres agricoles est un phénomène reconnu (Domon *et al.* 1993). Entre 1971 et 1996, la superficie agricole totale pour la province de Québec chutait de 21% soit une moyenne de 36 600 ha/an; au cours de cette même période, le pâturage amélioré a perdu 72% de sa superficie, soit un peu moins de 20 000 ha/an (Statistique Canada 1992a, 1992b et 1997). Sur les dépôts morainiques d'un secteur du sud-ouest du Québec, 35% de la superficie a été abandonnée par l'agriculture au cours du 20<sup>e</sup> siècle (Pan *et al.* 1999). L'abandon des activités agricoles, le pâturage pour une grande partie des cas, a laissé des étendues dominées essentiellement par des arbustes formant ainsi des friches arbustives. Souvent, en raison de leur forte pierrosité, ces terres abandonnées n'offrent plus de nouvelles opportunités pour l'agriculture moderne. Dans un territoire où le paysage forestier est à refaire (Bouchard et Domon 1997), il devient essentiel d'évaluer le potentiel qu'offrent ces terres au reboisement en espèce d'arbres feuillus.

La plantation en friche arbustive au Québec n'est, à ce jour, ni connue ni étudiée hormis une étude abordant plusieurs autres milieux de plantation dont une aulnaie de

20 ans (Truax 1996). La plantation en friche arbustive représente donc une avenue nouvelle de reboisement. Sur ces terres, où l'ensemble des plantes formant l'arbustaie sont considérées indésirables (Putz et Canham 1992), la pratique actuelle prescrit un débroussaillage total préalable à la plantation. Le cloisonnement, qui consiste à border de végétation haute (végétation d'accompagnement) une zone de plantation afin de créer une ambiance de croissance différente de celle offerte par un milieu complètement dégagé, est possible à réaliser en friche arbustive. Une meilleure croissance du jeune plant d'arbre et des avantages économiques associés à la réduction de l'application d'herbicide et à des coûts moins élevés de débroussaillage pourraient être tirés de la plantation dans les arbustaias.

Cette étude a pour objectif d'analyser différents scénarios d'intégration d'espèces d'arbres feuillus par la plantation dans des arbustaias. La végétation d'accompagnement peut modifier la quantité et la qualité de la lumière parvenant au jeune plant d'arbre (Ballaré et al. 1990, Corré 1983, Holbo et Childs 1987, Schmitt et Wulff, 1993), les conditions climatologiques diurnes (Barg et Edmonds 1999, Man et Lieffers 1999), la teneur en eau du sol (Childs et Flint 1987) et les différents nutriments du sol (Binkley 1984, Kim *et al.* 1995, Prescott 1997). Ces facteurs seront examinés en fonction de différentes intensités de végétation d'accompagnement. Ce projet a eu lieu dans le sud-ouest du Québec, en utilisant les espèces suivantes pour la plantation: *Fraxinus americana* L., *Acer saccharum* Marsh., *Juglans nigra* L., *Quercus rubra* L., *Prunus serotina* Ehrh. et *Betula alleghaniensis* Britt..

## **Méthodologie**

### **Description du territoire et des sites de plantation**

Cette étude a eu lieu sur le territoire de la Municipalité Régionale de Comté (MRC) du Haut-St-Laurent, située dans le sud-ouest de la province de Québec (Canada) (Figure 1) et limitée au sud par l'état de New-York (États-Unis) et au nord par le fleuve Saint-Laurent.

La géologie de la MRC du Haut-Saint-Laurent est constituée principalement du Groupe de Beekmantown (Ordovicien inférieur : environ 500 millions d'années) et du Groupe de Postdam (Cambrien : environ 570 à 500 millions d'années). Le premier groupe, situé plutôt à l'ouest, est constitué principalement de dolomie alors que le grès forme une grande partie du Groupe de Postdam (Globensky, 1987). La mosaïque des sédiments de surface est formée de dépôts littoraux, marins, glaciaires et tardiglaciaires (Bariteau 1988, Delage 1998).

Zone très productive, la région est caractérisée par une période sans gel de 182 jours et d'un nombre de degré-jours (au dessus de 5°C) de 2106. Entre 1961 et 1990, la moyenne de la température annuelle à la station de St-Anicet (45°08'N, 74°21'O) était de 6,39°C alors que les moyennes des mois de janvier et de juillet étaient respectivement de -9,7 °C et de 20,9 °C (Ministère de l'Environnement du Québec, 1999).

Au cours des deux saisons de croissance de la présente étude, les mois d'avril et de mai furent plus chaud que la normale de 1,77 °C et de 4,22 °C en 1998 et de 0,77°C et de 2,02 °C en 1999. On a également enregistré des précipitations au cours de ces

mois qui représentaient respectivement 44% et 70 % de la normale pour les mois d'avril et de mai 1998 de même que 26% et 47% de la normale pour les mois d'avril et de mai 1999 (Ministère de l'Environnement du Québec, 1999).

Trois sites à bon potentiel de plantation et situés dans la MRC du Haut-Saint-Laurent (Figure 1) ont été choisis pour leur état de friche arbustive de même que pour leur dépôt de surface et leur condition de drainage. Le tableau I présente, pour chacun des trois sites d'étude, les principales caractéristiques édaphiques, la végétation dominante avant les interventions ainsi que sa hauteur moyenne, de même que les espèces d'arbre plantés.

Le tableau 1 présente aussi les mesures de divers éléments nutritifs ainsi que certains ratios d'éléments fréquemment utilisés dans la caractérisation d'un sol. On remarque principalement un gradient de texture des sols, « argile » - « loam » - « sable loameux » avec une incidence sur la plupart des éléments nutritifs (Ca, K, Mg et N), l'humidité du sol, la capacité d'échange cationique (CEC) et le pourcentage de matière organique. Le site « sable loameux », quoique moins saturé en cations, les présente selon des proportions plus optimales sur le plan agronomique que les sites « argile » et « loam » qui ont un rapport  $Ca+Mg / K$  trop fort (Doucet, 1992).

### **Dispositif et espèces plantées**

Le présent dispositif est basé sur un plan à parcelles partagées (Figure 2). Les trois sites comportent chacun trois blocs tous partagés en quatre espèces d'arbre; la séquence des espèces à l'intérieur d'un bloc ayant été choisie aléatoirement. Sur la moitié de chacun des blocs, la végétation d'origine a été débroussaillée totalement. Sur l'autre moitié la végétation n'a été débroussaillée que partiellement de façon à

laisser des bandes de végétation de 2 mètres de largeur qui alterneront avec l'ouverture des rangées de plantation d'une largeur de 2 mètres également. Superposé à ce premier niveau de traitement de débroussaillage, un traitement à l'herbicide glyphosate a été effectué de façon systématique sur la moitié des parcelles à deux reprises soit au cours des mois de mai et de juillet 1998 à l'aide d'un applicateur à éponge. À l'intérieur des blocs, une parcelle comprend 20 arbres et est définie comme étant l'ensemble des jeunes plants d'arbre d'une même espèce sur deux rangées contiguës soumises au même traitement de débroussaillage (total ou partiel) et d'herbicide (appliqué ou non). La distance d'un arbre à l'autre est de 4 mètres entre les rangées et d'un mètre sur la rangée. La plantation a eu lieu entre le 20 avril et le 1<sup>er</sup> mai 1998. Des gaines spiralées et du répulsif à chevreuil ont été apposés afin de protéger les arbres du broutage.

Le choix des espèces plantées sur chacun des sites fut guidé par des connaissances acquises antérieurement. Ainsi, *Acer saccharum* et *Fraxinus americana*, reconnus pour leur grande amplitude écologique, ont été plantés sur l'ensemble des trois sites (Cogliastro *et al.* 1997). *Juglans nigra*, profitant de bonnes conditions de drainage et d'un sol riche (Williams, 1990), a été planté sur les sites « argile » et « loam ». *Quercus rubra* tolérant davantage les sites moins riches et très bien drainés a été planté sur le site « sable loameux ». *Betula alleghaniensis* a été planté sur le site « argile » en raison du drainage imparfait de ce site (Farrar, 1995) et *Prunus serotina*, tolérant aux différents types de drainage, a été planté sur les sites « loam » et « sable loameux ».

## Échantillonnage

### *Description de la végétation formant les bandes d'accompagnement*

La végétation caractérisant chacune des trois friches arbustives a été définie en juin 1998, soit un peu plus d'un mois après les travaux de plantation, par un échantillonnage des bandes de végétation laissées intactes dans le débroussaillage partiel. Par bloc (trois par site), et pour chacune des quatre espèces, trois bandes de végétation sur un total de quatre ont été échantillonnées pour un total de 36 stations par site. Les ligneux (arbres et arbustes) ont été échantillonnés à l'aide de quadrats de 4m<sup>2</sup>. Dans les mêmes stations d'échantillonnage, des quadrats de 50cm X 50cm ont servi à décrire la végétation herbacée. Les herbacées ont été échantillonnées à nouveau au cours de l'été 1999 dans le but d'en connaître la réaction suite au débroussaillage partiel. L'échantillonnage s'est effectué sur les stations de l'année précédente à l'aide, cette fois, d'un quadrat d'un mètre carré.

Dans le but de chiffrer et de comparer les différentes données, une valeur d'importance (V.I) a été bâtie pour chacune des espèces. Cette valeur d'importance est la moyenne, pour une espèce donnée, du recouvrement relatif et de la fréquence relative pour l'ensemble d'un site.

$$V.I. = (\text{recouvrement relatif} + \text{fréquence relative}) / 2$$

$$\text{Recouvrement relatif} = \frac{\text{recouvrement}_{\text{ensemble des espèces}}}{\text{recouvrement}_{\text{espèce}}}$$

$$\text{Fréquence relative} = \frac{\text{fréquence}_{\text{ensemble des espèces}}}{\text{fréquence}_{\text{espèce}}}$$

La reprise de la végétation (Figure 2), que l'on observe dans le traitement de débroussaillage total, a été échantillonnée en juillet et août 1999. Par bloc, douze stations d'échantillonnage ont été réparties dans trois bandes de reprise de la



végétation. Un quadrat de 4 mètres carré a tout d'abord servi à décrire (hauteur, diamètre et recouvrement) les arbres et arbustes. Par la suite, un quadrat de 1 mètre carré a servi à la description des herbacées. Tout comme dans l'analyse des bandes de végétation d'origine, une valeur d'importance a été calculée pour chacune des espèces rencontrées au cours de cet échantillonnage.

À noter que dans l'ensemble des travaux d'échantillonnage de la végétation, les espèces de *Rubus*, *Ribes* et *Cornus* ont été échantillonnées selon les paramètres utilisés pour les herbacées alors que les autres arbustes (*Malus pumila*, *Rhus typhina*, *Crateagus* spp. etc.) ont été abordés comme les arbres.

La taxonomie utilisée est celle retrouvée dans la Flore laurentienne (Marie-Victorin, 1995)

### ***Compétition à la périphérie des jeunes plants d'arbres***

L'échantillonnage s'est effectué sur les deux rangées centrales de chacun des débroussailllements (partiel et total) au cours des mois de juillet et août 1998 et 1999. Par rangée échantillonnée, trois stations d'échantillonnage ont été établies en 1998 et une quatrième a été ajoutée en 1999.

Un quadrat d'un mètre carré décrit la végétation présente autour de l'arbre. Les espèces herbacées ont été décrites par leur pourcentage de recouvrement (moins de 1%, 1-5%, 10-15%, 15-25%, 25-50%, 50-75% et 75-100%). Pour ce qui est des arbustes et des arbres, tous les semis d'une même espèce ont été dénombrés et chaque souche qui avait produit des rejets, a été mesurée comme suit : dénombrement et hauteur de chacun des rejets, diamètre au collet de la souche et recouvrement, pour chaque souche, de l'ensemble de ses rejets.

Le calcul du recouvrement moyen, de la hauteur moyenne et du volume moyen (recouvrement x hauteur) de l'ensemble de la végétation herbacée (i.e. toutes les espèces confondues) a été calculé. Pour la végétation ligneuse, ce sont le recouvrement moyen et la surface terrière moyenne qui seront calculés. Finalement, une valeur d'importance (calculée comme dans les échantillonnages précédents) est associée à chacune des espèces de chaque combinaison de traitement, et ce, pour les trois sites.

De plus, à chaque station d'échantillonnage, un mini quadrat de 25 cm x 25 cm, ayant aussi le jeune arbre en son centre, a été analysé afin de décrire la végétation faisant une compétition directe au jeune plant. Dans ce mini quadrat, on notait les principales espèces présentes lorsque plus de 50 % de la superficie était occupée.

L'ensemble des données de compétition à la périphérie des jeunes plants d'arbres servira à une prochaine étude sur l'importance de ces plantes en fonction des divers traitements.

### ***Conditions de lumière***

Des mesures de densité de flux photonique photosynthétisant (DFPP) et du ratio rouge/rouge lointain (R/RL) ont été effectuées afin de mesurer l'effet des différents traitements sur la qualité et la quantité de lumière parvenant aux jeunes plants d'arbres (Hart 1988).

La quantité de lumière atteignant la cime des jeunes plants d'arbre (DFPP) a été mesurée en 1998 et 1999 sur la moitié de l'effectif d'arbres plantés lors de journées où le disque solaire n'était pas visible dû à l'importance de la couche nuageuse (Gendron, *et al.*, 1998, Parent et Messier 1996). La lumière au-dessus du plant a été

mesurée à l'aide du ceptomètre (Modèle SF-80, Decagon Devices® Inc. USA) en faisant une moyenne entre deux mesures; l'une prise en orientant l'instrument nord-sud et l'autre selon une orientation est-ouest. Ces mesures de lumière ont ensuite été divisées par la lumière totale disponible à ce moment-là, mesures prises par un capteur de la radiation photosynthétiquement active (PAR) branché à un système d'acquisition de données (modèle Li-1000, Licor®, USA) et installé dans un grand champ ouvert.

Au même moment, le rapport R/RL était déterminé à l'aide d'une sonde mesurant la lumière située entre 655 et 665nm (rouge) et entre 725 et 735 nm (rouge lointain), le tout étant enregistré dans un système d'acquisition de données (modèle Li-1000, Licor®, USA) qui calculait ensuite le rapport rouge/rouge lointain. Ces données ont été récoltées en 1999 uniquement.

### ***Indice climatologique***

Dans le but de mesurer la différence d'ambiance climatologique créée par les différents traitements, des évaporimètres ont été installés sur les sites. En 1998, un évaporimètre avait été disposé dans chacune des combinaisons de traitements pour chacun des blocs des trois sites, ce qui nécessitait 36 évaporimètres. En 1999 le nombre d'évaporimètres a été doublé. Basé sur le principe de l'évaporation d'eau d'une surface connue, ce type de dispositif permet d'intégrer différentes variables abiotiques telles la radiation solaire, les vents, la température et l'humidité relative. Le modèle d'évaporimètre est un pot de verre d'un litre rempli d'eau, déposé sur le sol, fixé à une tige plantée et surmonté d'un plateau empêchant l'eau de pluie d'y pénétrer. Un fin grillage est déposé sur l'ouverture du pot afin d'y limiter

l'accumulation de débris et de résidus (Rundel et Jarrell 1989). Des relevés ont été effectués sur ces dispositifs au cours des mois de août 1998 de même qu'en juillet et septembre 1999.

### ***Conditions des sols***

Afin de caractériser le taux de minéralisation de l'azote, deux séances de minéralisation *in situ* d'une durée de six semaines chacune ont été réalisées, au cours de l'été 1998 et 1999, à l'aide de membranes d'échanges ioniques. Ces membranes, aux dimensions de 2,5 cm par 5,5 cm, sont de deux types, anioniques et cationiques. Lors des séances de minéralisation, deux membranes (une de chaque type) étaient placées côte à côte dans chacune des rangées de plantation. À cause des coûts du matériel et des manipulations en laboratoire, seules les parcelles du *Fraxinus americana* ont reçues les membranes. Les membranes ont été insérées dans le sol sur le sens de la longueur, très près de la surface du sol traversant l'horizon 0,5cm à 5 cm dans un angle variant entre 30 et 45 degrés. Les séances d'incubations ont eu lieu, en 1998 et en 1999, de la mi-mai au début de juillet et de la mi-juillet à la fin d'août. La méthodologie de laboratoire (extraction et réactivation des membranes) est telle que décrite par Weih (1998) où le temps de réactivation a été fixé à deux séances consécutives de 1h entre lesquelles la solution de réactivation était renouvelée. Les extraits des membranes ont ensuite été analysés par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre à injection (Analyseur Tecator Fiastar®).

La teneur en eau des sols a été mesurée cinq fois au cours de l'été 1998 et six fois au cours de l'été 1999, à raison de trois semaines d'intervalle entre deux mesures. Le

pourcentage en eau du sol a été établi par gravimétrie après séchage de 48 heures à 105°C d'un échantillon de sol variant entre 60 et 100g.

En 1998, l'ensemble des analyses portant sur les éléments nutritifs du sol (Ca, capacité d'échange cationique, K, matière organique, C/N, Mg, Mn, N, P, pH) ont été faites à partir d'homogénats composés de deux échantillons de sol, chacun prélevé dans une des deux rangées de plantation d'une parcelle. Par parcelle, deux homogénats de sol ont été constitués, le premier représentant la profondeur de 0-5 cm et le second la profondeur de 10-15 cm. À cause des coûts, les échantillons ont été prélevés dans chacune des parcelles d'*Acer saccharum* et de *Fraxinus americana*, espèces communes aux trois sites. Outre la granulométrie, qui a été mesurée dans nos laboratoires sur les homogénats de profondeur 10-15 cm, l'ensemble des analyses a été confiée au laboratoire accrédité Agridirect inc. En 1999, afin de faire un suivi du rapport C/N, de nouveaux homogénats ont été prélevés à une profondeur de 10-15 cm dans les parcelles de *Fraxinus americana* et analysés par le laboratoire Géotop de l'UQAM.

### ***Croissance des jeunes plants d'arbres***

Le diamètre au collet et la hauteur de chacun des jeunes plants ont été mesurés immédiatement après la mise en terre. Le diamètre, la hauteur et la pousse annuelle ont été mesurés sur l'ensemble de l'effectif à la fin des deux saisons de croissance de l'étude (octobre 1998 et septembre 1999).

À partir des données récoltées, des calculs ont permis d'établir l'accroissement en 1998 et 1999 (Hauteur automne<sub>an x</sub> – Hauteur printemps<sub>an x</sub>) de même que le volume du tronc à l'automne 1999 ( $(\pi \times (D/2)^2 \times H)/2$ ), représenté par un cône. Par la

suite, des variables relatives ont été calculées pour les mesures diamètre, hauteur, accroissement et volume:

- Accroissement relatif d'un paramètre de croissance (DiamR, HautR, AccrR et VolR)=

$$(\text{Mesure}_{\text{Temps2}} - \text{Mesure}_{\text{Temps1}}) \times 100 / \text{Mesure}_{\text{Temps1}}$$

- Taux relatif de croissance d'un paramètre de croissance (DiamRGR, HautRGR, AccrRGR et VolRGR) =

$$\ln \text{Mesure}_{\text{Temps2}} - \ln \text{Mesure}_{\text{Temps1}}$$

## Analyses statistiques

Pour chacun des trois sites servant à l'étude, une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée pour chaque variable abiotique mesurée (exception faite du rapport C/N où le l'effectif ne permet pas ce type d'analyse) de même que pour tous les paramètres de croissance abordés et ce, pour chacune des six espèces d'arbres. Les sources de variations seront: bloc, débroussaillage (partiel ou total), traitement d'herbicide (appliqué ou non) et les interactions entre les variables. Les erreurs ajustées pour les effets fixes, débroussaillage et herbicide seront respectivement bloc x débroussaillage et bloc x herbicide. Le test de Tukey de comparaison multiples des moyennes a été appliqué. Deux séries d'analyses de correspondance (AC) (Legendre et Legendre 1998) ont permis, par site, de confronter la végétation d'origine à la végétation en reprise dans le débroussaillage total et l'évolution, entre 1998 et 1999 de la végétation (herbacée et semis) formant les bandes d'accompagnement dans le débroussaillage partiel. Finalement, une corrélation

entre la lumière parvenant aux jeunes arbres et les différents paramètres de croissance a été effectuée tous sites, traitements et espèces confondus. Pour ce faire, les données par site, par traitement et par espèce ont été centrées et réduites afin d'éliminer les différences d'amplitudes reliées à ces critères.

## Résultats

### Dynamique de la végétation formant les bandes d'accompagnement

#### *Débroussaillage partiel*

Sur les sites « argile » et « loam », les bandes de végétation laissées en place comportent une forte proportion de *Malus pumila*, de *Crateagus* spp. et de *Ulmus americana*. Sur le site « sable loameux », *Rhus typhina* compose l'essentiel des bandes végétales (Tableau II). *Rubus idaeus* et *Fragaria* spp. sont importants et présents sur les trois sites. Les sites « argile » et « loam » sont plus diversifiés que le site « sable loameux », lequel présente plutôt quelques espèces dominantes.

La comparaison entre la végétation de 1998 et celle de 1999 révèle que le site « loam » présente un accroissement du recouvrement moyen de la végétation herbacée dans les bandes de végétation résiduelles (96,11% en 1998 et 124,25% en 1999). Les espèces dont le recouvrement s'est accentué le plus en 1999 par rapport à 1998 sur ce site sont celles situées près ou au-delà du pôle 1999 soit *Anemone canadensis*, *Lathyrus latifolius*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Solidago canadensis* et *Viccia cracca* (Figure 3). Le site « argile » a plutôt connu une baisse du recouvrement des herbacées (101,94% en 1998 et 87,36% en 1999) attribuable à des espèces telles *Agrimonia gryposepala*, *Solidago canadensis* et *Taraxacum officinale*. Le site « sable loameux » est demeuré passablement identique sous cet aspect (80,26% en 1998 et 90,76% en 1999); de fortes baisses de recouvrement ont été observées chez *Fragaria* spp., *Hieracium aurantiacum* et *Rubus alleghaniensis* qui ont été compensées par les hausses de *Poa partensis* et de *Rubus idaeus*. De façon générale, la comparaison entre



la végétation de 1998 et celle de 1999 révèle une tendance à la modification des communautés formant les bandes d'accompagnement. Notons la présence, sur le site « sable loameux », d'une régénération de *Rhus Typhina* en 1999.

### ***Débroussaillage total***

Suite au débroussaillage total, la végétation est en reprise (Tableau III). Sur le site « argile », la reprise comporte surtout des herbacées comme le démontre le recouvrement moyen et la richesse (somme des espèces) associé à cette strate (Tableau IV). Le site « loam » représente un intermédiaire entre un site fortement herbacé et un site fortement arborescent. Finalement, la reprise sur le site « sable loameux » est essentiellement ligneuse et dominée par *Rhus typhina* et *Rubus idaeus*. En comparant la végétation d'origine (telle qu'établie par l'analyse des bandes laissées en place par le débroussaillage partiel) et les bandes de végétation de la reprise, on remarque que certaines espèces arbustives telles que *Rhus typhina* et *Viburnum lentago* persistent après le débroussaillage total dans une proportion plus importante qu'à l'origine (Figure 4) alors que *Malus pumila* et *Crateagus* spp., tout en étant moins importantes en 1999 qu'elles ne l'étaient en 1998 (figure 4), sont des espèces importantes de la reprise (Tableau III). En somme, la végétation formant la reprise est de composition similaire à la végétation d'origine comme le démontre la position intermédiaire entre les pôles 1998 et 1999 des principales espèces associées à la reprise végétale (Figure 4).

### **Conditions lumineuses**

Sur les trois sites, les patrons de luminosité suivent l'intensité de l'ouverture du couvert végétal (Figure 5) formant ainsi un gradient de lumière parvenant aux jeunes

plants d'arbres. En 1998, l'effet du type de débroussaillage sur la densité de flux photonique photosynthétisant (DFPP) est significatif sur le site « sable loameux » et important sur les sites « loam » et « argile ». L'application ou non d'herbicide provoque aussi une différence sur les sites « sables loameux » et « loam ». Sur les sites « argile » et « sable loameux » il y a une différence plus importante de l'effet du débroussaillage quand l'herbicide est appliqué ce qui se révèle par l'interaction significative Déb. \* trait.

Au cours de l'été 1999, on remarque que, de façon générale, la lumière parvenant aux arbres est plus faible qu'en 1998 (Figure 5). Pour cette deuxième année de croissance, un gradient de lumière du milieu le plus fermé au milieu le plus ouvert est toutefois encore présent. Les résultats les plus marqués se retrouvent sur le site « sable loameux » où les effets du traitement de débroussaillage et de l'application d'herbicide induisent de fortes différences de DFPP (Figure 5).

On remarque un accroissement du rapport rouge/rouge lointain principalement suite à l'effet du débroussaillage total sur les sites « argile » et « sable loameux » (Figure 6). L'application d'herbicide montre une tendance à l'augmentation du rapport rouge/rouge lointain sur le site « sable loameux ».

### **Indice climatologique**

De juillet à août 1998, les patrons obtenus de deux sites nous démontrent une forte tendance à ce que les traitements aient un impact sur l'évaporation (Figure 7). Cet effet est plus important sur le site « argile » où l'intensification du débroussaillage résulte en une plus grande évaporation de l'eau. Le site « loam »

présente des résultats ne reflétant pas le gradient d'ouverture du milieu. Le site « sable loameux » présente la plus grande évaporation de tous les sites sous le débroussaillage total.

En 1999, seuls les sites « argile » et « sable loameux » ont pu être mesurés adéquatement; les évaporimètres du site « loam » ayant été renversés constamment au cours de l'été par ce que l'on croit être un raton laveur. On note sur les deux sites mesurés une évaporation plus importante avec l'ouverture du milieu. Les différences les plus marquées se retrouvent dans la première période où l'effet du débroussaillage est significatif sur les deux sites (Figure 7). L'effet de l'application d'herbicide est significatif et favorable à l'évaporation sur le site « argile » .

### **Conditions des sols**

Les ions nitrate et ammonium produits sont, de façon générale, plus abondants sous le traitement de débroussaillage total (Figures 8 et 9). On remarque aussi que le site « argile » présente une grande part d'azote sous forme d'ions nitrate ( $\text{NO}_3$ ) (Figure 9) alors que sur le site « sable loameux », la forme ammonium ( $\text{NH}_4$ ) domine (Figure 8). En 1998, aucun traitement est associé à des variations significatives de la minéralisation de l'azote. En 1999, au cours de la première séance d'incubation, l'application d'herbicide sur le site « argile » favorise des taux de  $\text{NH}_4$  plus élevés ( $p=0,0099$ ) et une forte tendance ( $p=0,0539$ ) est observée sur le site « sable loameux » à l'effet que le débroussaillage induise une hausse du  $\text{NH}_4$  (résultats non illustrés). En additionnant les deux séances d'incubation, tel que présenté sur les figures 8 et 9, les différences de minéralisation totale de l'azote entre les traitements ne sont plus significatives.

Le site « argile » est celui dont le sol est le plus humide tout au cours de la saison d'échantillonnage alors que le site « sables loameux » est le plus sec (Figure 10). En 1999, les sites « loam » et « sable loameux » présentaient, pour les parcelles traitées à l'herbicide en 1998, une teneur en eau inférieure à celles non traitées à l'herbicide. Sur le site « argile », cet effet est également significatif lors de la mesure d'humidité des sols prise le 2 juillet ( $p=0,0131$ ) (résultats non illustrés).

Le rapport C/N présente essentiellement une hausse moyenne au cours de la deuxième année de 2,62 , 3,45 et de 4,92 respectivement pour les sites « argile », « loam » et « sable loameux » et ce, sans effet des traitements.

### **Étude de la croissance des jeunes plants d'arbres**

La survie des plants d'arbre à la fin de la saison de croissance de 1999 est généralement excellente (Figure 11). *Acer saccharum*, *Fraxinus americana* et *Quercus rubra* présentent des survies supérieures à 90% pour l'ensemble des traitements. *Juglans nigra* possède des taux de survie variant entre 71,7% et 91,7%.

Dans le but d'alléger la présentation, les figures 12 à 17 illustrent, pour chacune des espèces d'arbre, quatre paramètres de croissance : diamètre, hauteur, volume et accroissement. Les relations significatives concernant les paramètres de croissance étudiés sont décrites au tableau V tandis que l'annexe 1 présente l'ensemble des résultats des ANOVA.

*Fraxinus americana* (Figure 12), sur les trois sites à l'étude, est favorisé par le débroussaillage partiel. L'application d'herbicide favorise son diamètre et son volume sur le site « argile » alors que sur le site « sable loameux » l'absence

d'herbicide favorise son accroissement et sa hauteur. L'interaction retrouvée à l'accroissement relative du diamètre (DiamRGR) sur le site « sable loameux » est due à un effet inverse de l'herbicide selon le débroussaillage (Annexe 1).

*Acer saccharum* (Figure 13) présente un volume plus important sur le site « loam » dans le débroussaillage partiel et sur le site « sable loameux » avec l'application d'herbicide.

Le diamètre relatif du *Juglans nigra* sur le site « argile » (DiamR et DiamRGR) est favorisé par l'application d'herbicide alors que sur le site « loam » le diamètre relatif (DiamR) est plus important dans le débroussaillage total (Annexe 1). De plus, une inversion est observée entre les sites « loam » et « argile »; sur le premier site, le volume relatif (VolR) est favorisé par un débroussaillage total alors que sur le deuxième site le débroussaillage partiel est associé à un volume plus grand (Annexe 1 et Figure 14).

Pour le *Prunus serotina*, on remarquera un volume plus important sur le site « loam » lorsqu'il y a eu application d'herbicide (Figure 15). Une interaction sur le site « loam » pour les différents paramètres du diamètre (Diam, DiamR et DiamRGR) est due à une différence plus grande entre la maîtrise de la végétation compétitrice ou non dans le débroussaillage total par rapport au débroussaillage partiel (Annexe 1). Le volume du *Quercus rubra*, planté exclusivement sur le site « sable loameux », est favorisé par l'application d'herbicide (Figure 16). Finalement, *Betula alleghaniensis*, planté uniquement sur le site « argile » ne présente aucun résultat significatif (Figure 17) mais le débroussaillage partiel tend à produire des plants plus hauts (0,0668).

La corrélation entre la lumière et différents paramètres de croissance des arbres présente des relations significatives pour lesquelles la corrélation varie entre 0,093 et 0,160 de même qu'entre  $-0,070$  et  $-0,082$  (Tableau VI). Des corrélations les plus fortes, on remarque que le diamètre et le volume sont corrélés à une augmentation de la lumière. Quant aux paramètres relatifs de hauteur et d'accroissement, ils sont négativement corrélés avec la lumière.

## Discussion

### Succès d'établissement mais peu de différence entre les traitements

#### *Succès de l'établissement*

Tel que démontré à la figure 11, les taux de survie pour les six espèces plantées (*Fraxinus americana*, *Acer saccharum*, *Juglans nigra*, *Quercus rubra*, *Prunus serotina* et *Betula alleghaniensis*) sont généralement supérieurs à 85%, atteignant parfois 100% dans le cas du *Fraxinus americana* et d'*Acer saccharum*. Ces résultats, suite à deux années en plantation, se comparent à d'autres études en milieu forestier (Adams, 1997, Hix *et al.* 1994, McCormick et Bowersox, 1997) et en champs (Cogliastro *et al.*, 1997) où divers traitements de maîtrise de la végétation compétitrice étaient utilisés et avec lesquels les taux de survie étaient fréquemment supérieurs à 80%. La survie plus faible chez *Juglans nigra* peut être causée par une infection mycologique des racines causée par une moisissure, *Cylindrocarpon* sp., qui a été observée lors de la mise en terre des plants. Les interventions de débroussaillage et d'application d'herbicide ont permis de limiter les contraintes pour la régénération artificielle qui ont déjà été soulignées en arbustaies par Putz et Canham (1992).

#### *Effets des traitements sur la croissance des arbres*

Des six espèces plantées, on remarque que *Fraxinus americana* se distingue des autres par des variations de croissance plus importantes en fonction des traitements (Tableau VII). Espèce tolérant modérément bien l'ombre (Farrar, 1995), *Fraxinus*

*americana* est généralement favorisé dans le traitement de débroussaillage partiel. Les résultats obtenus avec *Fraxinus americana* pourraient être dus à sa croissance que l'on qualifie souvent de rapide (Schlesinger, 1990) et qui suit un établissement généralement réussi, répondant ainsi plus rapidement que les autres espèces aux traitements auxquels il est soumis.

Les cinq autres espèces présentent très peu de variations de leurs différents paramètres de croissance en fonction des traitements. Chez ces espèces, l'application d'herbicide et le débroussaillage partiel favorisent le volume et le diamètre des plants, mais l'effet est restreint à certains sites. Toutefois, la croissance à venir de ces espèces pourrait conclure à plus de discernement entre les traitements.

En plantation tout comme en régénération naturelle d'espèces d'arbres feuillus, il est connu que la maîtrise de la végétation compétitrice est un facteur important à la réussite du projet (Adams 1997, Cogliastro *et al.* 1990 et 1993, Truax et Gagnon 1993). Cependant, les résultats obtenus au cours de cette expérience démontrent que l'application d'herbicide favorise essentiellement le diamètre et le volume du plant d'arbre et dans une moindre mesure que ce qui fut démontré par d'autres études (Bowersox et McCormick 1987, Cogliastro *et al.* 1993, McCormick et Bowersox 1997). Le cloisonnement, par la végétation d'accompagnement et la diminution de la lumière concomitante parvenant au niveau du sol, pourrait défavoriser la croissance des espèces compétitrices (Hannah 1988), ce que l'on observe essentiellement sur le site « argile » (Cogliastro *et al.* 2000). Ces résultats quant à l'effet de l'application d'herbicide pourraient mener à un besoin allégé de maîtriser la végétation compétitrice dans des dispositifs mettant à profit une végétation d'accompagnement.



Notons que le traitement de débroussaillage total favorise le volume relatif et le diamètre relatif de *Juglans nigra* sur le site « loam ». *Juglans nigra* étant une espèce de lumière (Farrar, 1995), il aurait tendance à profiter davantage de l'ouverture du milieu créé par le débroussaillage total.

Les corrélations faites entre la lumière et différents paramètres de croissance reflètent qu'une hausse de la lumière favorise le diamètre, la hauteur et le volume des jeunes arbres. Ces résultats, encore tenus dans cette étude portant sur les deux premières années, appuient les corrélations souvent notées entre la lumière et la croissance de jeunes arbres feuillus (Beaudet et Messier, 1998, Ellsworth et Reich, 1992, Walters et al. 1993). Par ailleurs, les résultats de cette étude démontrent que chez les arbres poussant dans des conditions plus ombrageuses, et étant, par le fait même, plus petits, les paramètres relatifs de la hauteur et de l'accroissement sont plus importants. Ces relations pourraient être le reflet des énoncés voulant que les paramètres relatifs soient plus élevés chez un arbre plus petit (Hunt 1990, Pearcy et al. 1989) où il y a, en proportion, plus de tissus vivants servant à la production de nouveaux tissus et moins de biomasse à entretenir que pour un arbre plus grand. De plus, rappelons ici qu'une interception de la lumière par la végétation d'accompagnement est fortement corrélée à une baisse du rapport rouge/rouge lointain (Messier *et al.* 1989). Ainsi, les résultats obtenus vont dans le sens des énoncés voulant qu'une baisse du rapport rouge/rouge lointain stimule la croissance des plants concernés (Ballaré *et al.* 1990, Corré, 1983, Schmitt et Wulff, 1993).

### ***Effets des traitements sur les conditions abiotiques***

La réduction généralisée de la lumière parvenant aux plants en 1999 par rapport à 1998 et la disparition des effets significatifs des traitements sur le %DFPP (en 1998) sur les sites « loam » et « argile » (Tableau VIII) nous indiquent une tendance à l'uniformisation éventuelle des conditions lumineuses. Cela pourrait se réaliser plus rapidement sur le site « loam » où la baisse de la lumière observée dans les traitements avec application d'herbicide a été de 2 à 3 fois plus importante que la baisse dans les traitements sans herbicide. Ces résultats s'expliquent en partie par l'amointrissement au cours du temps de l'effet de l'herbicide qui a été appliqué en 1998. Plus d'un an après la dernière intervention de maîtrise de la végétation compétitrice, la reprise herbacée et ligneuse en cours a donc atténué l'écart relatif des conditions lumineuses entre les traitements. Ce type de résultats démontre que dans un tel dispositif, il sera important de calibrer les interventions en fonction de la dynamique de la végétation du milieu à l'étude.

Sur les sites « argile » et « sable loameux », le rapport rouge/rouge lointain augmente avec l'intensité du débroussaillage (Tableau VIII), tel que Messier *et al* (1989) l'on constaté en milieu forestier. Il en va de même pour l'évapotranspiration (estimée par l'évaporimètre) qui intègre une mesure de la température près du sol, laquelle augmente généralement avec une baisse de la végétation d'accompagnement (Barg et Edmonds, 1999, Man et Lieffer, 1999). Par contre, aucun effet du type de débroussaillage sur les variables abiotiques a été observé sur le site « loam », ce qui pourrait être dû aux bandes de végétation d'accompagnement qui sont moins denses que sur les deux autres sites. La certaine uniformité de la lumière parvenant

aux jeunes arbres en 1999 et de l'indice climatologique en 1998 sur ce site appuient cette observation.

L'absence de résultats significatifs concernant la minéralisation de l'azote du sol peut s'expliquer par la très grande variabilité spatiale du processus, ce qui constitue un obstacle majeur à la mesure des ions  $\text{NH}_4\text{-N}$  et  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Huang et Schoenau 1997). Cette variabilité, souvent décrite (Cain *et al.* 1999, Gross *et al.* 1995) fut, entre autre, observée sur une distance de 20 cm (Huang et Schoenau 1996). L'échantillonnage (six données par traitement pour chacun des trois sites) utilisé au cours de cette étude ne permet donc pas de saisir adéquatement la teneur de ces nutriments au sein d'un traitement en particulier, rendant complexe la comparaison entre les traitements.

L'application d'herbicide aura influencé l'humidité du milieu (Tableau VIII). Sous l'effet de ce traitement, une hausse de l'évapotranspiration (mesurée par l'évaporimètre) sur le site « argile » et une baisse de la teneur en eau du sol sur les deux autres sites sont observées. Ceci va à l'encontre des résultats obtenus dans des plantations en champs (Cogliastro *et al.* 1993) où l'application d'herbicide favorisait la teneur en eau du sol en diminuant la transpiration par la végétation compétitrice. Dans un contexte de friches arbustives, la végétation d'accompagnement réduit les vents et la lumière parvenant au sol, facteurs importants de la transpiration des plantes. En comparaison avec un contexte de champ ouvert densément occupé par la strate herbacée, on observerait en arbustaie une diminution du prélèvement de l'eau du sol faite par la végétation compétitrice et le maintien d'un taux plus élevé de l'eau du sol favorisé par une plus faible radiation solaire.

## **Suite à la réussite de l'établissement, quel est l'avenir de telles plantations?**

Les bandes de végétation, qui bordent les plants d'arbres, ont fait l'objet d'une attention particulière afin d'en connaître la réaction suite à la coupe (totale et partielle) et tenter d'en prédire le comportement futur. En effet, l'avenir des plantations dépendra du maintien, de l'amplification ou de la perte des effets positifs de ces bandes sur le milieu et la croissance des jeunes arbres.

Sur les trois sites à l'étude, les résultats obtenus démontrent que chacune des friches réagit différemment suite à la coupe totale et à la coupe partielle. L'approche du débroussaillage total a favorisé des émergences très différentes selon le site : une végétation essentiellement herbacée, une végétation à forte proportion ligneuse et une situation intermédiaire. Dans le cas d'un débroussaillage partiel, on a observé, selon le site, une diminution, un maintien ou une augmentation de la strate herbacée composant la végétation des bandes laissées en place.

Aucune étude à ce jour ne s'est intéressée à la dynamique des milieux arbustifs suite à différents types de coupe, ce qui rend difficiles les comparaisons à des fins de prédictions du développement futur des communautés végétales. Toutefois les résultats obtenus laissent croire que l'avenir et le succès des plantations pourraient différer d'un site à l'autre, dépendant de la reprise végétale dans les prochaines années.

Dans le cas du débroussaillage total, on pourrait penser principalement à deux scénarios possibles. Le premier voudrait que l'arbre planté profite, au cours des premières années, de l'ouverture du milieu pour bien s'établir. Protégé par la reprise

de la végétation et bénéficiant de suffisamment de ressources, il poursuit pendant quelques années sa croissance et arrive à dominer son accompagnement. Le deuxième scénario serait que l'accompagnement se développe plus rapidement que l'arbre au point d'inhiber en partie ou totalement sa croissance.

L'approche de débroussaillage partiel permet également d'envisager deux scénarios possibles quant à son évolution dans le temps. Les bandes d'accompagnement pourraient créer un milieu moins lumineux mais où l'eau serait plus disponible et où la qualité de lumière (rouge/rouge lointain) stimulerait la croissance des plants. Après quelques années, l'arbre pourrait percer l'ouverture créée à l'origine lors de la coupe partielle du couvert arbustif. Le second scénario envisagé serait que l'ouverture du couvert arbustif favorise l'émergence d'herbacées, la germination ou le développement de semis ainsi que l'étalement des ligneux laissés en place de sorte que le milieu se referme avant que l'arbre ait pu émerger du couvert arbustif. Dans ce cas-ci, il pourrait y avoir dépérissement et mort de l'arbre.

Dans les deux cas de coupe (totale ou partielle), les scénarios possibles évoquent la fermeture ou non du couvert sur l'arbre planté si aucune intervention était appliquée à la suite de la présente étude. Les interventions à prescrire afin d'optimiser le rendement des différents traitements dépendront grandement de la dynamique de la végétation en place, laquelle varie selon les traitements initiaux et les sites.

Le débroussaillage partiel, qui a favorisé essentiellement l'établissement et la croissance de *Fraxinus americana*, pourrait offrir un milieu de croissance plus stable et mieux protégé qui, à long terme, se traduirait par une croissance accrue des jeunes arbres. A l'opposé, le débroussaillage total offre un milieu plus lumineux au départ

mais aussi plus sujet aux gels (Buckley et al. 1998, Man et Lieffer 1999) et aux fluctuations de température (Barg et Edmonds 1999, Childs et Flint 1987). De plus, la dynamique des bandes de reprise du débroussaillage total semble plus menaçante que celle des bandes d'accompagnement du débroussaillage partiel. En débroussaillage total, la régénération s'effectue dans un milieu totalement ouvert, ce qui en favorise la croissance, alors qu'en débroussaillage partiel, la reprise se fait sous un certain couvert arbustif. De plus, la reprise du milieu ouvert est jeune et vigoureuse contrairement aux individus laissés en place dans les bandes d'accompagnement du débroussaillage partiel qui sont plus âgés, sûrement affaiblis par des événements du passé (intempéries, attaques d'insectes et de champignons) et qui sont, pour certains, en dépérissement. La probabilité de fermeture du milieu sur l'arbre est donc fonction des traitements initiaux mais aussi des sites.

Quant à l'application ou non d'herbicide, il faudra voir si les gains de croissance d'arbres valent les coûts (temps et argent) encourus par ce traitement. De plus, il faudra être attentif à l'effet de la végétation compétitrice sur la croissance des arbres et ce, pour les deux types d'accompagnement (en reprise ou laissé sur place). Finalement, même si elles ne faisaient pas toutes parties des espèces dominantes, il faudra voir comment des espèces telles *Rhus typhina*, *Populus tremuloides*, *Lathyrus latifolius*, *Rubus idaeus*, *Vicia cracca* et *Parthenocissus quinquefolia*, potentiellement problématiques par leur vigueur ou par leur potentiel à prendre appui sur l'arbre planté, affecteront la croissance des arbres qu'elles accompagnent.

## Conclusion

L'abandon de l'agriculture a laissé dans le sud-ouest du Québec des terres en friches arbustives faisant, jusqu'à ce jour, l'objet de peu d'attention. Deux saisons de croissance après la plantation, l'établissement réussi d'espèces d'arbres feuillus à bois précieux ouvre la voie à l'étude du reboisement de ces terres afin de rebâtir le potentiel forestier feuillu de la région. Au cours de cette expérience, deux approches sylvicoles (débranchement total et débranchement partiel préalable à la plantation), conjuguées à l'application ou non d'herbicide, ont offert un milieu et des résultats de croissance sensiblement similaires, le débranchement partiel ayant surtout favorisé *Fraxinus americana*. L'accompagnement ligneux laissé en place lors de la plantation pourrait à long terme offrir une protection bénéfique à la croissance des jeunes arbres et un milieu de croissance avantageux. La réussite des différentes approches dépendra essentiellement des effets positifs qu'elles apporteront aux jeunes arbres au cours des prochaines années. La recommandation d'un procédé pour la plantation en friche arbustive dépendra donc du développement des différentes bandes d'accompagnement, de la réponse des variables abiotiques ainsi que de leur impact sur la croissance des jeunes arbres.

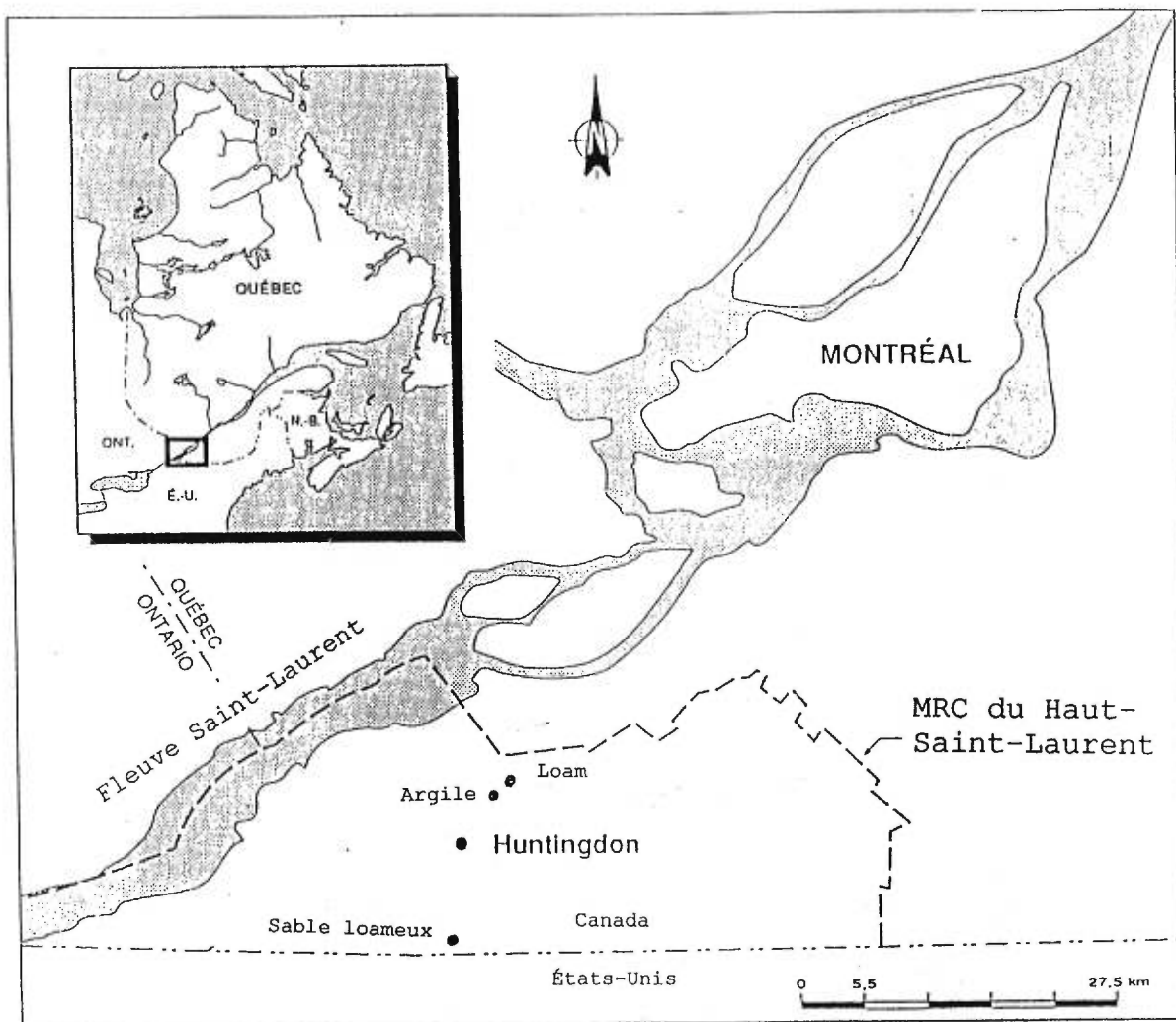


Figure 1. Localisation des sites de plantation (argile, loam, sable loameux).



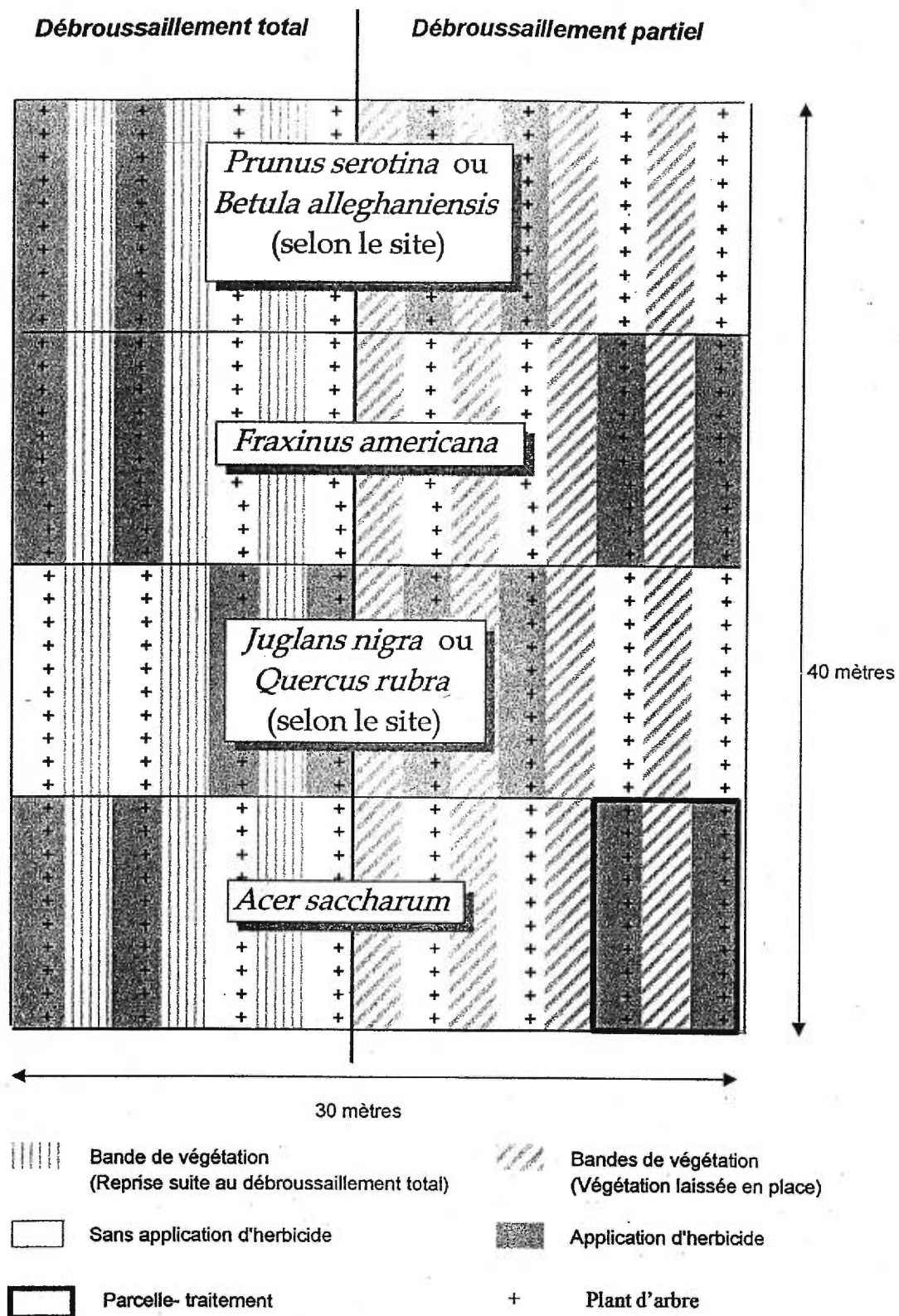


Figure 2. Dispositif expérimental, exemple d'un bloc

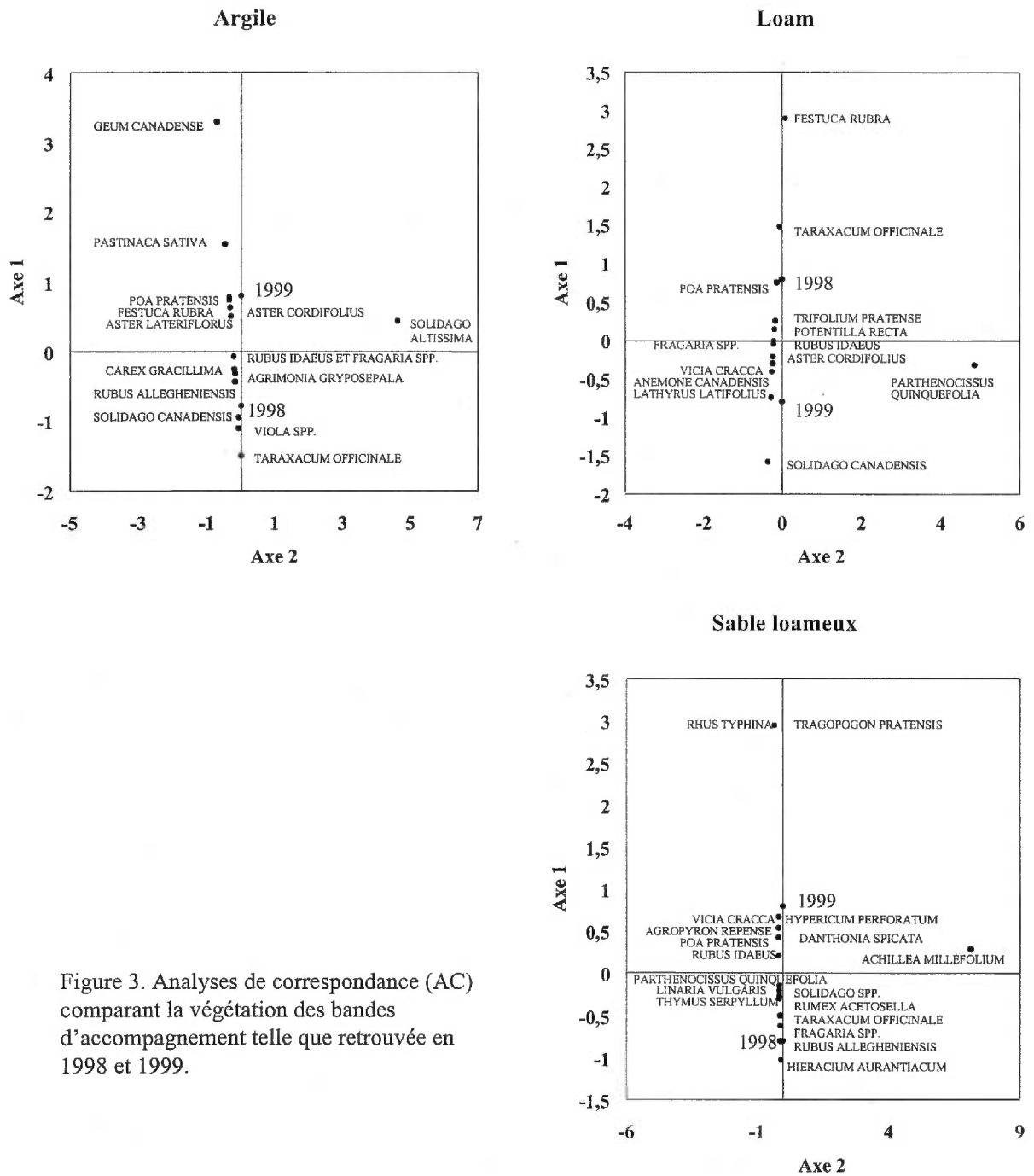
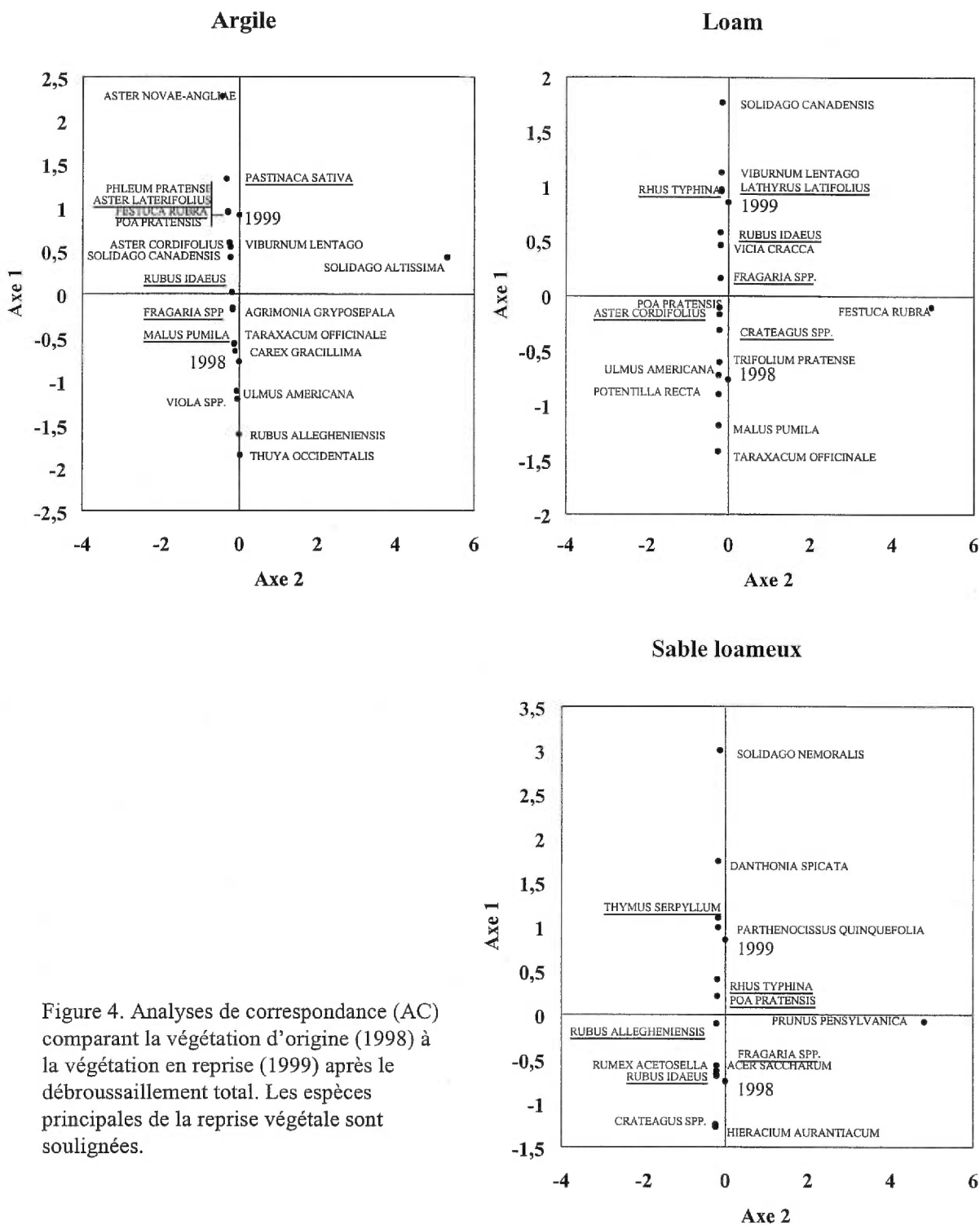
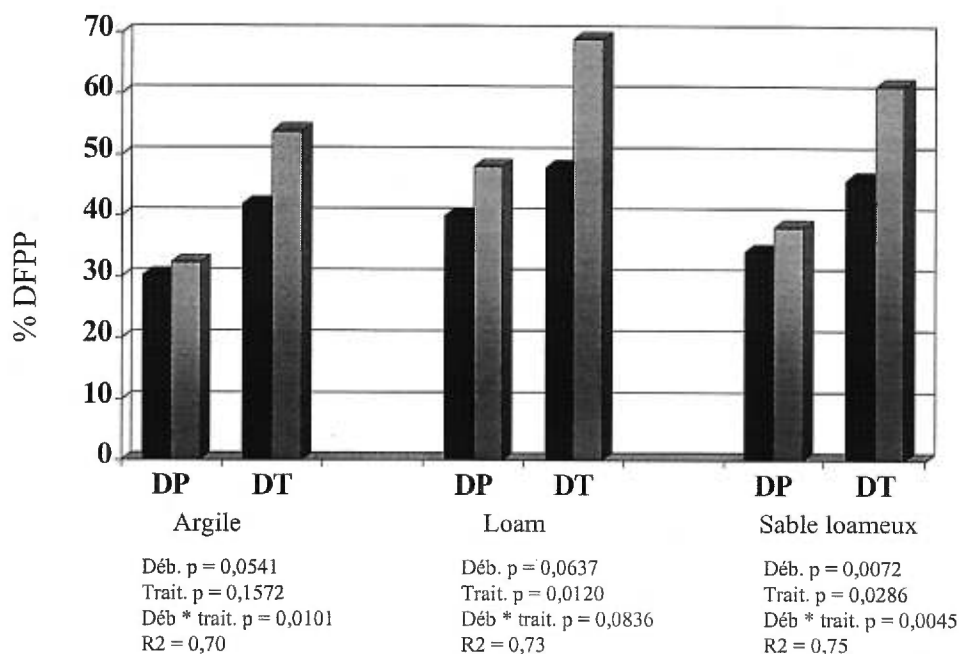


Figure 3. Analyses de correspondance (AC) comparant la végétation des bandes d'accompagnement telle que retrouvée en 1998 et 1999.



1998



1999

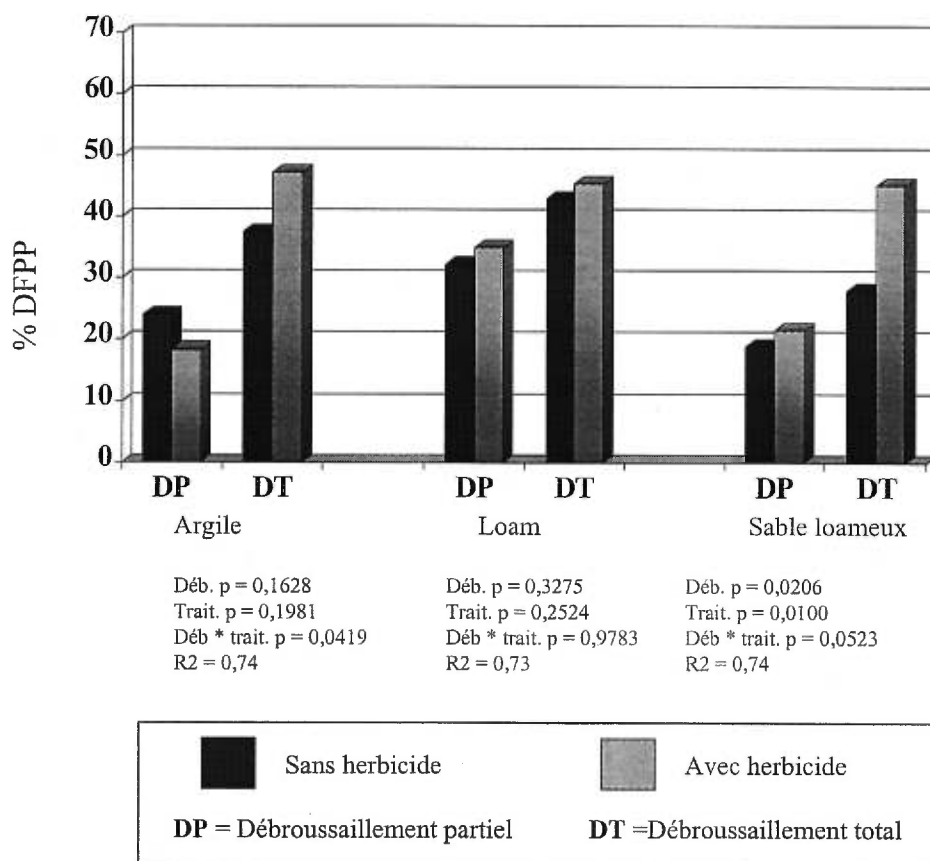


Figure 5. Densité de flux photonique photosynthétisant (% DFPP) mesurée au cours de deux saisons de croissance en fonction des sites et des traitements

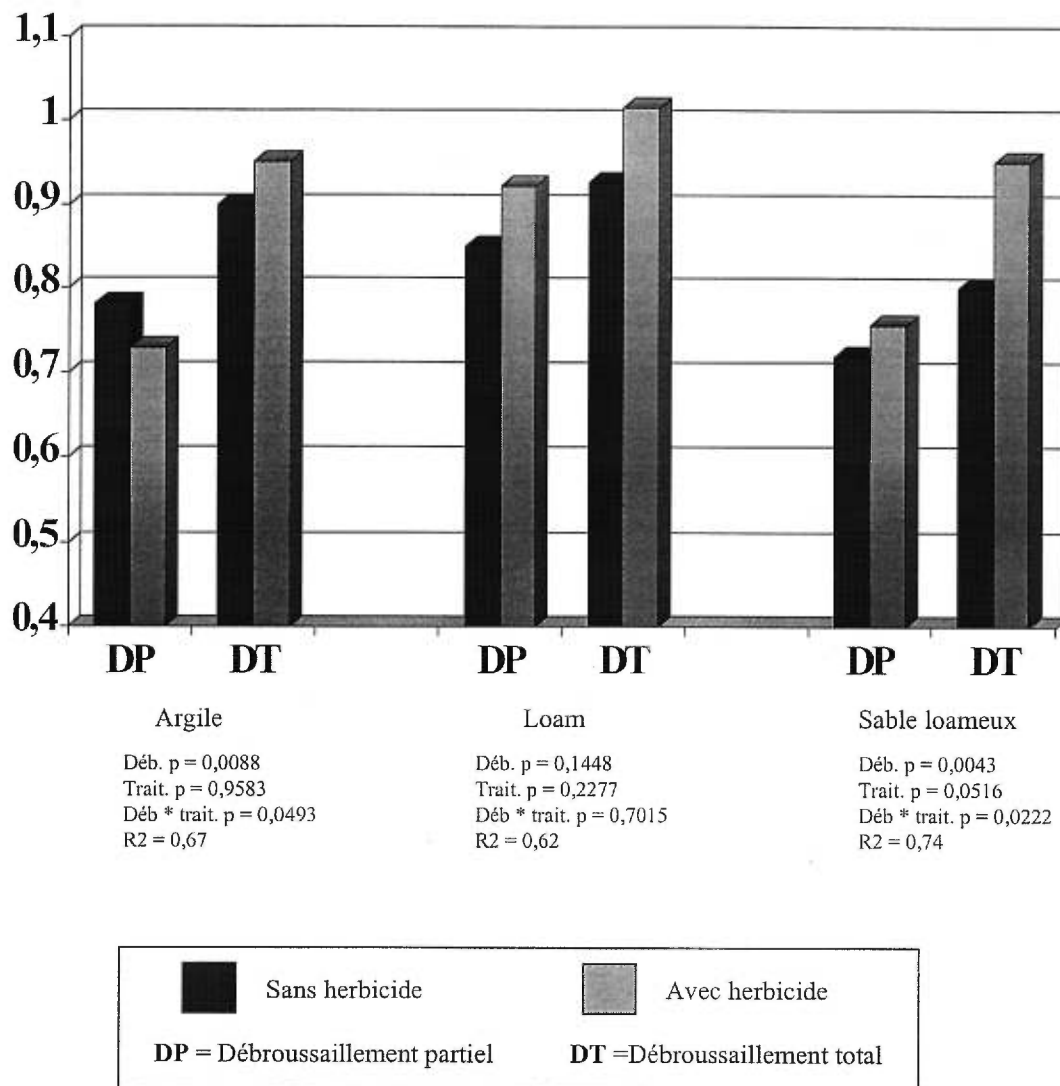
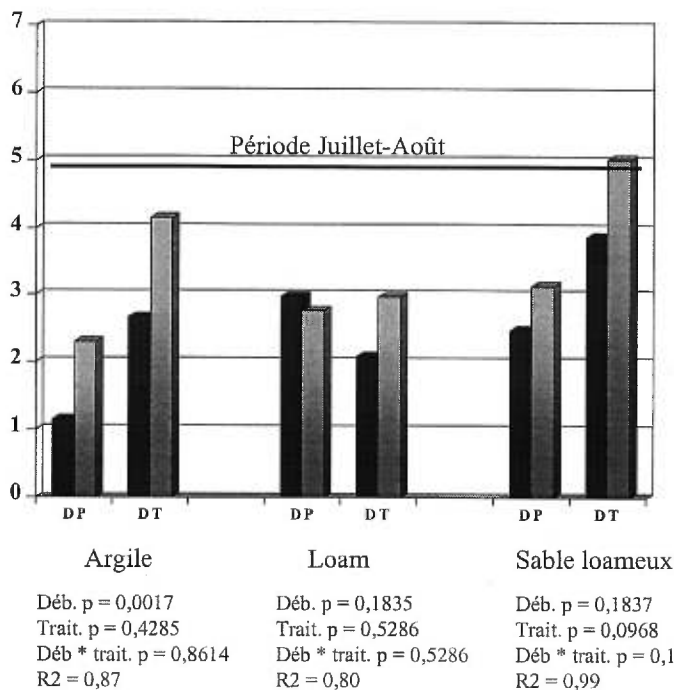


Figure 6. Rapport rouge/rouge lointain mesuré au cours d'une saison de croissance (1999) en fonction des sites et des traitements

1998



1999

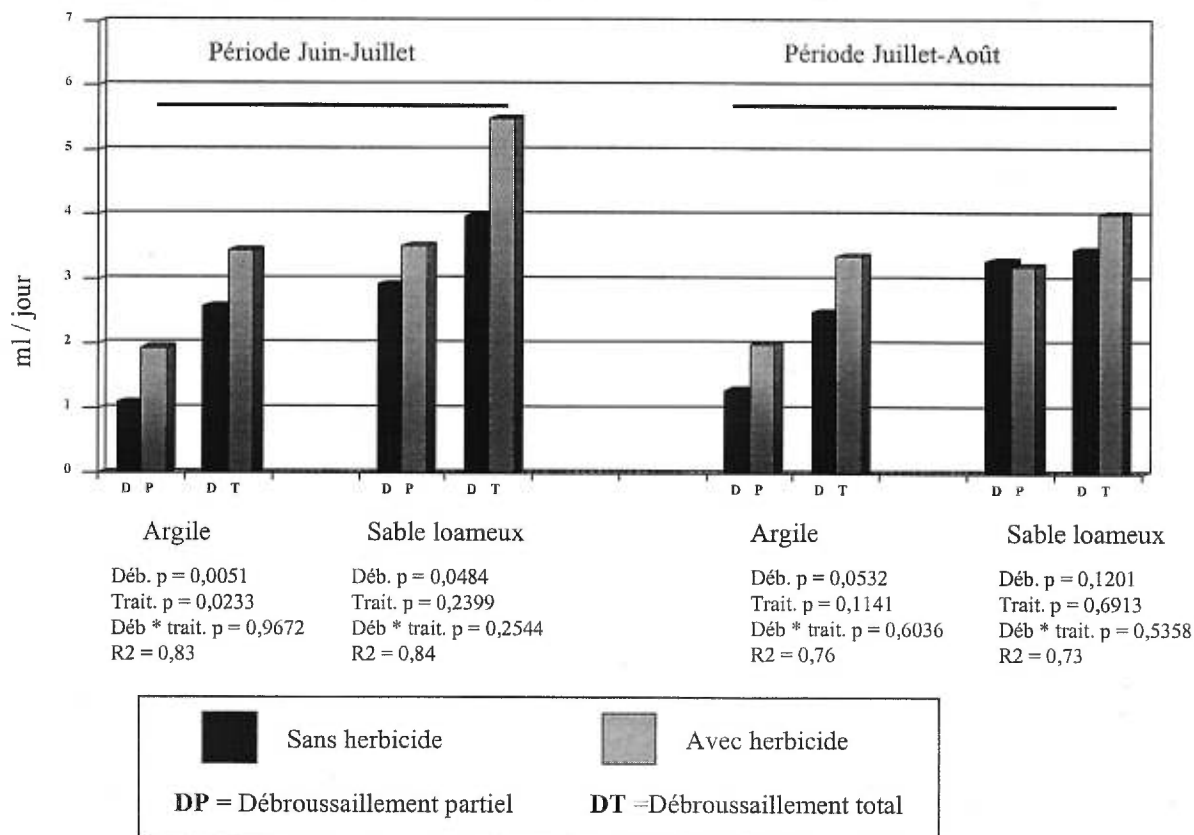
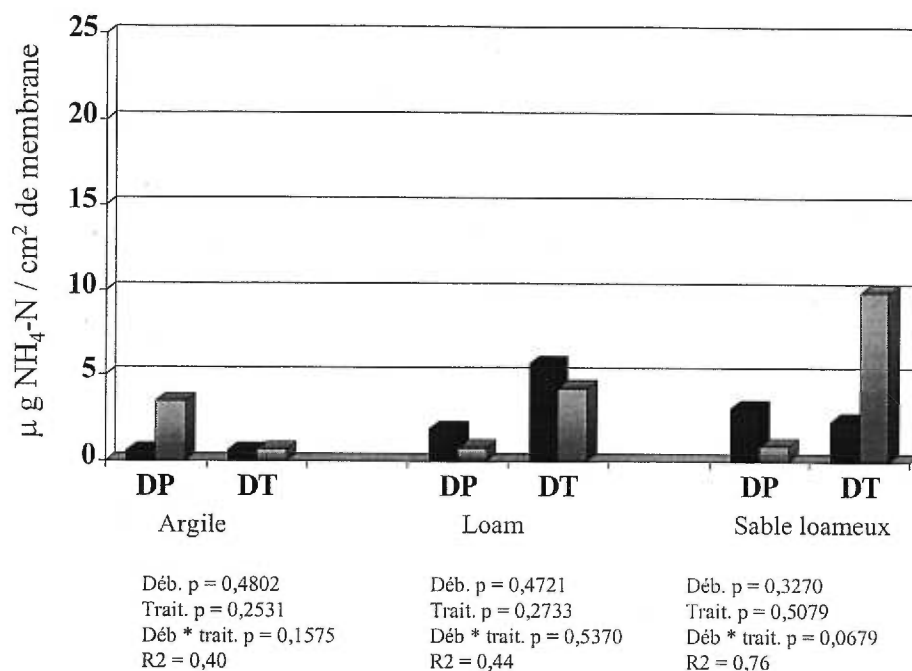


Figure 7. Indice climatologique mesuré au cours de deux saisons de croissance en fonction des sites et des traitements

1998



1999

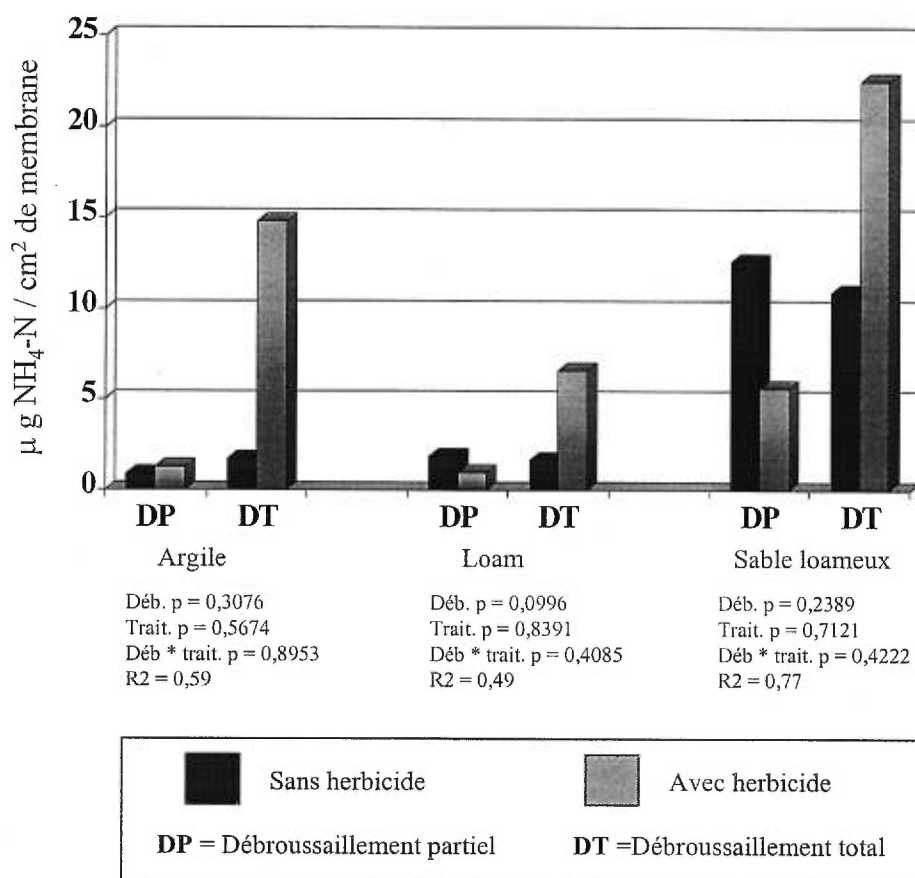
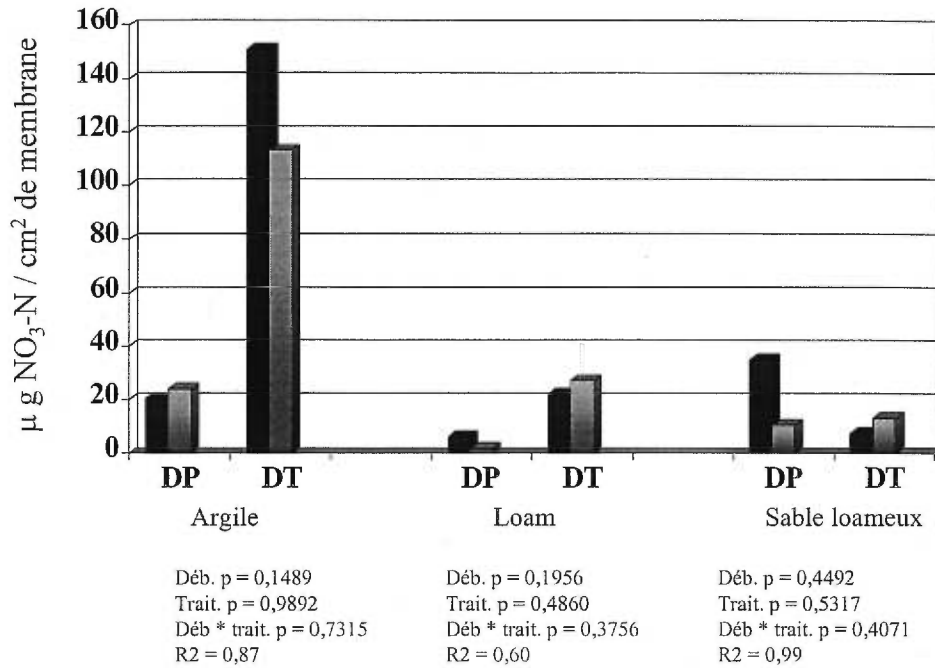


Figure 8. Somme des deux périodes d'incubation, mesurée au cours de deux saisons de croissance, des taux de  $\text{NH}_4$  en fonction des sites et des traitements

1998



1999

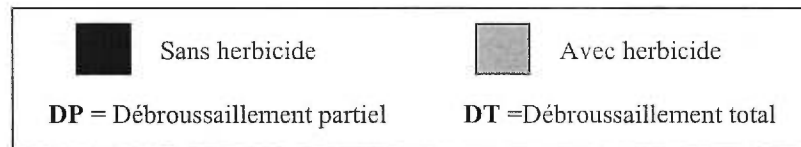
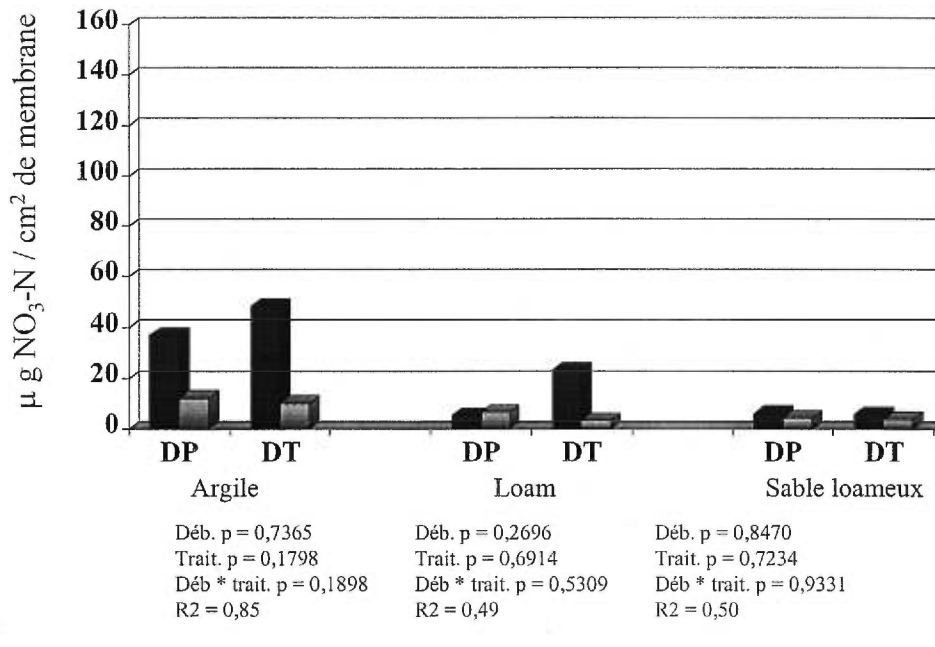
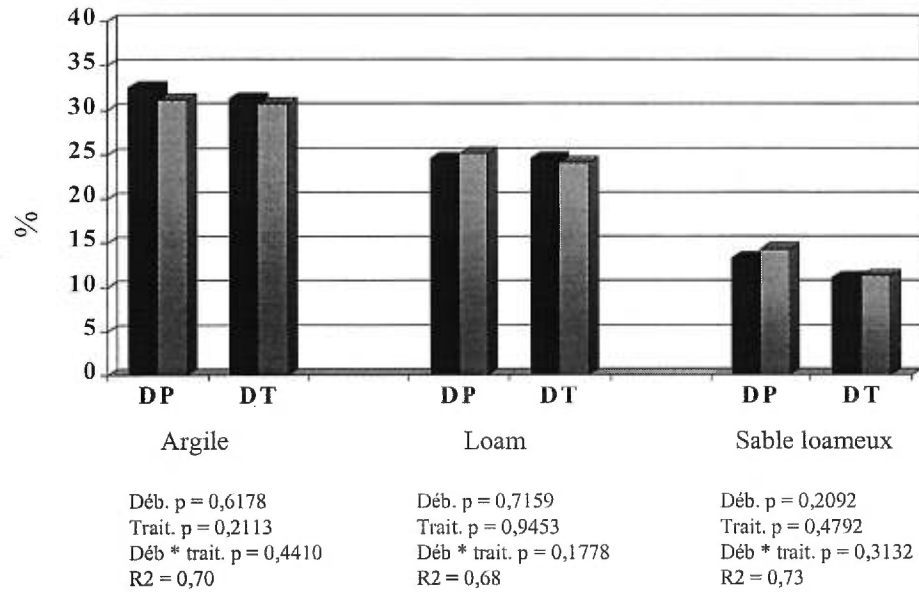


Figure 9. Somme des deux périodes d'incubation, mesurée au cours de deux saisons de croissance, des taux de  $\text{NO}_3$  en fonction des sites et des traitements



1998



1999

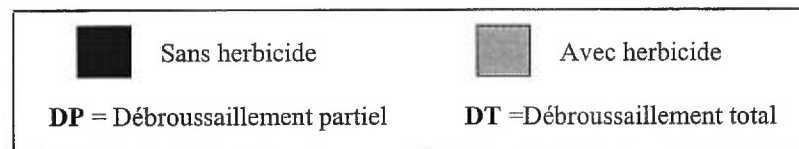
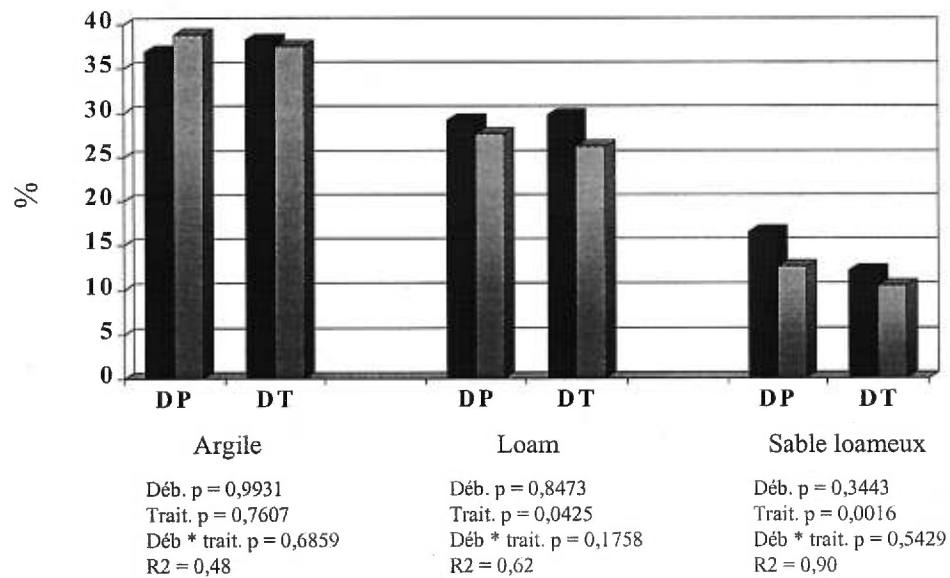


Figure 10. Teneur en eau du sol mesurée au cours de deux saisons de croissance en fonction des sites et des traitements

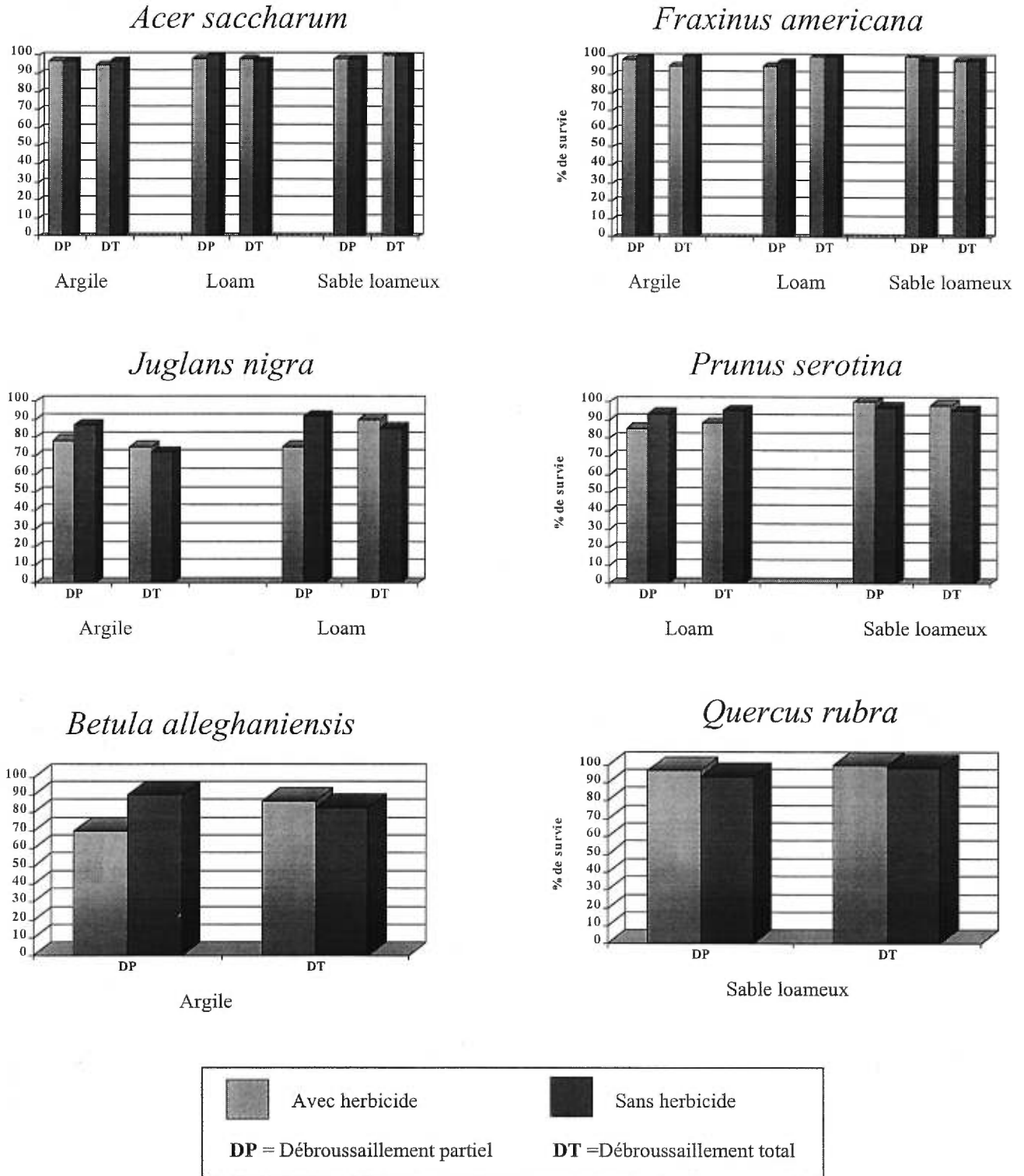


Figure 11. Taux de survie des espèces après deux années en plantation en fonctions des sites et des traitements

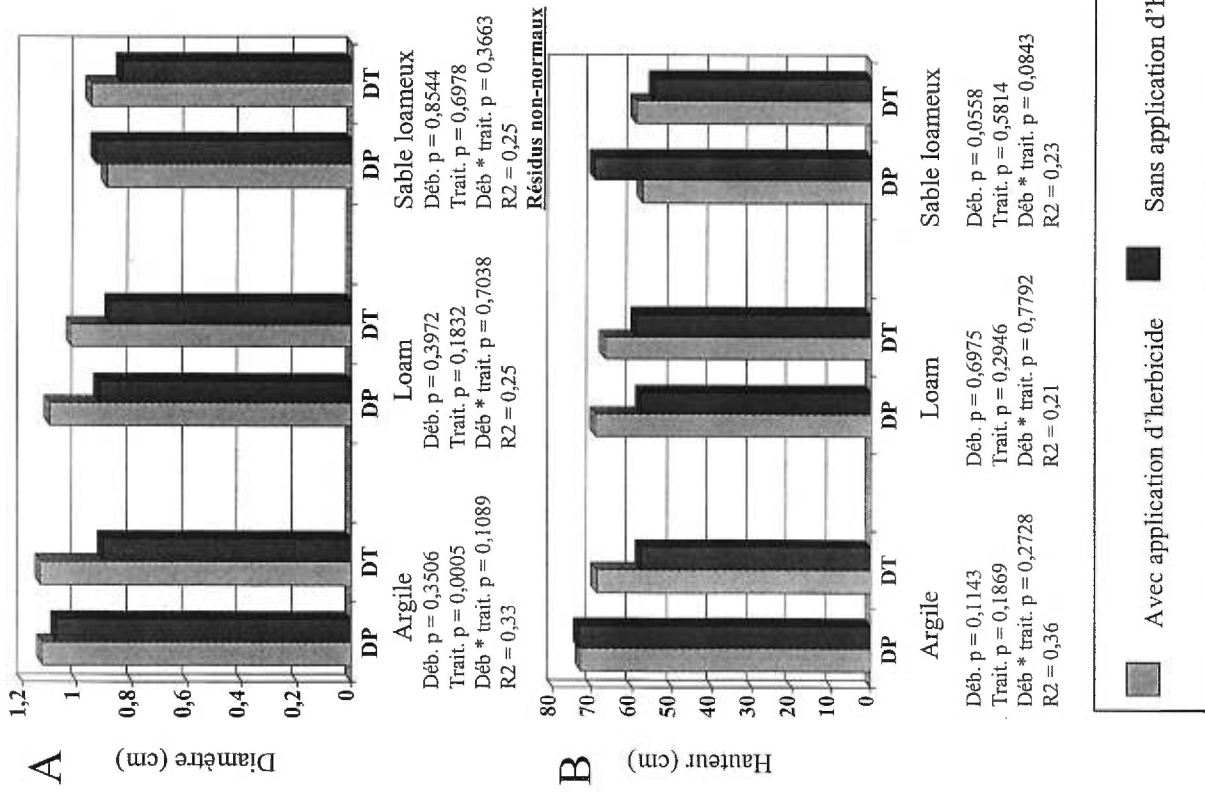


Figure 12. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Fraxinus americana* à l'automne 1999.

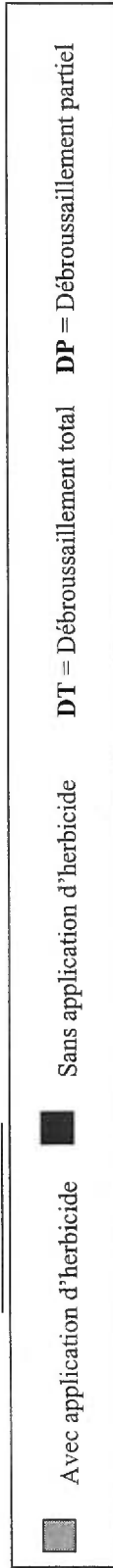
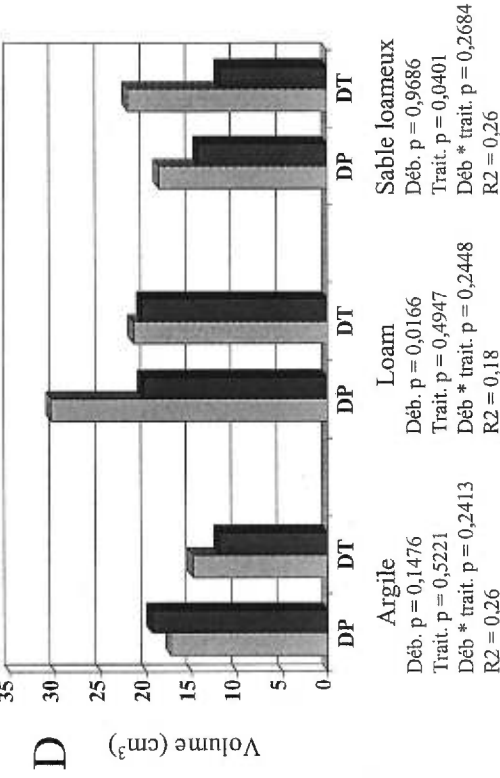
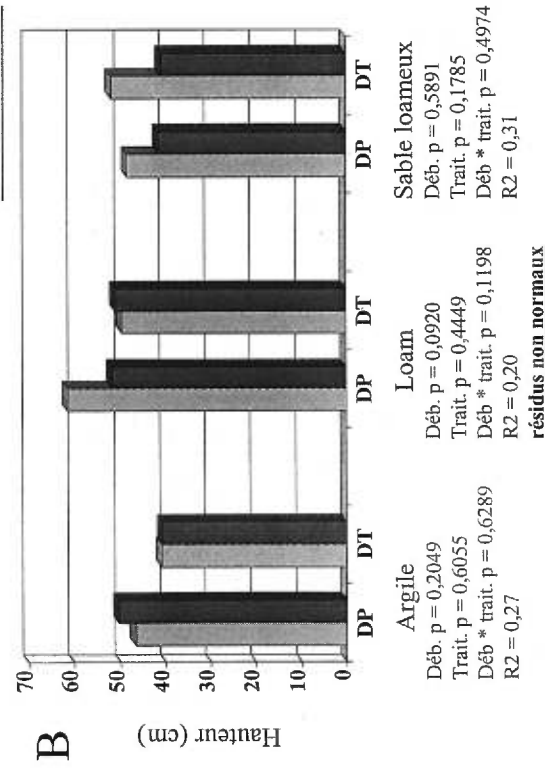
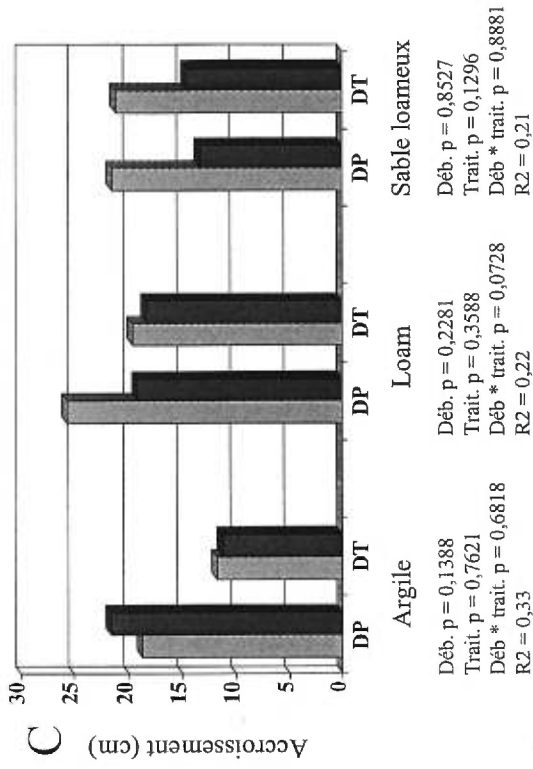
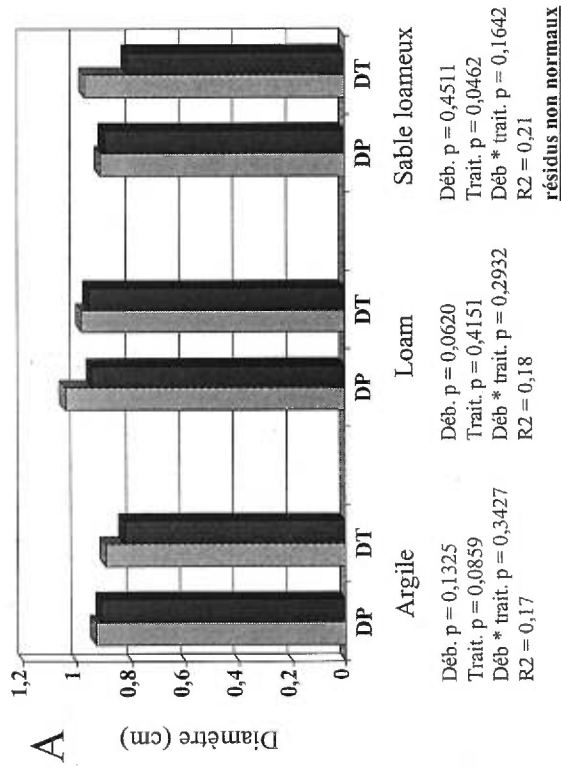


Figure 13. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Acer saccharum* à l'automne 1999.

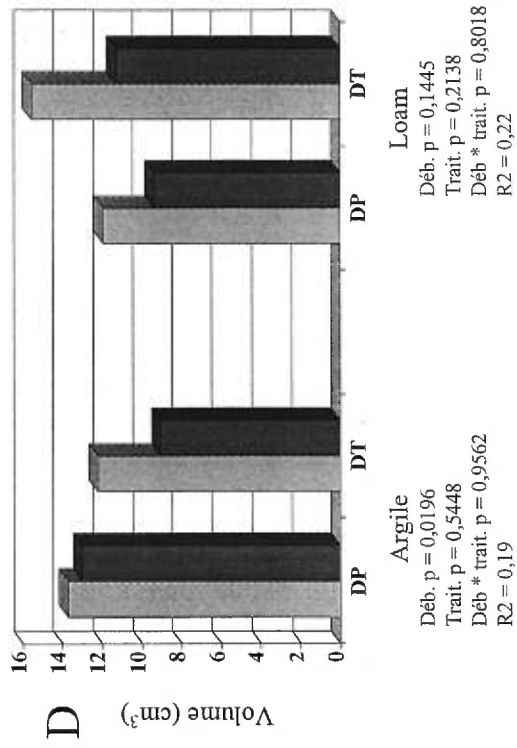
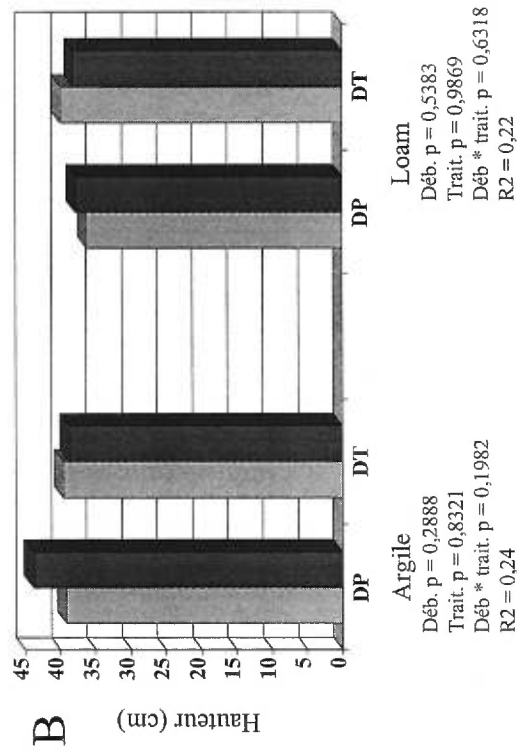
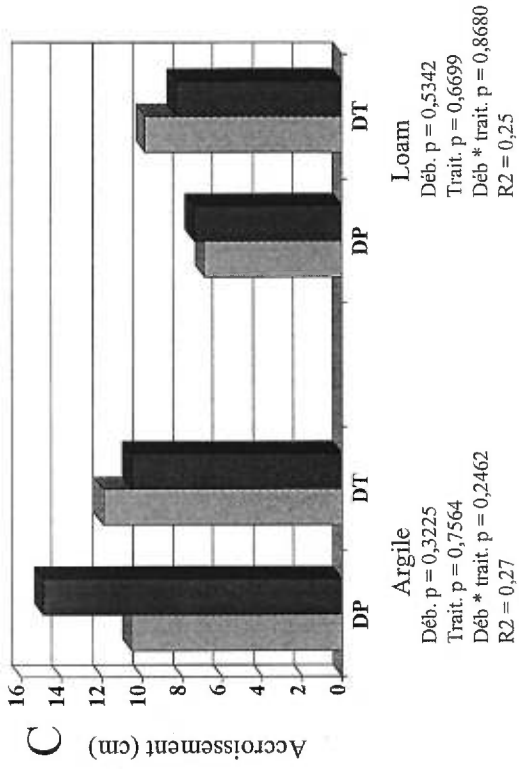
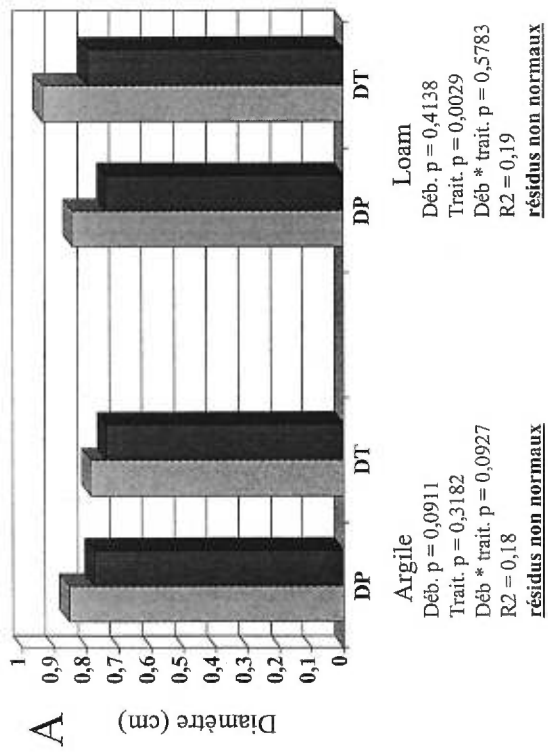


Figure 14. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Juglans nigra* à l'automne 1999.

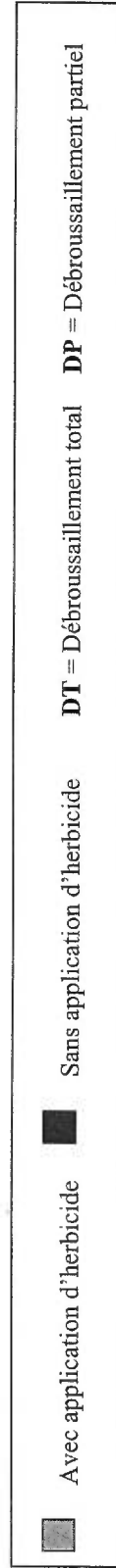
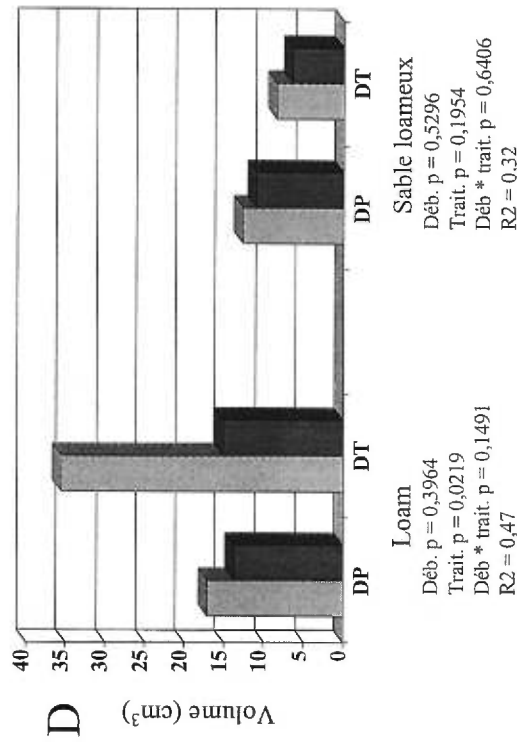
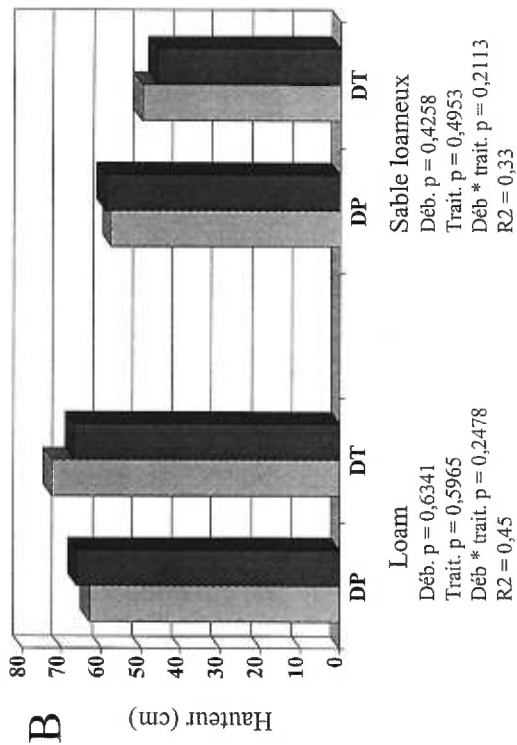
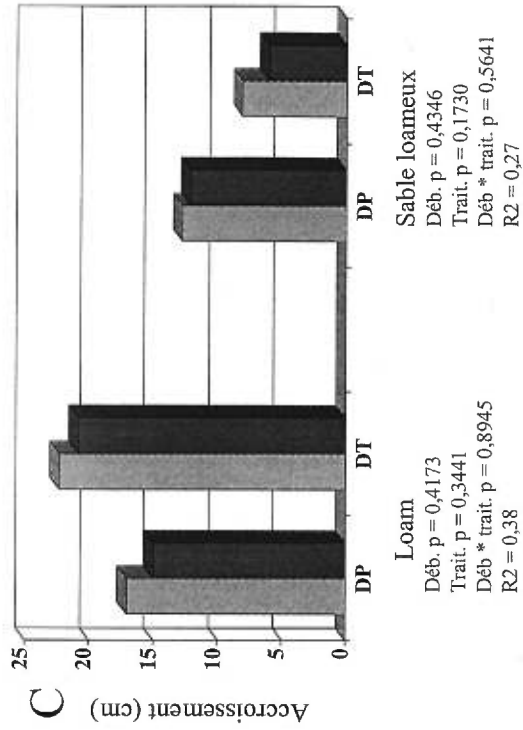
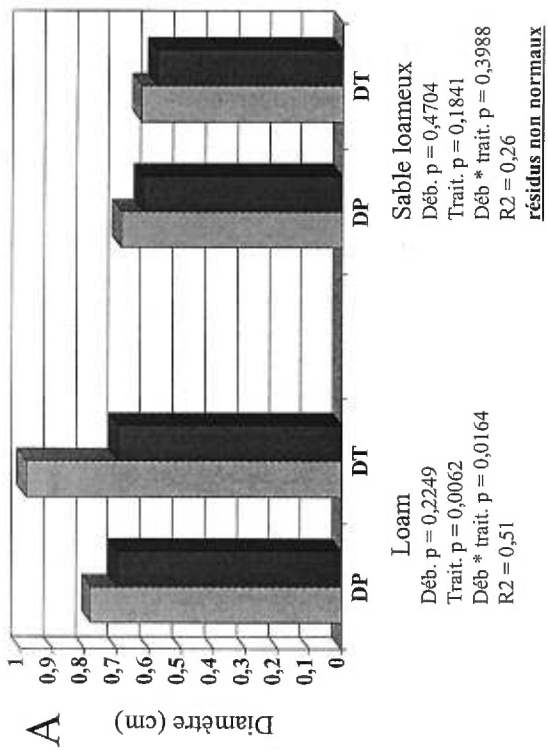


Figure 15. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Prunus serotina* à l'automne 1999.

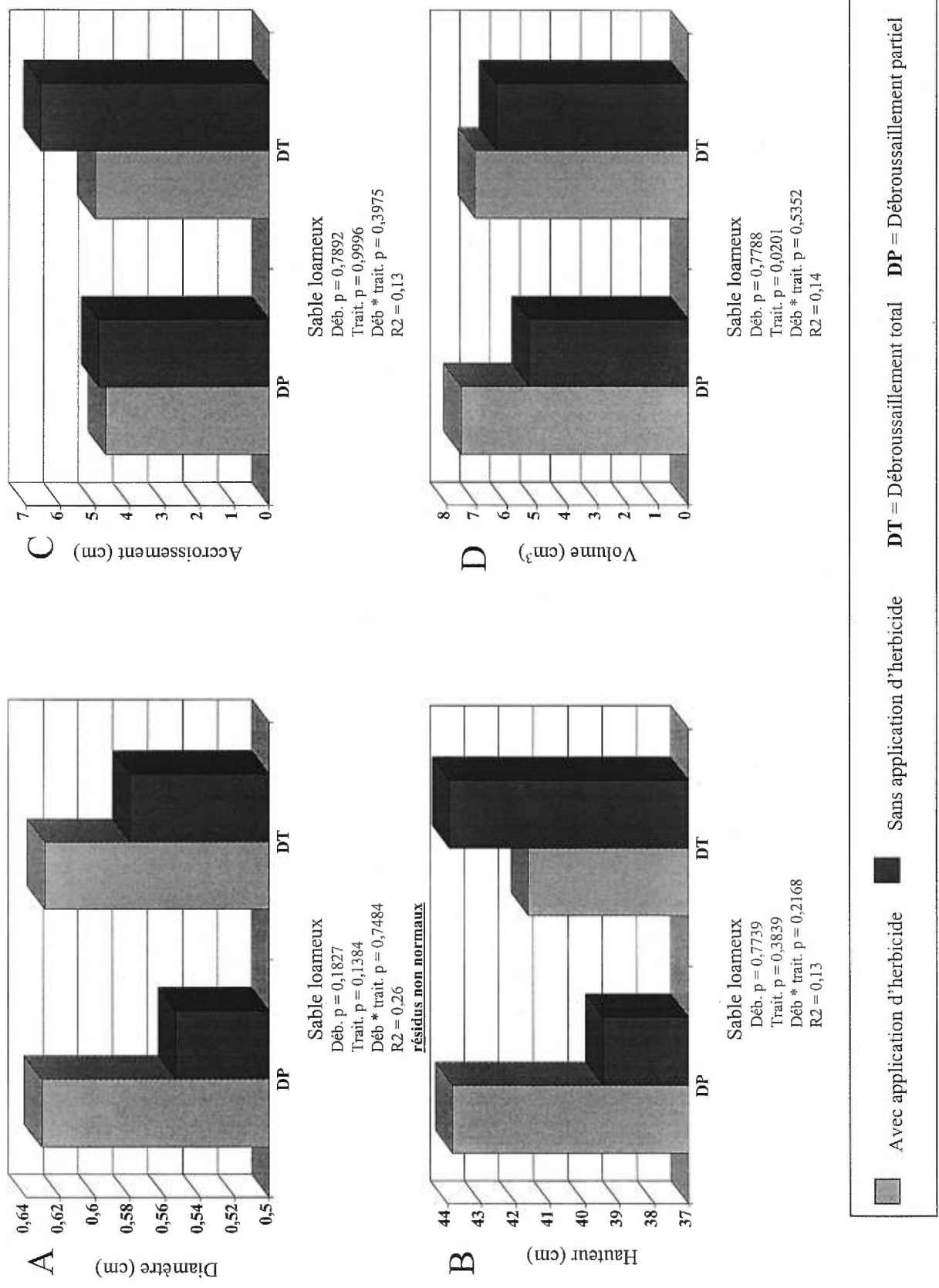


Figure 16. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Quercus rubra* à l'automne 1999.

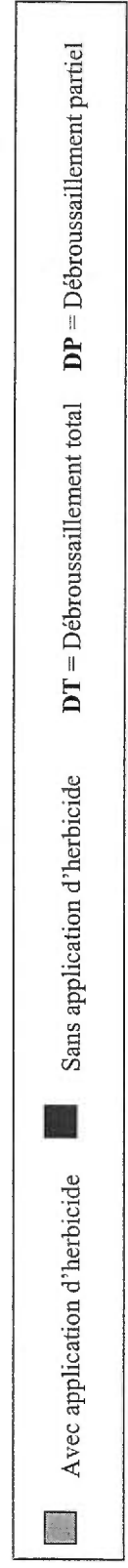
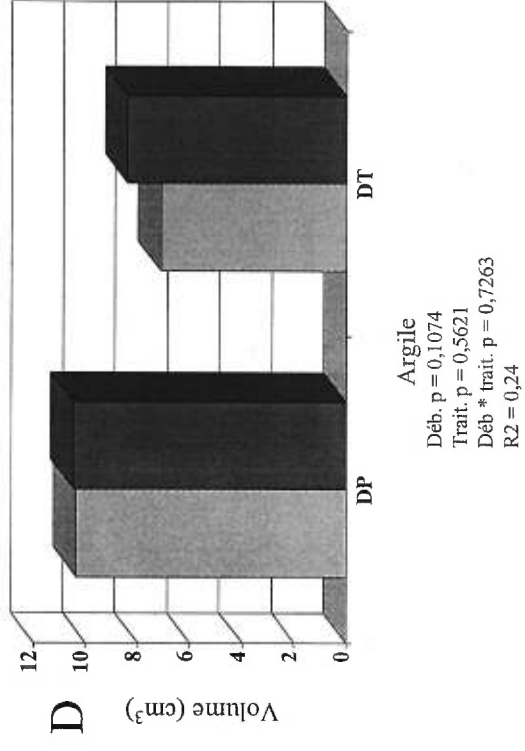
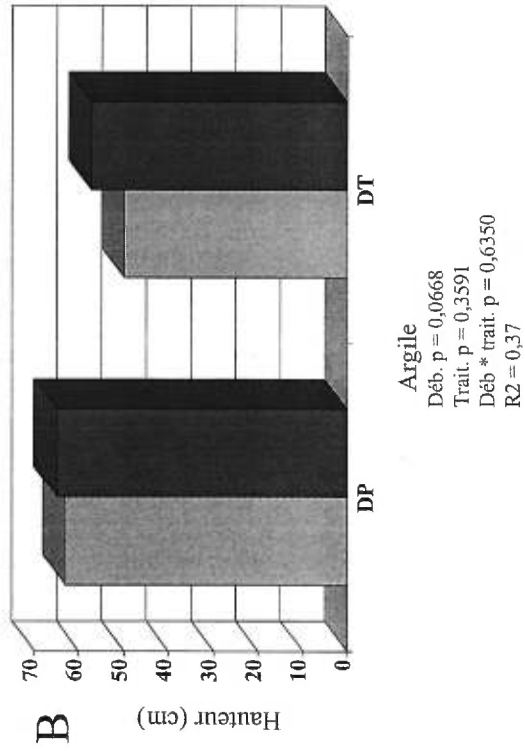
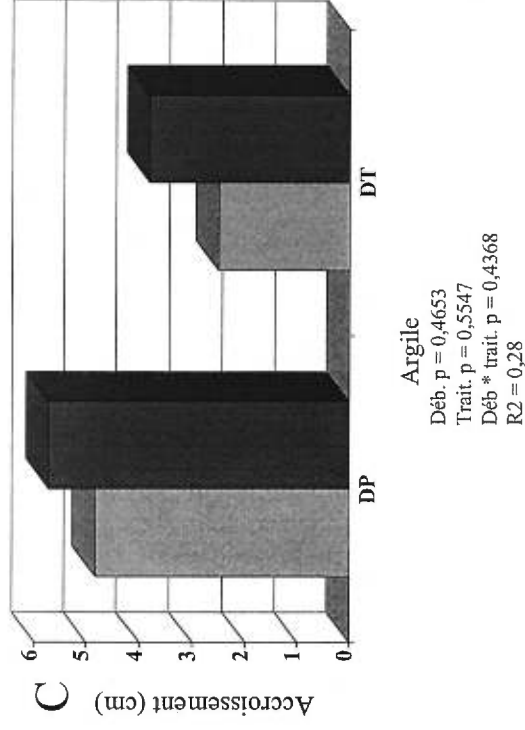
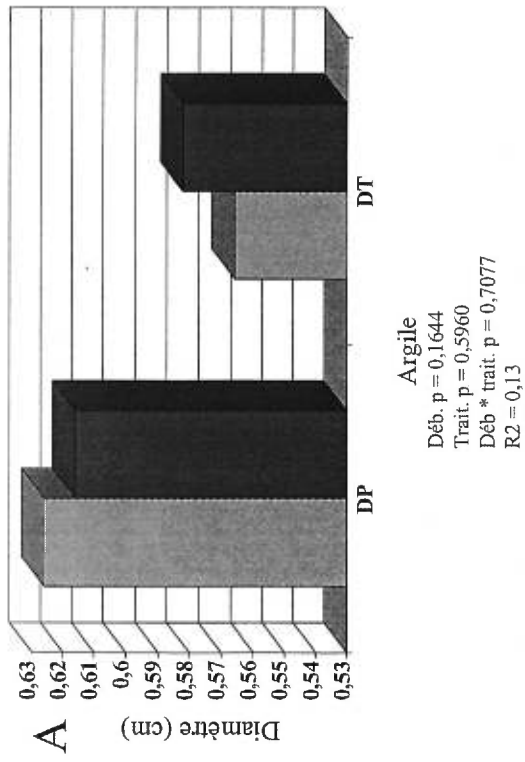


Figure 17. Diamètre (A), hauteur (B), accroissement (C) et volume (D) de *Betula alleghaniensis* à l'automne 1999.



Tableau I. Description édaphique, composition floristique, hauteur de la communauté et espèces plantées sur chacun des trois sites

	<b>Argile</b>	<b>Loam</b>	<b>Sable loameux</b>
Drainage	Mauvais	Bon	Rapide
Dépôt	Glaciaire (dolomie)	Glaciaire (dolomie)	Tardi-glaciaire (grès)
% argile	48,07	22,2	11,14
% limon	39,09	38,37	7,25
% sable	12,84	39,44	81,61
humidité du sol (%)	46,73	33,01	14,4
pH tampon	6,49	7,21	6,11
CEC	32,02	22,05	16,51
Ca (kg/ha)	7500	5822	1463
K (kg/ha)	419,8	270,6	147,4
Mg (kg/ha)	1523	1478	164
Mn (ppm)	35,53	234,04	103,02
N (%)	0,648	0,522	0,358
P (kg/ha)	40,83	23,48	68,25
C/N	11,41	11,91	9,41
Mg/Ca	0,339	0,426	0,187
K/Mg	0,089	0,059	0,292
K/Ca	0,0292	0,0245	0,0551
(Ca+Mg)/K	50,68	67,91	25,19
matière organique(%)	12,68	10,72	5,78
Composition floristique d'origine	<i>Rubus idaeus</i> (12,8%) <i>Malus pumila</i> (9,66%) <i>Fragaria spp.</i> (8,5%)	<i>Malus pumila</i> (8,71%) <i>Aster cordifolius</i> (7,9%) <i>Crateagus spp</i> (7,14%)	<i>Rhus typhina</i> (18,93%) <i>Fragaria spp.</i> (10,28%) <i>Rubus idaeus</i> (9,28%)
Hauteur moyenne de la communauté	4,4m	2,8m	2,8m
Espèces plantées	<i>Acer saccharum</i> <i>Fraxinus americana</i> <i>Juglans nigra</i> <i>Betula alleghaniensis</i>	<i>Acer saccharum</i> <i>Fraxinus americana</i> <i>Juglans nigra</i> <i>Prunus serotina</i>	<i>Acer saccharum</i> <i>Fraxinus americana</i> <i>Quercus rubra</i> <i>Prunus serotina</i>

Tableau II. Composition de la végétation des bandes d'accompagnement du débroussaillage partiel. Principales espèces ainsi que leur valeur d'importance (VI) respective

<b>Argile</b>		<b>Loam</b>		<b>Sable loameux</b>	
<b>ESPÈCE</b>	<b>VI</b>	<b>ESPÈCE</b>	<b>VI</b>	<b>ESPÈCE</b>	<b>VI</b>
<i>Rubus idaeus</i>	12,81	<i>Malus pumila</i>	8,71	<i>Rhus typhina</i>	18,93
<i>Malus pumila</i>	9,66	<i>Aster cordifolius</i>	7,97	<i>Fragaria spp.</i>	10,28
<i>Fragaria spp.</i>	8,55	<i>Crataegus spp.</i>	7,14	<i>Rubus idaeus</i>	9,28
<i>Rubus allegheniensis</i>	5,87	<i>Fragaria spp.</i>	6,05	<i>Poa pratensis</i>	6,07
<i>Agrimonia gryposepala</i>	5,34	<i>Ulmus americana</i>	5,90	<i>Rumex acetosella</i>	5,53
<i>Thuya occidentalis</i>	4,82	<i>Taraxacum officinale</i>	5,21	<i>Acer saccharum</i>	5,40
<i>Ulmus americana</i>	4,20	<i>Rubus idaeus</i>	4,79	<i>Rubus allegheniensis</i>	5,10
<i>Taraxacum officinale</i>	3,96	<i>Lathyrus latifolius</i>	4,43	<i>Crataegus spp.</i>	4,64
<i>Viola spp.</i>	3,86	<i>Trifolium pratense</i>	3,98	<i>Hieracium aurantiacum</i>	4,23
<i>Carex gracillima</i>	3,52	<i>Potentilla recta</i>	3,50	<i>Prunus pensylvanica</i>	3,30
<i>Solidago canadensis</i>	3,14	<i>Poa pratensis</i>	3,34	<i>Thymus serpyllum</i>	2,21
<i>Crataegus spp.</i>	2,85	<i>Vicia cracca</i>	2,95		
<i>Aster lateriflorus</i>	2,81	<i>Hieracium aurantiacum</i>	2,90		
<i>Viburnum lentago</i>	2,66	<i>Festuca rubra</i>	2,89		
<i>Ranunculus acris</i>	2,42	<i>Rhus typhina</i>	2,36		
<i>Solidago altissima</i>	2,28	<i>Achillea millefolium</i>	2,28		
		<i>Anemone canadensis</i>	2,26		

Tableau III. Composition de la végétation des bandes de reprise du débroussaillage total. Principales espèces ainsi que leur valeur d'importance (VI) respective

<b>Argile</b>		<b>Loam</b>		<b>Sable loameux</b>	
<b>ESPÈCE</b>	<b>VI</b>	<b>ESPÈCE</b>	<b>VI</b>	<b>ESPÈCE</b>	<b>VI</b>
<i>Rubus idaeus</i>	11,17	<i>Lathyrus latifolius</i>	8,39	<i>Rhus typhina</i>	22,22
<i>Fragaria</i> spp.	6,29	<i>Rubus idaeus</i>	6,60	<i>Poa pratensis</i>	6,25
<i>Aster lateriflorus</i>	6,10	<i>Aster cordifolius</i>	6,24	<i>Fragaria</i> spp.	5,96
<i>Malus pumila</i>	4,65	<i>Fragaria</i> spp.	6,08	<i>Rubus idaeus</i>	4,90
<i>Festuca rubra</i>	4,36	<i>Crataegus</i> spp.	5,00	<i>Thymus serpyllum</i>	4,37
<i>Pastinaca sativa</i>	4,34	<i>Rhus typhina</i>	4,42	<i>Rubus allegheniensis</i>	4,20

Tableau IV. Description de la végétation des bandes de reprise du débroussaillage total

**Argile**

Bloc	Arbres et arbustes (rejet de souche et semis confondus)				Herbacées	
	Recouvrement (%)	Hauteur des rejets (cm)	Hauteur des semis (cm)	Richesse	Recouvrement (%)	Richesse
1	22,3	72,5	51,6	2,25	94,65	13,08
2	5,75	50,3	55,4	1,67	144,56	9,92
3	10,17	55,3	54,6	2,5	109	12,75

**Loam**

Bloc	Arbres et arbustes (rejet de souche et semis confondus)				Herbacées	
	Recouvrement (%)	Hauteur des rejets (cm)	Hauteur des semis (cm)	Richesse	Recouvrement (%)	Richesse
1	31,92	74,9	63,9	5,75	93,75	12,25
2	35,92	80,9	61,8	4,75	81,13	12,42
3	47,33	90,3	95,6	4,25	78,75	13,83

**Sable loameux**

Bloc	Arbres et arbustes (rejet de souche et semis confondus)				Herbacées	
	Recouvrement (%)	Hauteur des rejets (cm)	Hauteur des semis (cm)	Richesse	Recouvrement (%)	Richesse
1	87	54	83,3	4,17	54,29	8,08
2	56,5	85	79,8	4,83	66,58	8,83
3	50,96	54,3	68,8	4,08	78,33	9,75

Les données (recouvrement, hauteur et richesse) sont une moyenne des 12 quadrats du bloc.  
La superposition de la végétation peut entraîner des valeurs de recouvrement supérieures à 100%

Tableau V. Synthèse des effets significatifs des traitements sur les paramètres de croissance

	SITE	DÉBROUSSAILLEMENT PARTIEL		DÉBROUSSAILLEMENT TOTAL	
		SANS HERBICIDE	AVEC HERBICIDE	SANS HERBICIDE	AVEC HERBICIDE
<i>Fraxinus americana</i>	Argile	HautR (p=0,0117), HautRGR (p=0,0117), Pousse (p=0,0168), VolR (p=0,0067), VolRGR (p=0,0067), Accr (p=0,0053), AccrR (p=0,0117), AccrRGR (p=0,0117)	Diam (p=0,0005), DiamR (p=0,0364), DiamRGR (0,0364), HautR (p=0,0117), HautRGR (p=0,0117), Pousse (p=0,0168), Vol (p=0,0116), VolR (p=0,0067), VolRGR (p=0,0067), Accr (p=0,0053), AccrR (p=0,0117), AccrRGR (p=0,0117)		Diam (p=0,0005), DiamR (p=0,0364), DiamRGR (0,0364), Vol (p=0,0116)
		Loam	DiamR (p=0,0299), DiamRGR (p=0,0299), VolR (p=0,0357), VolRGR (p=0,0357)		
	Sable limoneux	HautR (p=0,0382), VolR (p=0,0447), VolRGR (p=0,0447), Accr (p=0,0198), AccrR (p=0,0382)	VolR (p=0,0447), VolRGR (p=0,0447), Accr (p=0,0198)	HautR (p=0,0382), AccrR (p=0,0382)	
	Argile Loam Sable limoneux	Vol (p=0,0166)	Vol (p=0,0166) Vol (p=0,0401)		Vol (p=0,0401)
<i>Juglans nigra</i>	Argile		DiamR (p=0,0228), DiamRGR (p=0,0228)		DiamR (p=0,0228), DiamRGR (p=0,0228)
	Loam	Vol (p=0,0196)	Vol (p=0,0196)	DiamR (p=0,0454), VolR (p=0,0319),	DiamR (p=0,0454), VolR (p=0,0319), Vol (p=0,0218)
<i>Prunus serotina</i>	Loam		Vol (p=0,0218)		Vol (p=0,0218)
	Sable limoneux				
<i>Quercus rubra</i>	Sable limoneux				
	Argile		Vol (p=0,0201)		Vol (p=0,0201)
<i>Betula alleghaniensis</i>	Argile				

Paramètre. Diamètre : Diam., Hauteur : Haut., Pousse annuelle : Pousse, Volume : Vol, Accroissement : Accr.

Accroissement relatif. Diamètre : DiamR, Hauteur : HautR, Volume : VolR, Accroissement : AccrR

Taux relatif de croissance Diamètre : DiamRGR., Hauteur : HautRGR, Volume : VolRGR, Accroissement : AccrRGR

Tableau VI. Corrélations entre la lumière et les différents paramètres de croissance mesurés en seconde saison de croissance (1999)

	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse
Corrélation	0.16006	0.01350	0.01918	0.09253	-0.08250	-0.06969	-0.03165
p-value	<b>0.0001</b>	0.6196	0.4805	<b>0.0006</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0103</b>	0.2441
N	1356	1355	1355	1356	1355	1355	1356

	Accr	AccrR	AccrRGR	Vol	VolR	VolRGR
Corrélation	-0.00567	-0.08250	-0.06969	0.15126	-0.01943	-0.02435
p-value	0.8348	<b>0.0024</b>	<b>0.0103</b>	<b>0.0001</b>	0.4749	0.3705
N	1355	1355	1355	1356	1355	1355

**Paramètre.** Diamètre : Diam., Hauteur : Haut., Pousse annuelle : Pousse, Volume : Vol, Accroissement : Accr.  
**Accroissement relatif.** Diamètre : DiamR, Hauteur : HautR, Volume : VolR, Accroissement : AccrR  
**Taux relatif de croissance** Diamètre : DiamRGR., Hauteur : HautRGR, Volume : VolRGR, Accroissement: AccrRGR

Tableau VII. Synthèse des relations significatives des paramètres de croissance pour les différents traitements

	SITE	DÉBROUSSAILLEMENT PARTIEL		DÉBROUSSAILLEMENT TOTAL	
		SANS HERBICIDE	AVEC HERBICIDE	SANS HERBICIDE	AVEC HERBICIDE
<i>Fraxinus americana</i>	Argile	***	****		**
	Loam	*	*		
	Sable loameux	**	**	*	
<i>Acer saccharum</i>	Argile		*		
	Loam	*	*		
	Sable loameux	*	*		*
<i>Juglans nigra</i>	Argile	*	**		*
	Loam			*	*
	Loam		*		*
<i>Prunus serotina</i>	Loam		*		*
	Sable loameux				
	Sable loameux		*		*
<i>Quercus rubra</i>	Sable loameux		*		*
	Argile				
<i>Betula alleghaniensis</i>	Argile				

Le nombre de \* a été déterminé selon le nombre de paramètres significatif de la classification suivante: A) volume, diamètre ou hauteur  
 B) calcul relatif de l'un des trois paramètres précédents C) longueur de la pousse D) accroissement

Exemples = DiamR, DiamRGR, VoIR et VoIRGR = \* Haut et HautR = \*\* HautR, Pousse, Accr = \*\*\*

Tableau VIII. Synthèse des relations significatives des variables abiotiques pour les différents traitements

VARIABLES ABIOTIQUES	SITE	ANNÉE	DÉBROUSSAILLEMENT PARTIEL AVEC HERBICIDE		DÉBROUSSAILLEMENT TOTAL AVEC HERBICIDE	
			SANS HERBICIDE	SANS HERBICIDE	SANS HERBICIDE	SANS HERBICIDE
Densité de flux photonique photosynthétisant (%DFPP)	Argile	1998				
		1999		****		****
	Loam	1998				
Rapport rouge/rouge lointain (R/RL)	Sable loameux	1998	*	**	***	****
		1999	*	**	***	****
	Argile	1999			****	****
Indice climatologique	Loam	1999				
	Sable loameux	1999			****	****
	Argile	1998		** (juin-juillet)	**** (juin-juillet)	**** (juin-juillet)
Ions ammonium	Loam	1999			*** (juin-juillet)	**** (juin-juillet)
	Sable loameux	1998				
	Argile	1999			**** (juin-juillet)	**** (juin-juillet)
Ions nitrate	Loam	1998				
		1999				
	Sable loameux	1998				
Teneur en eau du sol	Argile	1998				
		1999				
	Loam	1998				
	Sable loameux	1998			****	****
		1999			****	****
	Argile	1998				

\*\*\*\* = Le ou les traitements se démarquant le plus sur un même site pour une année donnée



## Bibliographie

- Adams, J.C. 1997. Mulching improves early growth of four Oak species in plantation establishment. *Southern journal of applied forestry* 21: 44-46.
- Ballaré, C.L., A.L. Scopel et R.A. Sanchez. 1990. Far-red radiation reflected from adjacent leaves : an early signal of competition in plant canopies. *Science* 274: 329-332.
- Barg, A.K. et R.L. Edmonds. 1999. Influence of partial cutting on site microclimate, soil nitrogen dynamics, and microbial biomass in Douglas-fir stands in western Washington. *Canadian journal of forest research* 29: 705-713.
- Bariteau, L. 1988. La carte géomorphologique au 1 :20 000 de modelé polygéniques : un exemple des basses terres du Saint-Laurent. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal, 185p.
- Beaudet, M. et C. Messier. 1998. Growth and morphological responses of yellow birch, sugar maple, and beech seedlings growing under a natural light gradient. *Canadian journal of forest research* 28: 1007-1015.
- Binkley, D. 1984. Does forest removal increase rates of decomposition and nitrogen release? *Forest ecology and management* 8: 229-233.
- Bouchard, A. et G. Domon. 1997. The transformation of the natural landscape of the Haut-Saint-Laurent (Québec) and their implications on future resource management. *Landscape and urban planning* 37: 99-107.
- Bowersox, T.W. et L.H. McCormick. 1987. Herbaceous communities reduce the juvenile growth of northern red oak, white ash, yellow poplar, but not white pine. p.24-26. *Dans* Hay, R.L., F.W. Woods et H. DeSelm. eds. *Proceedings of the central hardwood forest conference VI, february 1987, Knoxville, Tennessee.*
- Buckley, D.S., T.L. Sharik et J.G. Isebrands. 1998. Regeneration of northern red oak : positive and negative effects of competitor removal. *Ecology* 79: 65-78.
- Cain, M.L., S. Subler, J.P. Evans et M.-J. Fortin. 1999. Sampling spatial and temporal variation in soil nitrogen availability. *Oecologia* 118: 397-404.
- Childs, S.W. et L.E. Flint. 1987. Effect of shadeboards, shelterwoods, and clear-cuts on temperature and moisture environments. *Forest ecology and management* 18: 205-271.

- Cogliastro, A., D. Gagnon, D. Coderre et P. Bhereur. 1990. Responses of seven hardwood tree species to herbicide, rortotilling, and legume cover at two southern Quebec plantation sites. *Canadian journal of forest research* 20: 1172-1182.
- Cogliastro, A., D. Gagnon et A. Bouchard. 1993. Effet des sites et des traitements sylvicoles sur la croissance, l'allocation en biomasse et l'utilisation de l'azote de semis de quatre espèces feuillues en plantation dans le sud-ouest du Québec. *Canadian journal of forest research* 23: 199-209.
- Cogliastro, A., D. Gagnon et A. Bouchard. 1997. Experimental determination of soil characteristics optimal for the growth of ten hardwoods planted on abandoned farmland. *Forest ecology and management* 96: 49-63.
- Cogliastro, A., K. Benjamin, J. Millet, J.-P. Brassard, D. Gagnon et A. Bouchard. 2000. Reboisement des anciens pâturages sur sol pierreux par la plantation d'espèces d'arbres feuillus de haute valeur : effets de l'accompagnement des espèces arbustives présentes. Rapport remis au Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Forêt Québec. 55 pages et annexes.
- Corré, W.J. 1983. Growth and morphogenesis of sun and shade plants II. The influence of light quality. *Acta botanica neerlandica* 32: 185-202.
- Delage, M. 1998. Façonnement et métamorphose du modelé drumlinoïde par deux écoulements glaciaires successifs dans la région de Huntingdon (Sud du Québec). Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, 183p.
- Domon, G., A. Bouchard et M. Gariépy. 1993. The dynamics of the forest landscape of Haut-Saint-Laurent (Québec, Canada): interactions between biophysical factors, perceptions and policy. *Landscape and urban planning* 25: 53-74.
- Doucet, R. 1992. *La science agricole : climat, sols et productions végétales au Québec*. Éditions Berger, Eastman (Québec), 699p.
- Ellsworth, D.S. et Reich, P.B. 1992. Leaf mass per area, nitrogen content and photosynthetic carbon gain in *Acer saccharum* seedlings in contrasting forest light environments. *Functional ecology* 6: 423-435.
- Farrar, J.L. 1995. *Les arbres du Canada*. Fides et Service canadien des forêts, ressources naturelles Canada. 502 p.
- Gendron, F., C. Messier et P.G. Comeau. 1998. Comparaison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. *Agricultural and forest meteorology* 92: 55-70.
- Globensky, Y. 1987. Géologie des basses terres du Saint-Laurent. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec, MM. 85-02. 53 p.

- Gross, K.L., K.S. Pregtzer et A.J. Burton. 1995. Spatial variation in nitrogen availability in three successional plant communities. *Journal of ecology* 83: 357-367.
- Hannah, P.R. 1988. The shelterwood method in northeastern forest types: a literature review. *Northern journal of applied forestry* 5: 70-77.
- Hart, J.W. 1988. *Light and plant growth*. Edited by M. Black and J. Chapman. Vol. 1, Topics in plant physiology. London: Unwin Hyman Ltd.
- Hix, D.M., C.A. McNeel et E.C. Townsend. 1994. Treatments for enhancing early survival and growth of northern red oak seedlings. *Tree planters' note* 45: 137-141.
- Holbo, H.R. et S.W. Childs. 1987. Summertime radiation balances of clear-cut and shelterwood slopes in southwest Oregon. *Forest science* 33: 504-516.
- Houerou, H.N, Le. 1993. Land degradation in Mediterranean Europe: can agroforestry be a part of the solution? A prospective review. *Agroforestry systems* 21: 43-61.
- Huang, W.Z. et J.J. Schoenau. 1996. Microsite assessment of forest soil nitrogen, phosphorus and potassium supply rates in-field using ion exchange membranes. *Communications in soil science and plant analysis* 27: 2895-2908.
- Huang, W.Z. et J.J. Schoenau. 1997. Seasonal and spatial variations in soil nitrogen and phosphorus supply rates in a boreal aspen forest. *Canadian journal of soil science* 77: 597-612.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Unwin Hyman, Londre, 112p.
- Kim, C., T.L. Sharik et M.F. Jurgensen. 1995. Canopy cover effects on soil nitrogen mineralization in northern red oak (*Quercus rubra*) stands in northern Lower Michigan. *Forest ecology and management* 76: 21-28.
- Legendre, P. et Legendre, L. 1998. Numerical ecology, second english edition. Elsevier, 853 p.
- Man, R. et V. Lieffers. 1999. Effects of shelterwood and site preparation on microclimate and establishment of white spruce seedlings in a boreal mixedwood forest. *Forestry Chronicle* 75: 837-844.
- Marie-Victorin, Fr., 1995. *Flore laurentienne* 3<sup>e</sup> édition, mise à jour et annotée par Luc Brouillet et Isabelle Goulet. Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, 1083p.
- McCormick, L.H. et TW Bowersox. 1997. Grass or fern competition reduce growth and survival of planted tree seedlings. p. 286-293. *Dans* Pallardy, S.G., eds. 11th central hardwood forest conference : proceedings of a meeting held at the University of Missouri, Columbia, MO.

- Meilleur, A., H. Véronneau et A. Bouchard. 1994. Shrub communities as inhibitor of plants succession in southern Quebec. *Environmental management* 18: 907-921.
- Messier, C., T.W. Honer et J.P. Kimmins. 1989. Photosynthetic photon flux density, red :far red ratio, and minimum light requirements for survival of *Gaultheria shallon* in western red cedar – western hemlock stands in British Columbia. *Canadian journal of forest research* 19: 1470-1477.
- Ministère de l'Environnement du Québec. 1999. Sommaire climatologique du Québec, Station St-Anicet. Direction des réseaux atmosphériques, ministère de l'Environnement du Québec, Québec, sommaires 1998 et 1999.
- Orwig, D.A. et M.D. Abrams. 1994. Land-use history (1720-1992), composition and dynamics of oak-pine forests within the Piedmont and Coastal Plain of northern Virginia. *Canadian journal of forest research* 24 : 1216-1225.
- Pan, D., G. Domon, S. de Blois et A. Bouchard. 1999. Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape ecology* 14: 35-52.
- Parent, S. et C. Messier. 1996. A simple and efficient method to estimate microsite light availability under a forest canopy. *Canadian journal of forest research* 26: 151-154.
- Pearcy, R.W., J. Ehleringer, H.A. Mooney et P.W. Runder, eds. 1989. *Plant physiological ecology, field methods and instrumentation*, Chapman and Hall, 457p.
- Prescott, C.E. 1997. Effects of clearcutting and alternative silvicultural systems on rates of decomposition and nitrogen mineralization in a coastal montane coniferous forest. *Forest ecology and management* 95: 253-256.
- Putz, F.E. et C.D. Canham. 1992. Mechanisms of arrested succession in shrublands: root and shoot competition between shrubs and tree seedling. *Forest ecology and management* 49: 267-275.
- Rundel, P.W. et W.M. Jarrell. 1989. Water in the environment. *Dans Plant physiological ecology*, edited by J. E. R. W. Pearcy, H. A. Mooney and P. W. Rundel. London, UK: Chapman and Hall.
- Schlesinger, R.C. 1990. *Fraxinus americana* L. – White ash. *dans Sylvics of North America : 2. Hardwoods*. USDA Forest Service Agric. Handbook 654. p. 333-338.
- Schmitt, J. et R.D. Wulff. 1993. Light spectral quality, phytochrome and plant competition. *Trends in ecology and evolution* 8: 47-51.
- Statistique Canada. 1992a. Le profil agricole du Québec. Partie 1. Statistique Canada, division de l'agriculture. Ottawa, Ontario.

Statistique Canada. 1992b. Le profil agricole du Québec. Partie 2. Statistique Canada, division de l'agriculture. Ottawa, Ontario.

Statistique Canada. 1997. Le profil agricole du Québec. Statistique Canada, division de l'agriculture. Ottawa, Ontario.

Stover, M.E. et P.L. Marks. 1998. Successional vegetation on abandoned cultivated and pastured land in Tompkins county, New York. *Journal of the Torrey botanical society* 125: 150-164.

Tatoni, T. et P. Roche. 1994. Comparison of old-field and forest revegetation dynamics in Provence. *Journal of vegetation science* 5: 295-302.

Truax, B. 1996. Restauration écologique des forêts de feuillus par la plantation. *Dans L'utilisation durable des forêts québécoise*. Cantin, D. et Potvin, C. eds. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, p.119-134.

Truax, B. et D. Gagnon. 1993. Effects of straw and black plastic mulching on the initial growth and nutrition of butternut, white ash and bur oak. *Forest ecology and management* 57: 17-27.

Walters, M.B., Kruger, E.L. et Reich, P.B. 1993. Growth, biomass distribution and CO<sub>2</sub> exchange of northern seedlings in high and low light: relationships with successional status and shade tolerance. *Oecologia* 94: 7-16.

Weih, M. 1998. Seasonality of nutrient availability in soils of subarctic mountain birch woodlands, swedish lapland. *Arctic and alpine research* 30:19-25.

Williams, R.D. 1990. *Juglans nigra* L. – Black walnut. *dans Sylvics of North America : 2. Hardwoods*. USDA Forest Service Agric. Handbook 654 p. 391-399.

## Annexe I

Tableau de résultats des ANOVA des paramètres de croissances présentés par site et par espèces d'arbres

Argile	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrR	AccrRGR
	R2= 0,33	R2= 0,27	R2= 0,27	R2= 0,36	R2= 0,28	R2= 0,28	R2= 0,27	R2= 0,36	R2= 0,24	R2= 0,24	R2= 0,32	R2= 0,28	R2= 0,28
<i>Fraxinus americana</i>													
BLOC	0,1370	0,6925	0,6927	<b>0,0428</b>	0,1133	0,1136	0,0513	0,0726	0,2072	0,2072	<b>0,0321</b>	0,1133	0,1136
DEBR	0,3506	0,1576	0,1580	0,1143	<b>0,0117</b>	<b>0,0117</b>	<b>0,0158</b>	0,1790	<b>0,0067</b>	<b>0,0067</b>	<b>0,0053</b>	<b>0,0117</b>	<b>0,0117</b>
BLOC*DEBR	0,4060	0,8914	0,8910	0,4788	0,8443	0,8450	0,8550	0,4178	0,8629	0,8629	0,9400	0,8443	0,8450
TRAIT	<b>0,0005</b>	<b>0,0364</b>	<b>0,0364</b>	0,1869	0,1584	0,1598	0,0547	<b>0,0116</b>	0,0682	0,0682	0,3536	0,1584	0,1598
BLOC*TRAIT	0,9983	0,6264	0,6264	0,7887	0,8623	0,8621	0,9270	0,9883	0,5954	0,5954	0,9806	0,8623	0,8621
BLOC*TRAIT	0,1089	0,2917	0,2919	0,2728	0,9026	0,9010	0,8154	0,1873	0,6263	0,6263	0,5934	0,9026	0,9010
BLOC*DEBR*TRAIT	0,8241	0,6499	0,6495	0,5913	0,0577	0,0577	0,2041	0,6703	0,2679	0,2679	0,3060	0,0577	0,0577
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	<b>0,0001</b>	<b>0,0021</b>	<b>0,0021</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0183</b>	<b>0,0183</b>	<b>0,0133</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0245</b>	<b>0,0245</b>	<b>0,0016</b>	<b>0,0183</b>	<b>0,0183</b>
<i>Acer saccharum</i>													
BLOC	0,3329	<b>0,0224</b>	<b>0,0223</b>	<b>0,0103</b>	0,0174	0,0175	<b>0,0016</b>	0,1067	<b>0,0066</b>	<b>0,0066</b>	<b>0,0149</b>	<b>0,0174</b>	<b>0,0175</b>
DEBR	0,1325	0,1096	0,1097	0,2049	0,2213	0,2215	0,0776	0,1476	0,1670	0,1670	0,1388	0,2213	0,2215
BLOC*DEBR	0,6671	0,1213	0,1212	0,1930	0,0849	0,0850	0,3957	0,5140	<b>0,0327</b>	<b>0,0327</b>	0,2353	0,0849	0,0850
TRAIT	0,0859	0,1052	0,1048	0,6055	0,8786	0,8801	0,7664	0,5221	0,5821	0,5821	0,7621	0,8786	0,8801
BLOC*TRAIT	0,8827	0,8226	0,8232	0,4352	0,3394	0,3405	0,2538	0,9205	0,2942	0,2942	0,3162	0,3394	0,3405
DEBR*TRAIT	0,3427	0,4743	0,4755	0,6289	0,6539	0,6534	0,9514	0,2413	0,5359	0,5359	0,6818	0,6539	0,6534
BLOC*DEBR*TRAIT	0,7804	0,8288	0,8286	0,2924	0,3150	0,3145	0,1743	0,7105	0,4797	0,4797	0,2332	0,3150	0,3145
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	<b>0,0230</b>	0,7119	0,7125	<b>0,0407</b>	0,0450	0,0446	0,1105	0,0007	0,2674	0,2674	<b>0,0066</b>	<b>0,0450</b>	<b>0,0446</b>
<i>Juglans nigra</i>													
BLOC	0,4693	0,2163	0,2163	0,8712	0,0506	<b>0,0317</b>	0,4171	0,6935	0,6245	0,6245	0,2105	0,0506	<b>0,0317</b>
DEBR	0,0971	0,3614	0,3614	0,2888	0,8541	0,8543	0,9454	<b>0,0196</b>	0,2580	0,2580	0,3225	0,8541	0,8543
BLOC*DEBR	0,8672	0,7156	0,7156	0,6939	0,5111	0,6914	0,3623	0,9716	0,5908	0,5908	0,7384	0,5111	0,6914
TRAIT	0,3182	<b>0,0228</b>	<b>0,0228</b>	0,8321	0,6230	0,9345	0,9972	0,5448	0,0846	0,0846	0,7564	0,6123	0,9345
BLOC*TRAIT	0,2729	0,7582	0,7582	0,1865	0,2092	0,1002	0,1320	0,2293	0,5555	0,5555	0,2227	0,2092	0,1002
BLOC*TRAIT	0,0927	0,1820	0,1820	0,1985	0,3063	0,2665	0,5488	0,9562	0,0516	0,0516	0,2462	0,3063	0,2665
BLOC*DEBR*TRAIT	0,9646	0,8366	0,8366	0,7715	0,3172	0,5019	0,2735	0,8919	0,9140	0,9140	0,5110	0,3172	0,5019
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,0587	0,0700	0,0700	<b>0,0023</b>	<b>0,0368</b>	0,0544	<b>0,0052</b>	<b>0,0183</b>	0,0801	0,0801	<b>0,0066</b>	<b>0,0368</b>	0,0544
<i>Betula alleghaniensis</i>													
BLOC	0,5170	0,7260	0,7255	0,1960	0,3208	0,3215	0,1259	0,1131	0,1279	0,1279	0,2950	0,3208	0,3215
DEBR	0,1644	0,4081	0,4083	0,0668	0,8319	0,8332	0,8287	0,1074	0,5083	0,5083	0,4653	0,8319	0,8332
BLOC*DEBR	0,1188	0,4520	0,4524	0,3437	0,8917	0,8922	0,7974	0,1184	0,1679	0,1679	0,8633	0,8917	0,8922
TRAIT	0,5960	0,5304	0,5306	0,3591	0,7575	0,7577	0,9528	0,5621	0,6105	0,6105	0,5547	0,7575	0,7577
BLOC*TRAIT	0,8267	0,6933	0,6935	0,2437	0,5035	0,5034	0,6053	0,4927	0,3431	0,3431	0,5396	0,5035	0,5034
DEBR*TRAIT	0,7077	0,2045	0,2055	0,6350	0,3246	0,3246	0,6459	0,7263	0,2639	0,2639	0,4368	0,3246	0,3246
BLOC*DEBR*TRAIT	<b>0,0242</b>	0,9066	0,9062	0,0819	0,6813	0,6810	0,1571	<b>0,0187</b>	0,6784	0,6784	0,6326	0,6813	0,6810
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,8559	<b>0,0002</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0200</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0049</b>	0,5413	0,1627	0,1624	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>

= normalité des résidus non-obtenue

<i>Fraxinus americana</i>												
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrRGR
	R2= 0,25	R2= 0,32	R2= 0,32	R2= 0,21	R2= 0,26	R2= 0,27	R2= 0,25	R2= 0,26	R2= 0,39	R2= 0,39	R2= 0,23	R2= 0,25
BLOC	0,0051	0,3684	0,3680	0,0226	0,8662	0,8919	0,4596	0,0241	0,7224	0,7224	0,7150	0,8662
DEBR	0,3972	0,0299	0,0299	0,6975	0,6378	0,4647	0,4808	0,4755	0,0357	0,0357	0,2285	0,8678
BLOC*DEBR	0,0565	0,8822	0,8822	0,5510	0,8677	0,9195	0,9038	0,1960	0,9509	0,9509	0,9908	0,8520
TRAIT	0,1832	0,1144	0,1143	0,2946	0,0634	0,0591	0,1451	0,2528	0,0675	0,0675	0,1391	0,0993
BLOC*TRAIT	0,0098	0,4086	0,4091	0,0194	0,4606	0,4155	0,0807	0,0119	0,3566	0,3566	0,0724	0,3456
DEBR*TRAIT	0,7038	0,7036	0,7042	0,7792	0,3562	0,4738	0,2282	0,8321	0,5975	0,5975	0,4920	0,3868
BLOC*DEBR*TRAIT	0,1370	0,8506	0,8500	0,0987	0,5598	0,5186	0,7963	0,1340	0,6788	0,6788	0,3560	0,4889
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,6292	0,0001	0,0001	0,3939	0,0028	0,0039	0,0419	0,2920	0,0001	0,0001	0,1194	0,0028
<i>Acer saccharum</i>												
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrRGR
	R2= 0,18	R2= 0,17	R2= 0,16	R2= 0,20	R2= 0,20	R2= 0,20	R2= 0,27	R2= 0,18	R2= 0,16	R2= 0,16	R2= 0,22	R2= 0,20
BLOC	0,3547	0,8647	0,9850	0,1996	0,4520	0,4526	0,2324	0,1454	0,5707	0,5707	0,4763	0,4526
DEBR	0,0620	0,3506	0,3124	0,0920	0,3071	0,3073	0,1927	0,0166	0,6666	0,6666	0,2281	0,3071
BLOC*DEBR	0,9753	0,8522	0,8773	0,8009	0,5699	0,5691	0,3702	0,9700	0,1367	0,1367	0,4947	0,5691
TRAIT	0,4151	0,0579	0,2494	0,4449	0,3785	0,3774	0,3337	0,4947	0,1449	0,1449	0,3588	0,3774
BLOC*TRAIT	0,1640	0,8634	0,7353	0,1285	0,3557	0,3567	0,1540	0,0755	0,0742	0,0742	0,3993	0,3567
DEBR*TRAIT	0,2932	0,1887	0,4075	0,1198	0,9146	0,9193	0,1234	0,2448	0,5019	0,5019	0,0728	0,9133
BLOC*DEBR*TRAIT	0,7491	0,8839	0,7422	0,5979	0,7329	0,7318	0,7741	0,5840	0,7530	0,7530	0,9575	0,7318
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,0263	0,0021	0,0015	0,1080	0,0030	0,0030	0,0041	0,0963	0,5580	0,5585	0,0018	0,0030
<i>Juglans nigra</i>												
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrRGR
	R2= 0,19	R2= 0,12	R2= 0,13	R2= 0,22	R2= 0,23	R2= 0,21	R2= 0,15	R2= 0,22	R2= 0,12	R2= 0,17	R2= 0,25	R2= 0,23
BLOC	0,0275	0,0606	0,1199	0,0363	0,0251	0,0077	0,1918	0,0343	0,0580	0,0156	0,0462	0,0251
DEBR	0,4138	0,0454	0,1551	0,5383	0,3913	0,3899	0,0839	0,1445	0,0319	0,2023	0,5342	0,3913
BLOC*DEBR	0,0666	0,8886	0,5028	0,1182	0,1149	0,0416	0,7217	0,6218	0,9496	0,1963	0,3109	0,3281
TRAIT	0,0029	0,1470	0,1559	0,9869	0,9991	0,9290	0,8215	0,2138	0,9905	0,2276	0,6899	0,7278
BLOC*TRAIT	0,9324	0,8656	0,7045	0,1970	0,4936	0,5748	0,2663	0,2437	0,9164	0,6188	0,2521	0,2864
DEBR*TRAIT	0,5783	0,2447	0,0898	0,6318	0,7144	0,5684	0,8110	0,8018	0,3367	0,7487	0,8660	0,9787
BLOC*DEBR*TRAIT	0,2682	0,7686	0,9845	0,1857	0,2641	0,3018	0,0824	0,5058	0,5715	0,7033	0,1661	0,2188
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,7480	0,4503	0,4159	0,1701	0,1314	0,4007	0,3820	0,1467	0,3359	0,5453	0,0471	0,0650
<i>Prunus serotina</i>												
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrRGR
	R2= 0,51	R2= 0,30	R2= 0,30	R2= 0,45	R2= 0,28	R2= 0,28	R2= 0,45	R2= 0,47	R2= 0,32	R2= 0,32	R2= 0,38	R2= 0,28
BLOC	0,0023	0,0168	0,0168	0,0008	0,0004	0,0004	0,0001	0,0001	0,0008	0,0008	0,0008	0,0004
DEBR	0,2249	0,3714	0,3714	0,6341	0,2578	0,2579	0,6058	0,3964	0,3350	0,3350	0,4173	0,2578
BLOC*DEBR	0,1436	0,0173	0,0173	0,0810	0,0904	0,0903	0,0081	0,0344	0,0049	0,0049	0,0503	0,0904
TRAIT	0,0062	0,0862	0,0862	0,5965	0,4916	0,4907	0,2549	0,0219	0,1505	0,1505	0,3441	0,4907
BLOC*TRAIT	0,8493	0,2306	0,2306	0,8505	0,2207	0,2210	0,1016	0,7248	0,1253	0,1253	0,6774	0,2210
DEBR*TRAIT	0,0164	0,0444	0,0444	0,2478	0,4077	0,4082	0,9910	0,1491	0,3896	0,3896	0,8945	0,4082
BLOC*DEBR*TRAIT	0,8780	0,7830	0,7830	0,6708	0,2315	0,2318	0,0934	0,3527	0,3757	0,3757	0,6503	0,2318
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,0059	0,3172	0,3172	0,0005	0,4115	0,4097	0,2215	0,0911	0,5154	0,5154	0,0221	0,4097

= normalité des résidus non-obtenue



Sable loameux													
<i>Fraxinus americana</i>													
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrR	AccrRGR
	R2= 0,25	R2= 0,18	R2= 0,17	R2= 0,23	R2= 0,28	R2= 0,26	R2= 0,29	R2= 0,26	R2= 0,29	R2= 0,29	R2= 0,27	R2= 0,28	R2= 0,26
BLOC	0,1020	0,0438	0,0633	0,0922	0,0013	0,0004	0,0004	0,0750	0,0005	0,0005	0,0004	0,0013	0,0004
DEBR	0,8544	0,2755	0,3080	0,0558	0,1812	0,0941	0,0518	0,5108	0,0447	0,0447	0,0198	0,1812	0,0941
BLOC*DEBR	0,0611	0,8043	0,7011	0,7489	0,1432	0,3605	0,3282	0,1092	0,7815	0,7815	0,7280	0,1432	0,3605
TRAIT	0,6978	0,9207	0,7330	0,5814	0,0382	0,1492	0,5572	0,9440	0,1455	0,1455	0,2166	0,0382	0,1492
BLOC*TRAIT	0,0136	0,7947	0,7692	0,0682	0,8117	0,4572	0,0559	0,0711	0,8120	0,8120	0,1712	0,8117	0,4572
DEBR*TRAIT	0,3663	0,1118	0,0392	0,0843	0,1249	0,1198	0,0675	0,2179	0,0519	0,0519	0,0926	0,1249	0,1198
BLOC*DEBR*TRAIT	0,0405	0,7612	0,9410	0,5011	0,2713	0,2090	0,1432	0,1117	0,4787	0,4787	0,1319	0,2713	0,2090
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,2017	0,0306	0,0353	0,1125	0,2650	0,4855	0,6665	0,1619	0,1977	0,1977	0,6468	0,2650	0,4855
<i>Acer saccharum</i>													
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrR	AccrRGR
	R2= 0,21	R2= 0,09	R2= 0,10	R2= 0,31	R2= 0,17	R2= 0,21	R2= 0,18	R2= 0,26	R2= 0,15	R2= 0,15	R2= 0,21	R2= 0,17	R2= 0,21
BLOC	0,6908	0,9919	0,9389	0,0008	0,1177	0,1344	0,0046	0,0503	0,4352	0,3018	0,0214	0,1177	0,1344
DEBR	0,4511	0,5779	0,3522	0,5891	0,9475	0,8921	0,8499	0,9686	0,4470	0,1718	0,8527	0,9475	0,8921
BLOC*DEBR	0,8387	0,3765	0,5764	0,3832	0,7871	0,5458	0,7443	0,6306	0,7369	0,8564	0,5580	0,7871	0,5458
TRAIT	0,0462	0,1084	0,0809	0,1785	0,1628	0,2156	0,1283	0,0401	0,1191	0,1012	0,1296	0,1628	0,2156
BLOC*TRAIT	0,7855	0,4931	0,5405	0,8180	0,2326	0,2086	0,1213	0,7339	0,0809	0,1794	0,1704	0,2326	0,2086
DEBR*TRAIT	0,1642	0,8371	0,8227	0,4974	0,4813	0,4381	0,9379	0,2884	0,5438	0,6164	0,8681	0,4813	0,4381
BLOC*DEBR*TRAIT	0,4940	0,2712	0,5090	0,3204	0,3221	0,3261	0,1671	0,3294	0,2727	0,2713	0,2684	0,3221	0,3261
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,0082	0,5567	0,4148	0,1280	0,1730	0,0445	0,6049	0,0137	0,6427	0,5162	0,2238	0,1730	0,0445
<i>Quercus rubra</i>													
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrR	AccrRGR
	R2= 0,26	R2= 0,14	R2= 0,14	R2= 0,13	R2= 0,13	R2= 0,13	R2= 0,22	R2= 0,13	R2= 0,11	R2= 0,09	R2= 0,13	R2= 0,14	R2= 0,14
BLOC	0,0308	0,9673	0,9839	0,5260	0,5601	0,3605	0,0043	0,3359	0,7282	0,6104	0,1152	0,1436	0,1446
DEBR	0,1827	0,2027	0,2098	0,7739	0,7842	0,6097	0,6711	0,7788	0,3473	0,6026	0,7892	0,6819	0,6815
BLOC*DEBR	0,7208	0,6175	0,6325	0,0493	0,5488	0,3397	0,0513	0,0968	0,3655	0,2081	0,1174	0,3878	0,3885
TRAIT	0,1384	0,4727	0,2392	0,3639	0,5481	0,4318	0,1261	0,0201	0,6732	0,1724	0,9996	0,5916	0,5841
BLOC*TRAIT	0,1354	0,5998	0,7152	0,7501	0,5746	0,4379	0,6498	0,8827	0,7459	0,9676	0,7860	0,9068	0,9084
DEBR*TRAIT	0,7484	0,7058	0,7122	0,2168	0,8594	0,8445	0,2008	0,5352	0,6783	0,6084	0,3975	0,7423	0,7451
BLOC*DEBR*TRAIT	0,0386	0,5316	0,5755	0,3514	0,4357	0,2906	0,7365	0,1023	0,3570	0,5528	0,5319	0,6947	0,6937
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,1459	0,0398	0,0392	0,4114	0,0589	0,1774	0,1886	0,4489	0,2369	0,3887	0,2301	0,0705	0,0710
<i>Prunus serotina</i>													
	Diam	DiamR	DiamRGR	Haut	HautR	HautRGR	Pousse	Vol	VolR	VolRGR	Accr	AccrR	AccrRGR
	R2= 0,26	R2= 0,30	R2= 0,31	R2= 0,33	R2= 0,24	R2= 0,24	R2= 0,29	R2= 0,32	R2= 0,29	R2= 0,29	R2= 0,27	R2= 0,24	R2= 0,24
BLOC	0,6687	0,8032	0,7588	0,4854	0,3247	0,3254	0,2193	0,8076	0,8335	0,8335	0,3132	0,3247	0,3254
DEBR	0,4704	0,2678	0,3048	0,4258	0,4853	0,4854	0,8218	0,5296	0,3270	0,3270	0,4346	0,4853	0,4854
BLOC*DEBR	0,0058	0,0095	0,0072	0,0093	0,0163	0,0163	0,0028	0,0092	0,0022	0,0022	0,0024	0,0163	0,0163
TRAIT	0,1841	0,7864	0,5120	0,4953	0,1133	0,1130	0,1572	0,1954	0,4177	0,4177	0,1730	0,1133	0,1130
BLOC*TRAIT	0,1986	0,1108	0,1498	0,4917	0,8376	0,8379	0,3201	0,3717	0,1437	0,1437	0,6832	0,8376	0,8379
DEBR*TRAIT	0,3988	0,9171	0,7092	0,2113	0,6672	0,6651	0,5846	0,6406	0,6883	0,6883	0,5641	0,6672	0,6651
BLOC*DEBR*TRAIT	0,7861	0,3945	0,7010	0,7979	0,7141	0,7154	0,3393	0,7517	0,7840	0,7840	0,6974	0,7141	0,7154
RANG(BLOC*DEBR*TRAIT)	0,1094	0,0566	0,0332	0,0022	0,0284	0,0281	0,0537	0,0024	0,1310	0,1310	0,0986	0,0284	0,0281

= normalité des résidus non-obtenue

## Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à mes directeurs qui, au travers de nombreuses discussions, m'ont permis de mener à bien ce projet de maîtrise dans une ambiance de travail et de réflexion stimulante pour laquelle je leur suis particulièrement reconnaissante. Je remercie sincèrement André Bouchard, mon directeur, pour son implication tout au court de ce projet. L'enthousiasme, le support et l'assurance qu'il m'a transmis, ont fait que j'ai pu cheminer aisément et en toute confiance pendant ces deux années. Je tiens aussi à remercier profondément Alain Cogliastro, mon codirecteur, sans qui ce projet de recherche n'aurait pas vu le jour. J'ai particulièrement apprécié les éclaircissements et les commentaires qu'il m'a transmis dans la plus grande simplicité et qui m'ont permis d'élargir ma vision et de préciser ma pensée.

Un tel projet de recherche ne se fait pas sans aide. J'aimerais donc remercier René Dulude de même que l'équipe de planteurs pour le choix et la mise en place des dispositifs à l'étude. Présents chacun au cours d'un été, Julie Thibeault et Jean-Philippe Brassard furent des compagnons de travail assidus, fiables et enrichissants avec lesquels j'ai pu développer une belle complicité. Je les remercie sincèrement pour leur implication et leur support au cours de la récolte des données. À eux venaient se greffer sporadiquement, et à mon grand plaisir, Nadine Bachand, Hugo Poirier, Xavier Michel, Patrick Michalakis et Claudiane Ouellet-Plamondon. Merci pour votre ardeur et votre bonne humeur! Un merci tout spécial à Claude Lafleur pour la panoplie de services rendus au cours de ces deux années.

J'ai grandement apprécié le travail et l'attention que Stéphane Daigle a accordée à mes (nombreuses) questions relatives aux analyses statistiques. Luc Brouillet et Stuart Hay m'ont été d'une aide précieuse à l'identification de plusieurs espèces de plantes. Je tiens à remercier aussi Claire Vasseur et l'équipe du Biôme de Montréal pour le support technique et le prêt du matériel nécessaire à l'analyse de l'azote du sol. Cette étude, réalisée sur des terres privées, a été rendue possible grâce à la coopération des propriétaires des trois sites, Messieurs R. Guillon, A. Misonne et G. Madisson. Ce projet a été financé en grande partie par le ministère des Ressources naturelles, de même que par le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie (CRSNG, Canada) et le Fond pour la formation de chercheurs et l'aide à la Recherche (FCAR, Québec). J'aimerais aussi remercier le Groupe de recherche en écologie forestière interuniversitaire (GREFi) pour la bourse d'étude qu'il m'a octroyée.

J'aimerais finalement remercier très chaleureusement ma famille et mes amis qui m'ont écoutée, encouragée et soutenue au cours de ces deux années.