

**ÉTUDE DE LA SURVIE ET DE LA CROISSANCE
SOUTERRAINE DE SEPT ESPÈCES D'HERBACÉES
FORESTIÈRES À INTÉRÊT COMMERCIAL EN RÉPONSE AU
PH DU SOL ET À L'INTENSITÉ LUMINEUSE**

par

Guillaume Dostie

**Mémoire présenté au Département de biologie en vue
de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)**

**FACULTÉ DES SCIENCES
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE**

Sherbrooke, Québec, Canada, avril 2006

SOMMAIRE

Le projet de recherche dans lequel cette étude s'insère vise la mise en culture d'herbacées à intérêt commercial. La culture de ces espèces à croissance lente dans des sous-bois d'érablière pourrait être une alternative à la cueillette et une source d'approvisionnement pour les espèces dont les populations naturelles sont protégées. Pour cultiver ces espèces, il est important de bien connaître leur biologie et l'effet des facteurs environnementaux sur leur survie ainsi que sur leur croissance. Comme il s'agit d'espèces herbacées, cette étude s'intéresse principalement à leurs organes souterrains, qui assurent leur pérennité. Cette étude s'intéresse donc à l'effet du pH du sol et à la lumière incidente sur la croissance souterraine de sept espèces d'herbacées (*Actaea racemosa* (L.) Nutt., *Adiantum pedatum* L., *Asarum canadense* L., *Caulophyllum thalictroides* (L.) Michx., *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro, *Sanguinaria canadensis* L. et *Trillium grandiflorum*. (Michx.) Salisb.).

Ces espèces ont des taux de croissance maximaux aux pH les plus élevés (pH 5 et pH 7). Plusieurs d'entre elles peuvent tolérer un sol acide (pH 4), mais certaines ne le peuvent pas : leur taux de mortalité augmente considérablement dans de telles conditions. Toutes les espèces semblent avoir une bonne croissance à de faibles intensités lumineuses, comme en sous-bois ($100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ à $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La croissance de certaines espèces augmente de manière significative quand on augmente la lumière incidente de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ à $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et aucune baisse du taux de croissance n'a été observée avec l'augmentation de la lumière incidente pour ces espèces et ces intensités lumineuses.

Si on veut cultiver ces plantes herbacées dans des sous-bois où le pH du sol est plus bas que pH 5, il faudrait chauler le sol pour en augmenter

le pH, et ainsi augmenter leur taux de survie et leur croissance. Certaines de ces espèces pourraient avoir une croissance plus élevée en milieu plus éclairé, mais on ne connaît pas leur taux de survie et leur taux de croissance à des intensités plus élevées que $350.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur, John William Shipley, pour sa vision pédagogique de la maîtrise, pour son soutien indéfectible, pour son aide et son efficacité incroyable. Il me faut également remercier le Conseil des recherches en pêche et en agroalimentaire du Québec (CORPAQ) sans qui cette étude n'aurait pas été possible. Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mes parents, Jacques Dostie et Francine Bonin, ainsi qu'à mon frère, Martin Dostie : vous avez su me communiquer votre amour du travail bien fait et m'avez appris à être curieux et persévérant. Il y a des amis que l'on considère autant que sa propre famille et, dans mon cas, Marie-Maude Cayouette est l'une de ces personnes. Marie-Maude, ton amitié, ta patience, ton intelligence et ta complicité sont des cadeaux qui ont une valeur inestimable à mes yeux et dont j'espère pouvoir profiter encore très longtemps. Un projet de cette envergure implique plusieurs collaborateurs et j'aimerais tous les remercier. J'aimerais plus particulièrement remercier Annie Goyer, Marie-Ève Leclerc, Nathalie Nivot et Souad Bouchiba, car notre collaboration, en plus d'être agréable, a souvent été stimulante ou réconfortante selon les situations. J'aimerai également remercier tous mes précieux amis de Sherbrooke et de Québec : Chiarastella Feder, David Funk, Geneviève Charest, Geneviève Prévost, Isabelle Lemieux, Jean-Thomas Courchesne, Jérôme Leriche, Amine Badri, Catherine Bonenfant, Chantale Langlois, Émilie Leclerc, Jean Schreiner, Laurence Galichet, Rachel Gauci et Sean Cloutier. En plus des amis de Sherbrooke et de Québec, je ne voudrais pas oublier tous mes amis et collègues du laboratoire d'écologie de l'Université de Sherbrooke, et tout particulièrement Marie-Claude Routhier. Merci à vous tous car ces bons moments passés ensemble, votre patience et vos bons conseils m'ont permis de mener mon projet de maîtrise à terme.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	vii
Introduction générale.....	1
La problématique.....	1
Le projet général.....	2
Cas du ginseng à cinq folioles, <i>Panax quinquefolium</i> L.....	2
Les sous-projets du projet général.....	3
Mon projet.....	4
But.....	4
Hypothèses biologiques.....	4
Les plantes étudiées.....	4
<i>Actaea racemosa</i> (L.) Nutt.....	6
Description morphologique.....	6
Écologie et distribution.....	6
Intérêt commercial.....	7
<i>Adiantum pedatum</i> L.....	8
Description morphologique.....	9
Écologie et distribution.....	9
Intérêt commercial.....	10
<i>Asarum canadense</i> L.....	11
Description morphologique.....	11
Écologie et distribution.....	12
Intérêt commercial.....	13
<i>Caulophyllum pedatum</i> (L.) Michx.....	13
Description morphologique.....	14
Écologie et distribution.....	14
Intérêt commercial.....	15
<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Todaro.....	16
Description morphologique.....	16
Écologie et distribution.....	17
Intérêt commercial.....	18
<i>Sanguinaria canadensis</i> L.....	19
Description morphologique.....	19
Écologie et distribution.....	20
Intérêt commercial.....	21
<i>Trillium grandiflorum</i> (Michx.) Salisb.....	23
Description morphologique.....	23
Écologie et distribution.....	23
Intérêt commercial.....	25
Chapitre 2.....	26
Survival and subterranean growth of seven species of understory plants having commercial potential in response to pH and light intensity.....	26

Key words	26
Abstract.....	26
Introduction	27
Material and methods	32
Material	32
Experimental Design	32
Planting	33
Harvesting	34
Statistical Analysis	34
Results.....	35
<i>Actaea racemosa</i>	35
<i>Adiantum pedatum</i>	36
<i>Asarum canadense</i>	36
<i>Caulophyllum thalictroides</i>	38
<i>Matteuccia struthiopteris</i>	39
<i>Sanguinaria canadensis</i>	42
<i>Trillium grandiflorum</i>	43
Dicussion	43
Effects of soil pH	45
Effects of light intensity.....	47
Acknowledgements.....	50
References	51
Figure caption.	66
Conclusion.....	69
BIBLIOGRAPHIE.....	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Species and origin of the cuttings or seedlings	57
Tableau 2.	Dependant variables that do not apply to all seven species under study	58
Tableau 3.	Results for <i>Actaea racemosa</i>	59
Tableau 4.	Results for <i>Adiantum pedatum</i>	60
Tableau 5.	Results for <i>Asarum canadense</i>	61
Tableau 6.	Results for <i>Caulophyllum thalictroides</i>	62
Tableau 7.	Results for <i>Matteuccia struthiopteris</i>	63
Tableau 8.	Results for <i>Sanguinaria canadensis</i>	64
Tableau 9.	Results for <i>Trillium grandiflorum</i>	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1	<i>Actaea racemosa</i>	6
Figure 2	Distribution d' <i>Actaea racemosa</i>	7
Figure 3	<i>Adiantum pedatum</i>	9
Figure 4	Sores au revers d'un segment d' <i>Adiantum pedatum</i>	9
Figure 5	Distribution d' <i>Adiantum pedatum</i>	10
Figure 6	<i>Asarum canadense</i>	11
Figure 7	Distribution d' <i>Asarum pedatum</i>	12
Figure 8	<i>Caulophyllum thalictroides</i>	14
Figure 9	Distribution de <i>Caulophyllum thalictroides</i>	15
Figure 10	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	17
Figure 11	Distribution de <i>Matteuccia struthiopteris</i>	17
Figure 12	Têtes de violon	18
Figure 13	<i>Sanguinaria canadensis</i>	19
Figure 14	Distribution de <i>Sanguinaria canadensis</i>	20
Figure 15	<i>Trillium grandiflorum</i>	23
Figure 16	Distribution de <i>Trillium grandiflorum</i>	24
Figure 17	Cycle de vie de <i>Trillium grandiflorum</i>	24

(Les figures qui suivent font partie du Chapitre 2)

Figure 1 Growth of seven species as a function of three levels of soil pH 67

Figure 2 Growth of seven species as a function of three light intensities 68

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La problématique

En 2004, un projet de loi a été publié dans la Gazette Officielle du Québec (projet de loi E-12.01), afin de protéger plusieurs espèces végétales. Ces espèces semblaient être menacées si leur prélèvement intégral et leur mise en marché n'étaient pas rapidement interdits. Il y a plusieurs raisons qui expliquent cette situation : (i) la destruction de leurs habitats par le développement urbain et agricole Gouvernement du Québec [En ligne] et les mauvaises pratiques d'exploitation forestière; (ii) leur cueillette à des fins commerciales (Lamoureux et Nantel, 1999); (iii) leurs exigences particulières concernant les caractéristiques écologiques de leurs habitats (Marie-Victorin, 1995; Lamoureux, 2002; Small et Catling, 2000); (iv) leur faible taux de reproduction sexuée (Goyer, 2004); et (v) leur vulnérabilité à l'herbivorie (Gouvernement du Québec, 2005).

Une telle situation peut être améliorée par une loi protégeant l'habitat de ces espèces, mais une loi peut difficilement enrayer la demande commerciale qui motive la cueillette de ces espèces. L'intérêt commercial pour plusieurs espèces croît à une vitesse impressionnante : à lui seul, le domaine des plantes médicinales a un taux de croissance annuel de 15 à 20 % en Amérique du Nord (Small et Catling, 2000). On peut aussi penser au domaine horticole où la demande pour de nouvelles espèces est toujours présente, particulièrement pour des plantes indigènes qui peuvent être utilisées autant à des fins ornementales qu'à des fins de restauration des milieux endommagés (Lamoureux et Nantel, 1999; Dupras, 2004). Il y a aussi l'industrie de l'alimentation qui est intéressée par la nouveauté et qui se tourne depuis quelques années vers les produits végétaux que les populations indigènes peuvent lui fournir (Le Gal, 2004). Comme on sait que le taux

de cueillette d'une espèce à croissance lente ne peut pas dépasser 10 % sans mettre la population de cette espèce en danger (Nantel, 2004), il devient difficile de croire qu'une cueillette de ces plantes à croissance lente peut être rentable à long terme. Pour répondre à la demande commerciale de ces plantes à croissance lente, il devient important de mettre en culture ces espèces vulnérables ou menacées (Lapointe, 2004) afin de soulager les populations naturelles de la pression de la cueillette, légale ou non.

Le projet général

Notre projet de recherche a pour but la production d'espèces qui ont un intérêt commercial, un faible taux de croissance et un faible taux de reproduction. Les espèces en question sont toutes des espèces sciaphytes (plantes typiques du sous-bois) indigènes au Québec, à l'exception d'*Actaea racemosa*, dont on ne retrouve pas de populations naturelles au Québec. La production de ces espèces ne peut donc pas se faire en champs, comme ce sont des espèces de sous-bois. Elle pourrait se faire en champ sous des ombrières, mais notre projet de recherche vise plutôt une production agroforestière de ces espèces. Cette production a l'avantage d'être moins coûteuse qu'une production en champ sous ombrières et elle pourrait se faire dans les érablières déjà exploitées, permettant ainsi aux acériculteurs de les rentabiliser davantage. Ce type de culture est déjà implanté en ce qui concerne le ginseng à cinq folioles (*Panax quinquefolium*). L'histoire de cette plante herbacée est à la base de ce projet.

Cas du ginseng à cinq folioles, *Panax quinquefolium* L.

Comme les plantes de notre étude, *P. quinquefolium* est une espèce herbacée, à croissance lente, qui est typique des forêts caducifoliées fertiles (Small et Catling, 2000). C'est une plante qui avait et qui a toujours une haute valeur commerciale grâce à son utilisation comme

plante médicinale. Cette espèce était autrefois abondante, avant qu'elle ne soit cueillie de manière intensive et que son habitat ne soit détruit par la déforestation (White, 1988 ; Marie-Victorin, 1964). Après de nombreuses études, *P. quinquefolium* est maintenant cultivé en système agroforestier. Ceci permet de répondre à la demande et de réduire la cueillette des plants issus de populations naturelles (Nadeau et Olivier, 2003).

Les sous-projets du projet général

Afin de parvenir à l'éventuelle production de ces espèces en système agroforestier, plusieurs sous-projets ont été mis en place. La première étape du projet global a été d'étudier l'écologie des populations naturelles des espèces visées. Cette étude s'est plus particulièrement intéressée à la distribution des classes de taille et à la relation entre la masse, le stade phénologique et la capacité reproductrice de cinq espèces (Goyer, 2004). Une étude phytosociologique de la végétation de sept espèces (Pradiou, 2004) a également été réalisée. La deuxième phase du projet global s'est intéressée à la germination et au bouturage de huit espèces (Nivot, 2005; Leclerc, 2005). La troisième phase du projet tend à préciser les conditions de pH et de lumière incidente nécessaires pour observer une croissance optimale chez les sept espèces étudiées. La quatrième phase du projet, menée par Julie Naud, est présentement en cours et il s'agit d'essais de culture en forêt. La cinquième et dernière phase du projet global, menée par Souad Bouchiba, étudie les concentrations en composés secondaires chez les espèces médicinales étudiées et les facteurs qui peuvent faire varier ces concentrations.

Mon projet

But

Mon projet de recherche s'intéresse aux conditions de pH et de lumière incidente nécessaires afin d'observer une croissance optimale chez sept espèces d'herbacées pérennes à croissance lente et à faible reproduction (sexuée), et qui présentent un intérêt commercial. Les sept espèces ont été soumises à différentes conditions de pH et de lumière dans une expérience effectuée en serre. La réponse de ces espèces aux différentes conditions de croissance a été étudiée, plus précisément la réponse des organes souterrains. Les parties souterraines sont les plus intéressantes car ce sont elles qui assurent la pérennité de ces plantes herbacées et, pour ces espèces, ce sont ces parties qui sont commercialisées à des fins médicinales.

Hypothèses biologiques

Comme les espèces étudiées proviennent de milieux riches, on s'attend à ce qu'elles aient une croissance supérieure en milieu dont le pH du sol est relativement neutre, mais on devrait pouvoir observer dans quelle mesure ces espèces sont tolérantes à l'acidité du sol. En ce qui concerne la réponse de ces espèces à la lumière, on pourrait s'attendre à une réponse unimodale avec une croissance maximale pour des irradiances moyennes typiques du sous-bois (environ $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiation active en photosynthèse) et à une croissance minimale pour de faibles et de fortes irradiances.

Les plantes étudiées

Les sept espèces forestières étudiées ici sont : *Actaea racemosa* (L.) Nutt., *Adiantum pedatum* L., *Asarum canadense* L., *Caulophyllum thalictroides* (L.) Michx., *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro,

Sanguinaria canadensis L. et *Trillium grandiflorum*. (Michx.) Salisb. Elles sont indigènes au Québec, à l'exception d'*Actaea racemosa*. Elles présentent toutes un intérêt commercial et sont toutes déjà commercialisées. Les connaissances sur ces espèces restent insuffisantes pour pouvoir les mettre en culture efficacement. En plus, six des sept espèces étudiées atteignent leurs limites nordiques dans le sud du Québec, ce qui suggère que la culture de ces espèces sera plus sensible aux conditions environnementales. Les études en cours et à venir pourront peut-être permettre cette culture salvatrice pour les populations naturelles.

CHAPITRE 1

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

***Actaea racemosa* (L.) Nutt.**

(Ranunculaceae, actée noire à grappes, black cohosh, black snakeroot, bugbane)

Description morphologique

L'actée noire à grappes (*Actaea racemosa*) est une grande plante herbacée (1 à 2,6 m) à feuilles composées et dentées. *Actaea racemosa* produit de longs racèmes (10 à 60 cm) de fleurs blanches (Figure 1) à partir du milieu de l'été jusqu'à l'automne (Small et Catling, 2000). Ses fleurs sont très parfumées. *A. racemosa* produit un gros rhizome cylindrique noirâtre duquel émergent des racines, sur sa face inférieure



Figure 1 *Actaea racemosa*

(Small et Catling, 2000). Contrairement aux autres espèces d'*Actaea*, suite à la fécondation de ses fleurs, *A. racemosa* produit des follicules et non des baies.

Écologie et distribution

Anciennement connue sous le nom de *Cimicifuga racemosa*, cette plante a été classée par Compton *et al.* (1998) dans le genre *Actaea*. Il s'agit

de la seule espèce de cette étude qui n'est pas indigène au Québec. Cette espèce d'actée se retrouve à l'état

sauvage dans l'extrême sud de l'Ontario et dans plusieurs états du nord-est des États-Unis (Figure 2) (Small et Catling, 2000). Bien que cette espèce ne soit pas indigène au Québec, elle

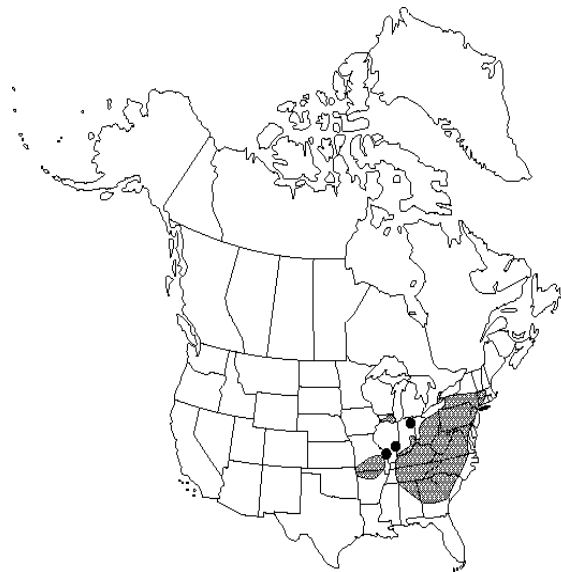


Figure 2 Distribution d'*Actaea racemosa*

peut y être cultivée. Il existe d'ailleurs une population d'*Actaea racemosa* qui a été naturalisée au Mont Saint-Bruno depuis environ une centaine d'années (Goyer, communication personnelle). On la retrouve naturellement dans des forêts caducifoliées humides à sèches, plus particulièrement dans des sols riches (Small et Catling, 2000). Elle semble bien adaptée aux situations mi-ombragées. Small et Catling (2000) disent qu'elle pousse de manière optimale dans des sols avec des pH allant de 5,0 à 6,0. Il semble que, à partir de graines, trois à quatre années soient nécessaires avant d'obtenir une plante en fleur. Il faut une double stratification à chaud, puis à froid, pour lever la dormance profonde de l'épicotyle d'*A. racemosa* (Baskin et Baskin, 1985).

Intérêt commercial

L'actée à grappes est une plante médicinale très importante. En 1999, soixante-sept tonnes de racines ont été récoltées aux États-Unis, dont seulement 2 % provenaient de la culture (McGuffin et Young, 2001). On la récolte à l'automne pour son rhizome et ses racines qui contiennent des composés secondaires : glycosides triterpéniques, salicylates, acide isofénulique, stérols et alcaloïdes (Small et Catling, 2000). Cette espèce

est déjà utilisée dans le domaine médical pour le traitement des symptômes de la ménopause (bouffées de chaleur et état dépressif) comme alternative à l'hormonothérapie (Klinger, 2003; Monoz et Pluchino, 2003; Vermes *et al.*, 2005). Ce traitement alternatif est plus particulièrement utilisé chez les femmes qui ont des antécédents de fibrome utérin et de cancer du sein fibro-kystique (Small et Catling, 2000). D'ailleurs, des études récentes sur la lutte contre le cancer du sein et contre le cancer de la prostate ont confirmé le caractère anticancérigène d'un extrait d'*A. racemosa* (extrait BNO 1055) (Einbond *et al.*, 2004; Jarry *et al.*, 2005; Rockwell *et al.*, 2005). Actuellement, en plus de son usage dans le soulagement des symptômes de la ménopause, on l'utilise pour traiter la dépression (Winterhoff *et al.*, 2003), les acouphènes (Small et Catling, 2000) et on pourra peut-être l'utiliser dans un traitement anti-VIH, car il semblerait qu'une molécule présente dans le rhizome d'*A. racemosa*, l'actéine, ait une activité anti-VIH (Sakurai *et al.*, 2004). L'utilisation d'*A. racemosa* ne date pas d'aujourd'hui : elle a été largement utilisée par les autochtones pour traiter de nombreuses maladies : « maladies de femme », rhumatisme, asthénie, mal de gorge, mal de tête, etc. (Small et Catling, 2000). Elle est aussi commercialisée dans le domaine horticole comme plante de mi-ombre. Plusieurs études ont été menées sur ses composés secondaires et leurs effets pharmacologiques (Borelli *et al.*, 2003; Kennelly *et al.*, 2002; Sakurai *et al.*, 2004). On a également étudié l'impact des facteurs environnementaux sur la concentration en composés secondaires chez *A. racemosa* et les variations à l'intérieur d'une population ainsi qu'entre différentes populations (Popp *et al.*, 2003 ; Kennelly *et al.*, 2002), mais peu d'études ont été réalisées sur son écologie.

Adiantum pedatum L.

(Pteridaceae, capillaire du Canada, adiante du Canada, adiante pédalé, canadian maidenhair, common maidenhair)

Description morphologique

Cette fougère herbacée mesure de 40 à 75 cm de haut (Gouvernement du Québec [En ligne]). De son mince rhizome horizontal émergent des stipes bifurqués luisants, bruns noirâtres (Marie-Victorin, 1995). Ces stipes portent des frondes délicates dont le limbe semi-circulaire (Figure 3) mesure de 15 à 30 cm de longueur par 15 à 30 cm de largeur (Gouvernement du Québec, 2005). *A. pedatum* a des frondes lobées qui portent des sores au revers des segments sur les plants matures (Fleurbec, 1993). Leurs sores sont à demi recouverts par le limbe des segments (Figure 4).



Figure 3 *Adiantum pedatum*



Figure 4 Sores au revers des segments d'*Adiantum pedatum*

Écologie et distribution

A. pedatum pousse seulement dans des sous-bois d'érablière (Fleurbec, 1993). Elle affectionne particulièrement les sols humides et riches en matière organique avec des pH proches de la neutralité (Gouvernement du Québec, 2005). On retrouve cette espèce en Amérique du Nord, en Georgie et en Louisiane, jusqu'au sud du Canada. Au Canada, *A. pedatum* pousse de l'Ontario jusqu'à la Nouvelle-Écosse (Figure 5). Il semble qu'*A. pedatum* ait besoin d'une période de froid pour rentrer en dormance, ce qui pourrait expliquer sa distribution plutôt nordique en comparaison avec les autres

espèces d'adiantes qui sont plutôt tropicales (Hill, 1976). *Adiantum pedatum* se reproduit végétativement par la division et l'allongement de ses rhizomes, et sexuellement grâce à ses spores. Il existe deux autres espèces d'*Adiantum* en Amérique du Nord : l'adiante des Aléoutiennes (*Adiantum*

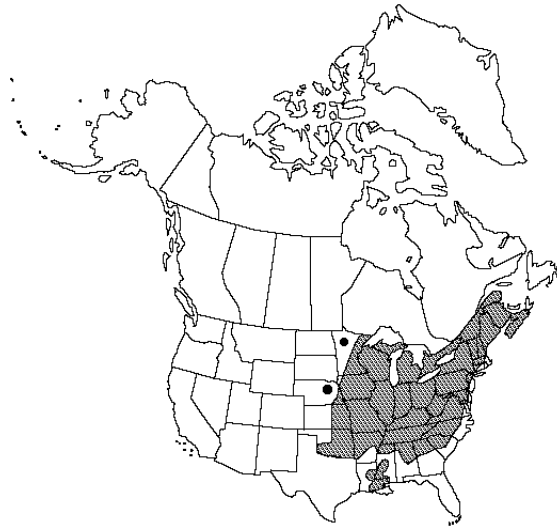


Figure 5 Distribution d'*Adiantum pedatum*

aleuticum) et l'adiante des Montagnes Vertes (*Adiantum viridimontanum*). *A. viridimontanum*, une espèce d'adiante qui a été décrite par Paris (1991), serait un hybride (*A. pedatum* X *A. aleuticum*) (Fleurbec, 1993). Cette espèce particulière ne pousse que sur un sol formé de serpentine, comme *A. aleuticum* dans l'est de l'Amérique du Nord (Fleurbec, 1993). Contrairement à *A. pedatum*, *A. viridimontanum* peut pousser en milieu ouvert autant qu'en milieu fermé, comme sa proche parente de l'ouest *Adiantum aleuticum* (Fleurbec, 1993). Ces trois fougères sont considérées par certains comme faisant partie de la même espèce, alors que d'autres les identifient comme trois espèces distinctes. Chez *A. pedatum*, la sporulation a lieu en août et en septembre. En culture, les spores de l'adiante du Canada prennent deux semaines pour produire le prothalle et il faut ensuite vingt-deux semaines de plus pour voir les premières frondes apparaître Gouvernement du Québec [En ligne]).

Intérêt commercial

Selon le frère Marie-Victorin (1995), il s'agit de la plus belle fougère au Québec. Les horticulteurs doivent être d'accord avec lui car il s'agit d'une des fougères les plus plantées dans les jardins du Québec

(Dupras, Colloque sur les PFNL, 2004). Elle n'est plus aussi abondante qu'elle l'a jadis été, car elle fut largement utilisée au début de la colonie pour guérir les infections pulmonaires (Marie-Victorin, 1995).

Asarum canadense L.

(Aristolochiaceae, asaret du Canada, gingembre sauvage, Canada wild ginger, ginger-root, indian-ginger, snake-root)

Description morphologique

Asarum canadense est une plante herbacée densément pubescente qui forme souvent des tapis denses Gouvernement du Québec [En ligne]. Elle a un port plutôt rampant à cause de ses rhizomes qui poussent sur la surface du sol. Ses rhizomes sont très ramifiés et ils sont aromatiques.



Figure 6 *Asarum canadense*

A. canadense produit deux feuilles réniformes (10 à 18 cm de diamètre) directement issues de son rhizome (Marie-Victorin, 1995). *A canadense* fleurit tôt au printemps, de mai à juin (Kelly, 2001). Cette espèce produit une fleur solitaire portée par un court pédoncule à l'aisselle de ses deux feuilles et de son rhizome. Sa fleur est formée par la fusion de trois sépales pourpres brunâtres; elle donne, une fois fécondée, une capsule contenant de douze à trente graines Gouvernement du Québec [En ligne].

Écologie et distribution

Comme on le voit à la figure 7, on retrouve *A. canadense* du Manitoba au Nouveau-Brunswick, et du Dakota du Nord à la Louisiane et à la Georgie Gouvernement du Québec [En ligne]. Au Québec, elle pousse dans les érablières les plus fertiles

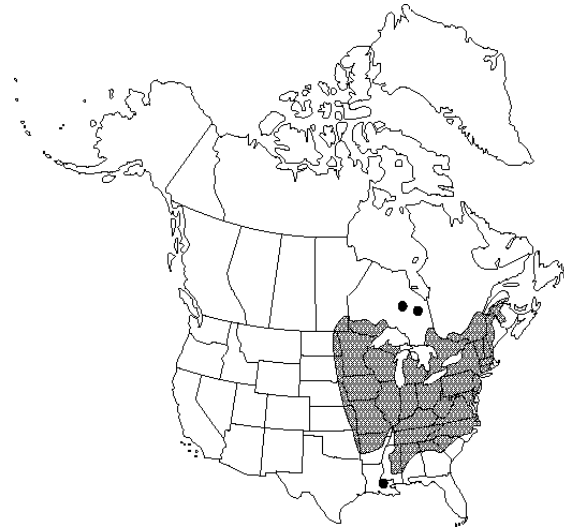


Figure 7 Distribution d'*Asarum canadense*

(érablières à caryer ainsi qu'érablières à tilleul) (Lamoureux, 2002). Elle affectionne les milieux calcaires riches et la proximité des cours d'eau (Lamoureux, 2002). Elle se reproduit par autofécondation, et c'est d'ailleurs une espèce qui présente une faible variation génétique (Lamoureux, 2002). Cette espèce entretient une relation myrmécophytique avec des fourmis forestières. *A. canadense* produit des graines munies d'un appendice lipidique charnu, l'élaïosome ou caroncule, qui est très apprécié des fourmis (Cain et Damman, 1997). Ces dernières ramènent donc les graines d'*A. canadense* dans leur nid et les graines y germeront un an plus tard alors que les fourmis auront déjà changé de nid (Lamoureux, 2002). Cette association permet la dispersion des graines sur une petite distance d'environ un mètre (Cain et Damman, 1997). *A. canadense* présente un taux de germination variant de 60 à 80 % mais seulement 2 à 23 % des individus fructifient (Lamoureux, 2002). La germination complète des graines d'*A. canadense* se fait en deux ans : à l'automne, après une période de chaleur qui lève la première dormance de la graine, la première racine se développe. La deuxième dormance est levée après une période de froid, lors du premier hiver; c'est alors qu'au printemps les cotylédons émergeront (Baskin et Baskin, 1986) et ce n'est que deux ans après la

dispersion des graines que la première feuille émergera (Cain et Damman, 1997). La floraison d'un plant d'*A. canadense* se produira environ cinq ans après la germination (Lamoureux, 2002). En plus de sa lente germination et de son faible taux de croissance végétative, *A. canadense* est caractérisée par une faible espérance de vie de ses ramets (Damman, et Cain, 1998), ce qui la rend particulièrement vulnérable à la cueillette et ce qui explique probablement sa nomination au sein des espèces vulnérables du Québec (Gouvernement du Québec, 2004). Il semble que la grande majorité des plants d'*A. canadense* ne vivent pas plus de trois à cinq ans, donc pas assez longtemps pour fleurir et produire des graines (Lamoureux, 2002).

Intérêt commercial

Cette espèce herbacée forestière de la famille des aristolochiacées fait partie des plantes indigènes vendues en pépinière (Dupras, Colloque sur les PFNL, 2004; Lamoureux et Nantel, 1999) et elle fournit une huile essentielle très aromatique qui est déjà vendue commercialement. On sait aussi que l'engouement pour cette plante ne date pas d'aujourd'hui : elle était abondamment utilisée en médecine populaire pour traiter divers maux (Lolock, 1995 ; Lamoureux, 2002). On reconnaît des propriétés médicinales à plusieurs des composés secondaires qu'on retrouve dans son rhizome : le méthyleugénol (Lolock, 1995) et l'acide aristolochique, à qui on reconnaît des propriétés anti-inflammatoires, immunostimulantes et antibactériennes (Cavallito et Bailey, 1946). La consommation de produits contenant de l'acide aristolochique est cependant déconseillée (Schaneberg *et al.*, 2002), car ce composé augmenterait les risques de développer un cancer des voies urinaires (Nortier *et al.*, 2003).

Caulophyllum pedatum (L.) Michx.

(Berberidaceae, caulophylle faux-pigamon, blue cohosh, squaw-root, papoose-root)

Description morphologique

Caulophyllum thalictroides est une espèce herbacée dressée de taille moyenne (de 30 à 100 cm) (Marie-Victorin, 1995). *C. thalictroides* a un feuillage violacé en avril, qui devient vert plus tard (Small et Catling, 2000). Son feuillage est glabre (sans pubescence) et recouvert d'une pruine abondante (couche cireuse)



Figure 8 *Caulophyllum thalictroides*

(Lamoureux, 2002). Les feuilles de *C. thalictroides* sont composées-ternées (Figure 8) et similaires à celles du pygamon (*Thalictrum* sp.). Chaque foliole présente deux ou trois lobes. Ses tiges émergent d'un rhizome cylindrique noueux. Ce rhizome est brun jaunâtre à l'extérieur et blanc jaunâtre à l'intérieur (Small et Catling, 2000). Très tôt au printemps, dès le déploiement de ses feuilles, *C. thalictroides* produit de petites fleurs de 1 à 2 cm de diamètre (Small et Catling, 2000). Ses fleurs sont formées de six sépales colorés, de six nectaires très petits, qui forment une mini-colerette entre les sépales, et de six étamines jaunes (Lamoureux, 2002). Une fois que sa fleur est fécondée, *C. thalictroides* produit un « fruit » : il s'agit d'une graine nue dont le tégument est charnu (Small et Catling, 2000). Ce « fruit » mesure environ 1 cm de diamètre et il est bleu à maturité (Lamoureux, 2002).

Écologie et distribution

Cette espèce de la famille des berbéridacées est très proche d'une autre espèce de *Caulophyllum* : *Caulophyllum giganteum* Farw. (Dore, 1998). Ces deux espèces se ressemblent beaucoup et c'est grâce à leurs fleurs qu'on peut les distinguer. Les fleurs de *C. thalictroides* ont un style plus

court (moins de 1 mm) et elles sont jaunâtres, alors que les fleurs de l'autre espèce, *C. giganteum*, ont un style crochu plus long (de 1 à 2 mm) (Lamoureux, 2002). En plus, les fleurs de *C. giganteum* sont violacées et plus hâtives d'environ deux semaines par rapport à celles de *C. thalictroides*. D'autres caractères différencient les deux espèces : *C. thalictroides* a une fécondité plus élevée et l'autofécondation des fleurs est possible chez cette espèce. Le pollen de *C. giganteum* peut féconder les fleurs de *C. thalictroides*, mais l'inverse est beaucoup moins fréquent (Hannan et Prucher, 1996). Ces caractères nous font penser que le processus de spéciation chez ces deux espèces n'est pas complètement terminé (Lamoureux, 2002). Le *C. thalictroides* pousse dans des forêts riches, humides à mésiques et ombreuses. Au Canada, cette espèce pousse surtout dans les érablières calcaires, en sol rocheux ou organique (Lamoureux, 2002). On retrouve *C. thalictroides* du Manitoba à la Nouvelle-Écosse et du sud du Canada au nord de la Georgie (Figure 9). Ses graines prennent de deux à quatre ans à germer en nature et il faut au moins trois années supplémentaires pour obtenir une première floraison à partir d'une graine (Lamoureux, 2002).

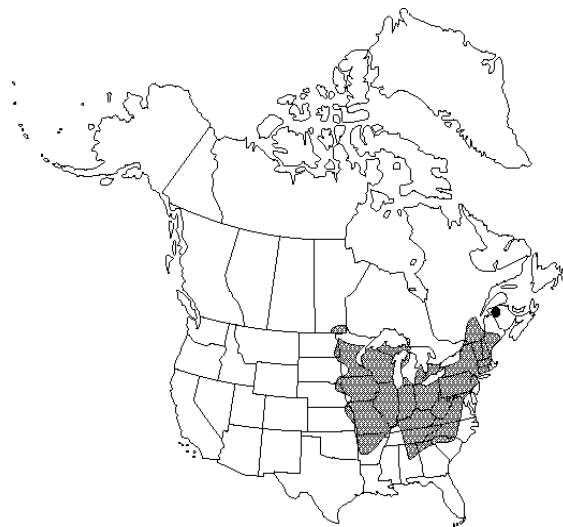


Figure 9 Distribution de *C. thalictroides*

Intérêt commercial

C. thalictroides était jadis utilisée par les peuples autochtones pour guérir certains maux, plus particulièrement chez les femmes pour faciliter l'accouchement, pour régulariser les menstruations ou même comme abortif (Small et Catling, 2000; Lamoureux, 2002). Les rhizomes de *C.*

thalicroides ont également été utilisés contre les névralgies et les rhumatismes (Lamoureux, 2002). On conseillait aussi, aux coureurs, la consommation de tisanes à base de caulophylle pour soulager les spasmes musculaires et les crampes (Small et Catling, 2000). De nos jours, cette espèce entre dans la composition de certains suppléments alimentaires, mais son utilisation devrait être suivie par un professionnel de la santé. Les composés secondaires qu'elle produit et qui sont à la base de ses propriétés médicinales sont très puissants. La caulosaponine cause des contractions utérines, mais elle cause également la vasoconstriction des artères coronaires, ce qui a un effet toxique sur le muscle cardiaque (Small et Catling, 2000). La caulosaponine est aussi soupçonnée d'avoir des effets tératogènes (susceptibles de provoquer des malformations congénitales par une action sur l'embryon) (Small et Catling, 2000). La consommation de cette espèce semble aussi causer de nombreux effets secondaires non désirables lorsque la plante est consommée à de fortes doses ou pendant une longue période. D'ailleurs, en 1995, Santé Canada a jugé inacceptable d'inclure *C. thalicroides* aux ingrédients de médicaments en vente libre (Small et Catling, 2002). En plus de son utilisation dans le domaine médicinal, la *C. thalicroides* est parfois vendue à des fins ornementales (Lamoureux et Nantel, 1999). Les jardiniers plantent cette espèce dans les boisés et les jardins d'ombre.

Matteuccia struthiopteris (L.) Todaro

(Dryopteridaceae, matteuccie, crosse de violon, fougère à l'autruche, ostrich fern, fiddle-heads)

Description morphologique

Matteuccia struthiopteris est une fougère herbacée de grande taille. On la reconnaît à sa couronne de frondes issues d'un rhizome ascendant trapu Gouvernement du Québec [En ligne]). Il y a deux types de frondes

chez la matteuccie : des frondes stériles (Figure 10) de 60 à 230 cm de longueur et de 12 à 25 cm de largeur, oblancéolées, se rétrécissant brusquement à la base; et des frondes fertiles plus courtes (30 à 50 cm), verdâtres et devenant marron foncé à maturité (Marie-Victorin, 1995). Les frondes stériles entourent les frondes fertiles pendant l'été et, l'hiver, seulement les frondes fertiles restent en place (Lamoureux, 2002; Fleurbec, 1993). La matteuccie produit des sores entassés à la marge des segments recourbés des frondes fertiles (Gouvernement du Québec [En ligne]) et on retrouve ses spores chlorophylliennes dans ces sores. Pour assurer sa reproduction végétative, *M. struthiopteris* produit des rhizomes horizontaux couverts d'écailles, aussi appelés stolons, pouvant atteindre jusqu'à trois mètres de long.



Figure 10 *Matteuccia struthiopteris*

Écologie et distribution

Sa distribution est circumboréale (Lamoureux, 2002), mais en Amérique du Nord, bien qu'elle soit plus commune dans le nord-est, on la retrouve de l'Alaska à l'Atlantique et jusqu'en Virginie (Figure 11) (Fleurbec, 1993). La matteuccie affectionne les sols riches et humides ainsi que les situations ombragées. Elle forme des colonies assez denses dans les forêts caducifoliées ou les hautes artustaises (Fleurbec, 1993 ;

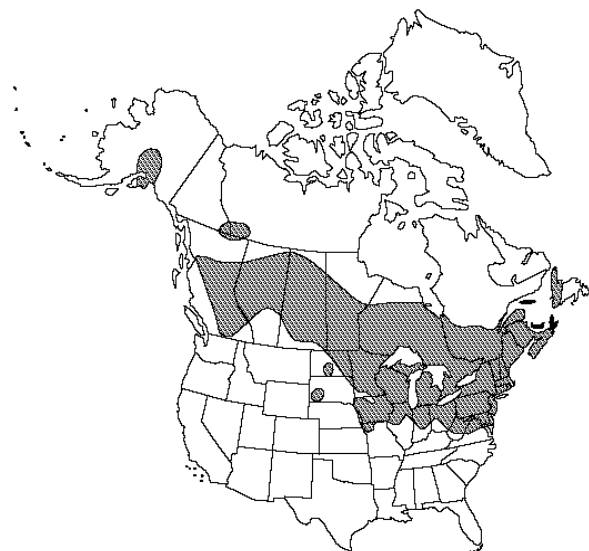


Figure 11 Distribution de *Matteuccia struthiopteris*

Lamoureux, 2002), mais on la retrouve aussi sur les plaines alluvionnaires (Marie-Victorin, 1995) ou dans les fossés Gouvernement du Québec [En ligne]). La matteuccie croît dans des sites qui sont à moins d'un mètre (environ 0,6 m) de la nappe phréatique (Fleurbec, 1993). Il semble qu'un couvert forestier de 60 à 90 % offre les conditions optimales pour l'espèce (Fleurbec, 1993). Si la matteuccie pousse sur un site où il y a trop de lumière ou pas assez d'humidité, cela induira une réduction de sa taille d'environ 20 % (Fleurbec, 1993). Les meilleurs taux de croissances ont été observés à des pH allant de 5,1 à 5,4 (Gabrielson, 1964), bien que les habitats où on les trouve soient caractérisés par des sols avec des pH allant de 4 à 7,5. Malgré les spores produites en grandes quantités, très peu germent et produisent de nouveaux plants Gouvernement du Québec [En ligne]). C'est pour cette raison que la matteuccie dépend essentiellement de sa reproduction végétative par production de rhizomes horizontaux. Deux semaines sont nécessaires au développement d'un prothalle à partir d'une spore; il faut attendre dix-neuf semaines supplémentaires avant de voir la première fronde et il faudra encore quatre ans avant que le plant soit mature (Lamoureux, 1993).

Intérêt commercial

Au printemps, les jeunes pousses de *M. struthiopteris* (Figure 12) sont vendues dans de nombreux commerces d'alimentation comme légume. Les jeunes pousses de matteuccie, aussi appelées « têtes de violon » sont également vendues sous forme surgelée tout au long de l'année



Figure 12 Têtes de violon

(Fleurbec, 1993). On récolte ainsi de très grandes quantités de jeunes frondes. Pour la seule année 1999, 100 000 kg de jeunes pousses ont

été vendues au Québec et ce chiffre n'inclut pas les quantités cueillies ici et vendues à l'extérieur du Québec (Lamoureux, 2002). Actuellement, la matteuccie est également offerte sur le marché horticole (Lamoureux et Nantel, 1999). Ce marché menace aussi les populations naturelles : en 1998, à eux seuls, trois commerçants auraient prélevé plus de 30 000 plants Gouvernement du Québec [En ligne]. Heureusement, depuis 2005, cette espèce est classée comme vulnérable au Québec et sa cueillette en milieu naturelle est ainsi réglementée (Gouvernement du Québec, 2004).

Sanguinaria canadensis L.

(Papaveraceae, sanguinaire, sanguinaire du Canada, sang-dragon, bloodroot, puccoon root)

Description morphologique

Cette plante de la famille du pavot (papavéracée) est la seule espèce connue de sanguinaire. Il s'agit d'une plante herbacée acaule (Marie-Victorin, 1995). Sa feuille unique est épaisse, réniforme et découpée en de grands lobes sinueux (Figure 13). Elle mesure de 15 à 30 cm de diamètre et émerge directement du rhizome charnu de la sanguinaire (Lamoureux, 2002).



Figure 13 *Sanguinaria canadensis* et en médaillon sa fleur

Son rhizome contient un latex rouge qui lui a donné son nom. Tôt au printemps, la sanguinaire produit une fleur solitaire (Figure 13) portée par un long pédoncule se déployant

avant l'épanouissement de la feuille Gouvernement du Québec [En ligne]). Sa fleur est formée de deux sépales décidus et de huit à seize pétales blancs de 2,5 à 4 cm de longueur (Marie-victorin, 1995). La fleur de la sanguinaire porte de nombreuses étamines. Cette fleur printanière s'ouvre et se ferme en fonction de la température et de l'intensité lumineuse (Lyon, 1992). Bien que la période de floraison dure de vingt à trente jours, chaque fleur ne fleurit que de deux à cinq jours (Lamoureux, 2002). Une fois la fleur fécondée, la sanguinaire produit une capsule à deux valves d'environ 2 cm de longueur (Small et Catling, 2000) qui contient une vingtaine de graines (Lobstein et Rockwood, 1993).

Écologie et distribution

On retrouve *S. canadensis* du Manitoba au Nouveau-Brunswick et du Dakota du Nord à la Georgie et à la Louisiane (Figure 14) Gouvernement du Québec [En ligne]. Elle s'épanouit en milieu fertile sur les sols rocheux ou humides des érablières à caryer et à tilleul, avec des pH allant de 5 à 7 (Lamoureux,

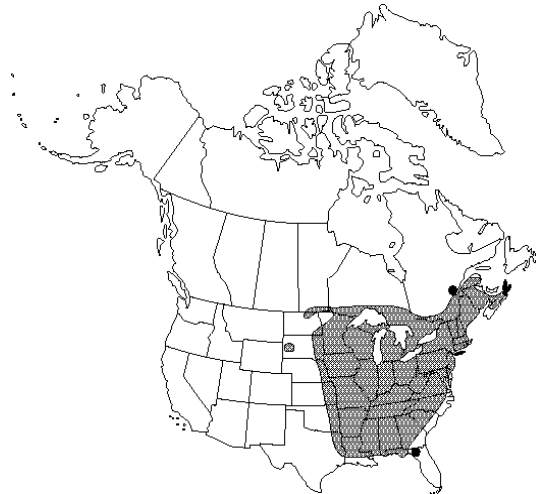


Figure 14 Distribution de *Sanguinaria canadensis*

2002). Elle pousse à l'ombre en de denses colonies si les conditions sont idéales, autrement on peut retrouver des individus isolés (Small et Catling, 2000). Pendant les premiers jours de la floraison, les fleurs de sanguinaire peuvent être pollinisées par des insectes, mais à partir du troisième jour de floraison, si la fleur n'a pas été pollinisée, les anthères chargées de pollen se courbent sous leur poids et fertilisent les stigmates (Lyon, 1992). Les fleurs de sanguinaire peuvent ainsi s'autoféconder si les conditions de température et de lumière ne permettent pas aux insectes de le faire (Schemske, 1978). Les graines

contenues dans sa capsule sont munies d'une caroncule charnue (élaïosome) convoitée par les fourmis forestières, qui est à la base de cette relation myrmécophytique. Celles-ci assurent la dispersion des graines de sanguinaire sur de courtes distances (myrmecochorie) (Small et Catling, 2000). La sanguinaire prend beaucoup de temps à se reproduire. Il faut de deux à trois ans de croissance avant d'obtenir, à partir d'une graine, un plant capable de fleurir (Lamoureux, 2002).

Intérêt commercial

Il s'agit d'une autre espèce qui était utilisée par les autochtones avant l'arrivée des colons européens en Amérique du Nord. Les Amérindiens utilisaient le rhizome de la sanguinaire pour fabriquer une teinture rouge (Marie-Victorin, 1995) et la sanguinaire faisait également partie de leur pharmacopée. Ils se servaient de *S. canadensis* pour traiter le rhumatisme, l'asthme, la bronchite, la laryngite et les fièvres (Small et Catling, 2000). Elle était utilisée par voie orale pour ces affections et par voie topique pour guérir des ulcères et des cancers de la peau (Small et Catling, 2000). L'utilisation de la sanguinaire à des fins médicales a été réduite au début du vingtième siècle à cause de sa toxicité, mais on la retrouve encore aujourd'hui dans une douzaine de préparations pharmaceutiques vendues au Canada (Small et Catling, 2000). On lui reconnaît des propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes, antimicrobiennes et antinéoplasiques (Chaturvedi *et al.*, 1997; Small et Catling, 2000) qui sont attribuables aux alcaloïdes de type benzophénanthridine qu'elle produit et dont le principal est la sanguinarine (Small et Catling, 2000). On attribue à un autre de ses alcaloïdes, la chelerythrine, une activité antimycobactérienne (Newton *et al.*, 2002). On reconnaît un écocline nord-sud aux États-Unis dans la concentration en sanguinarine des plants de sanguinaire : les plants plus méridionaux ont des concentrations plus élevées que ceux du nord (Small et Catling, 2000). Il semble que les concentrations en

sanguinarine fluctuent aussi pendant l'année, leur maximum se produisant au printemps, en même temps que la floraison. Les composés secondaires s'accumuleraient aussi dans les rhizomes avec le temps (Small et Catling, 2000). Plusieurs autres facteurs semblent influencer la nature et la concentration des composés secondaires de *S. canadensis* : l'altitude, l'intensité lumineuse, la richesse du sol, le contenu en eau du rhizome, la croissance, la reproduction, etc. (Bennett *et al.*, 1990; Salmore et Hunter, 2001a; Salmore et Hunter, 2001b). Plus récemment, la sanguinaire était davantage utilisée dans les dentifrices et les rince-bouche pour ses propriétés bactéricides et bactériostatiques contre les bactéries qui provoquent la formation de la plaque dentaire (Small et Catling, 2000). Elle a pourtant été retirée du marché suite à de récentes publications qui indiquent qu'un usage prolongé de produits à base de sanguinaire pourrait provoquer le développement de lésions buccales cancéreuses (Damm *et al.*, 1999). Ironiquement, deux études attribuent des propriétés anticancérigènes à la sanguinaire : une étude sur le traitement de tumeurs dermiques chez les chevaux (von Felbert *et al.*, 2005) et une étude comparative du pouvoir antiproliférique et apoptotique de la sanguinarine sur deux lignées de cellules dermiques humaines dont une cancéreuse (Ahmad *et al.*, 2000). La sanguinaire est aussi utilisée dans le domaine horticole comme plante de bordure en situation ombragée. Sa floraison printanière et son feuillage semblent plaire aux jardiniers (Small et Catling, 2000). La sanguinaire, bien qu'elle appartienne à une espèce à croissance lente, est récoltée abondamment : en 1999, l'American Herbal Products Association rapportait que de 9000 à 13 000 kg de rhizomes séchés de sanguinaire avaient été obtenus annuellement par la cueillette dans les populations indigènes aux États-Unis (McGuffin et Young, 2001). Si, en plus de sa lente croissance, on prend en considération le fait qu'elle soit également un aliment apprécié des cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus* Zimmerman) Gouvernement du Québec [En ligne], il est rassurant de

savoir qu'au Québec la sanguinaire a été ajoutée à la liste des plantes vulnérables (Gouvernement du Québec, 2004).

Trillium grandiflorum (Michx.) Salisb.

(Liliaceae, trille à grande fleur, trille blanc, large-flowered *trillium*, large-flowered wakerobin)

Description morphologique

Trillium grandiflorum est une plante herbacée à rhizome. Sa tige solitaire mesure de 20 à 45 cm de hauteur et elle porte un unique verticille de trois feuilles (Figure 15) sessiles rhomboïdales ovales acuminées de 10 à 30 cm de largeur (Marie-Victorin, 1995). Tôt au



Figure 15 *Trillium grandiflorum*

printemps, le trille blanc produit une fleur solitaire de 8 cm de diamètre. Sa fleur est composée de trois sépales verts, de trois pétales blancs, de six étamines à filet robuste, d'un ovaire blanc et d'un pistil à trois stigmates (Lamoureux, 2002). Elle est portée par un long pédoncule ascendant de 4 à 8 cm de longueur Gouvernement du Québec [En ligne]. La fleur du trille blanc devient rose avant de flétrir et elle est parfois rayée de vert (Marie-Victorin, 1995). Une fois fécondée, la fleur produit une capsule globuleuse (15 à 25 mm) rouge devenant bleu-noir (Marie-Victorin, 1995).

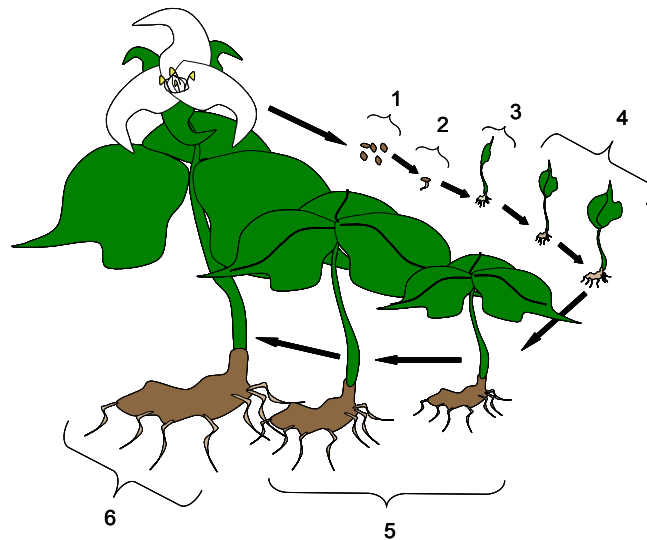
Écologie et distribution

Le trille blanc pousse en grandes colonies dans des forêts fertiles. On le retrouve de l'Ontario à la Nouvelle-Écosse et du Minnesota à la Floride

(Figure 16) Gouvernement du Québec [En ligne]. Au Québec, on le retrouve dans des érablières à caryer et parfois dans des érablières à tilleul (Lamoureux, 2002). Le trille blanc ne fleurit pas avant l'âge de sept à dix ans et sa première vraie feuille apparaît trois ans après la dispersion des graines (Figure 17) (Lamoureux, 2002). L'autofécondation prédomine chez cette espèce. Le taux de fécondité y varie de 68 à 88 %. *Trillium grandiflorum* présente souvent des anomalies : pièce florale manquante ou surnuméraire, virescence, aphyllie, etc. (Marie-Victorin, 1995). Il semble que ces anomalies soient dues à des infections bactériennes, il faut donc éviter de propager les plants présentant des anomalies. Comme pour



Figure 16 Distribution de *T. grandiflorum*



Guillaume Dostie, 2005

Figure 17. Cycle de vie de *Trillium grandiflorum*

1 : graines, la 1^{ère} année / **2** : la 2^{ème} année, la radicule se développe / **3** : la 3^{ème} année, le cotylédon se développe / **4** : la 4^{ème} année, la première vraie feuille apparaît / **5** : stade juvénile-trois-feuilles / **6** : après 7 à 10 ans, stade mature.

Asarum canadense et pour *Sanguinaria canadensis*, la dispersion des graines de *T. grandiflorum* est effectuée par des fourmis forestières qui apprécient grandement la caroncule dont les graines de trilles blancs sont munies (Lamoureux, 2002). Les fourmis dispersent ainsi les graines

du trille blanc sur quatre à cinq mètres. Les trilles (*Trillium* spp) semblent être particulièrement affectés par le broutage du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus* Zimmerman) (Rooney et Gross, 2003; Webster *et al.*, 2005) qui apprécie particulièrement cette plante Gouvernement du Québec [En ligne]).

Intérêt commercial

Le trille à fleur blanche a été utilisé par les autochtones comme plante médicinale. On sait que son rhizome, lorsqu'il est hydrolysé, produit de la diosgénine, un précurseur de stéroïdes utilisé dans la préparation de contraceptifs, et de la cortisone, un puissant anti-inflammatoire (Lamoureux, 2002). Cependant, de nos jours, l'intérêt commercial pour le trille blanc est plutôt horticole (Case et Case, 1997; Lamoureux et Nantel, 1999). Il est par contre très peu cultivé étant donné sa croissance très lente. On le prélevait pour le vendre, mais ceci n'est plus légalement possible au Québec depuis qu'il est maintenant protégé par la loi sur les espèces menacées ou vulnérables.

CHAPITRE 2

SURVIVAL AND SUBTERRANEAN GROWTH OF SEVEN SPECIES OF UNDERSTORY PLANTS HAVING COMMERCIAL POTENTIAL IN RESPONSE TO PH AND LIGHT INTENSITY

Key words

Shade, lime, *Actaea racemosa*, *Adiantum pedatum*, *Asarum canadense*, *Caulophyllum thalictroides*, *Matteuccia struthiopteris*, *Sanguinaria canadensis*, *Trillium grandiflorum*

Abstract

Although many products are obtained from cultivated plants, a non-negligible proportion of such products are also obtained from indigenous populations. The intensive harvesting of some of these natural populations can compromise their survival. In order to avoid the destruction of indigenous populations of slow-growth understory species, it might be possible to cultivate them in the forest understory. To this end, we quantified the survival and the subterranean growth of seven of understory plant species having commercial potential as a function of soil pH and incident irradiance: *Actaea racemosa* (L.) Nutt., *Adiantum pedatum* L., *Asarum canadense* L., *Caulophyllum thalictroides* (L.)

Michx., *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro, *Sanguinaria canadensis* L. and *Trillium grandiflorum*. (Michx.) Salisb.,

These species have maximal growth rates at pH approaching neutrality (pH 5 and pH 7) and the mortality rate of *Actaea racemosa* (L.) Nutt. And *Asarum canadense* L. drastically increases at pH 4. All the species seem to have a good growth rate at low light intensities ($100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ to $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The growth rate of *Asarum canadense* L. and *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro increases significantly when the light intensity is increased to $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and no loss of growth rate was observed with increasing light intensity over the range of light intensities used. It is possible that growth could increase further beyond $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Our results suggest that liming could be beneficial to both growth and survival in soils with low pH.

Introduction

Plant-based products are widely used for food, in horticulture and in pharmacology. Although many of these products are made from cultivated plants, a non-negligible proportion of these products are obtained from wild plants (Lapointe, 2004). This harvesting of natural populations can be intensive and can therefore compromise their survival (Lamoureux, 2002; Lamoureux et Nantel, 1999; Small et Catling, 2000).

This problem is especially pronounced when the products are obtained from wild understory plants. Since these plants are primarily shade-

tolerant, their cultivation in fields or in greenhouses becomes arduous or costly (Lamoureux et Nantel, 1999). Because of this, the harvesting of natural populations becomes the only source for these understory plants. Such harvesting, although less expensive at first than the cultivation of these plants in understory systems, quickly becomes impractical as the size of the wild populations become small and the supply becomes uncertain. In order for the harvest to be cost-effective in the long term, it must both meet the demand yet not exceed the regeneration capacity of the harvested species (Nantel, 2004). A problem arises when the targeted plants have a low growth rate or have ineffective sexual reproduction. The populations of such species, because of their low potential population growth rate, quickly shrink and then disappear if they are over-exploited and if they are not protected at all times. This was almost the case for American ginseng (*Panax quinquefolium*) which was over-harvested (White 1988; Nault *et al.*, 1998). It is to avoid such a situation that many understory species are now protected in North America: the harvesting of plants from natural populations is now forbidden or regulated. It is important to note that this type of regulation, although it protects natural populations, does not provide a solution for the commercial demand of these species.

There is an alternative to harvesting wild populations or expensive field cultivation using shade frames: production of these species in agroforestry systems. This kind of cultivation allows us to maintain

commercial populations of slow growing wild species in a semi-natural situation and thus avoid harvesting from their natural populations. This method also has the advantage of providing a more predictable harvest. Such agroforestry systems, already in place for American ginseng (*Panax quiquefolium*) (Nault *et al.*, 2001; Pearson 1995), should be well-suited for other slow growing understory species. This type of agroforestry could provide an additional income to the owners of private forests and could be combined with other forestry practices such as maple sugar production. This solution seems to be very appropriate to Quebec, where there are many private sugar maple forests (Lapointe, 2004; Nadeau *et al.* 1999).

Since agroforestry production of understory species does require an investment of resources and money, it is important to determine the environmental conditions necessary to cultivate different species before making such investments. Two important environmental conditions of interest in this paper are soil pH and light intensity. In Quebec, many maple forests have soils that are very acidic, with pH varying from 3.8 up to neutrality (Nadeau *et al.* 1999). It is therefore very important to know the degree to which our study species, some of which naturally occur in rich forests, can grow and survive in poorer and more acidic soils. Besides soil pH, incident light intensity also seems to be very important. Many understory species seem to take advantage of gaps in the forest canopy (Whigham, 2004). It is possible that some of our study species

could grow more efficiently in the light environment presented by forest gaps rather than in the deeper shade of the understory proper.

We chose seven species that are already commercially exploited as wild populations and are indigenous to maple forests in southern Ontario and Quebec: *Actaea racemosa* (L.) Nutt., *Adiantum pedatum* L., *Asarum canadense* L., *Caulophyllum thalictroides* (L.) Michx., *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro, *Sanguinaria canadensis* L. and *Trillium grandiflorum*. (Michx.) Salisb.. *Actaea racemosa*, originating from southern Ontario, is already commercialised in plant nurseries as an ornamental plant (Dionne, 2004), but is also used commercially to treat women for symptoms of menopause (Small et Catling, 2000). Recent studies concerning *Actaea racemosa* (L.) Nutt, previously named *Cimicifuga racemosa* (L.) Nutt., confer anticancerous properties to some of its secondary compounds (Einbond *et al.*, 2004). *Adiantum pedatum* has long been used by native Americans in their pharmacopeia (Schneider, 1999) and it is one of the favorite ferns of horticulturists (Fleurbec, 1993; Dupras, 2004). *Asarum canadense* was already used by natives before European colonisation of North America for its many medicinal properties (Schneider, 1999). It produces a very interesting and aromatic essential oil which is already commercialised and it is an understory plant which also interests horticulturists (Dupras, 2004). *Caulophyllum thalictroides*, which native Americans used for medicinal purposes, is also used by some gardeners as an ornamental understory

plant in shady gardens (Small and Catling, 2000). The harvesting of *Matteuccia struthiopteris* fiddleheads in Quebec reaches 70 000 kg per year in the food industry (Bergeron et Lapointe, 2001). *Matteuccia struthiopteris* is one of the most popular ornamental ferns in Quebec. *Sanguinaria canadensis* is used by horticulturists (Dupras, 2004). *Trillium grandiflorum* also seems to interest horticulturists and it is already available in many plant nurseries (Dupras, 2004). These species are all native to North America and are indigenous to Quebec with the exception of *Actaea racemosa* (L.) Nutt.. They all grow in rich understory areas, they all have low growth rates and low sexual reproductive success (Small et Catling, 2000; Lamoureux, 2002; Marie-Victorin, 1995).

The aim of this study is to describe the response of each of these species to variation in soil pH and light intensities and to identify which combination of these two factors will lead to maximal growth. Since the autecology of these plants is largely unknown, our initial expectations are based on our field observations. Since they originate from the understory of rich deciduous forests, we expect them to have better growth at neutral soil acidity. Also, since these species seem to grow in small canopy gaps, we expect their growth rate to be best at light intensities, typical of canopy gaps (around 200 and 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); these values are approximate due to the natural temporal and spatial variations of the forest). In order to isolate the effects of pH and light on the growth of

these species and to reduce the impact of other factors, this experience was conducted in a greenhouse. More precisely, our study concentrates on the growth rate of the underground organs. Since these species are herbaceous perennials, the only parts to survive from year to year are their subterranean organs (roots and rhizome). Concerning medicinal species, the subterranean organs are those which are harvested and commercially used for their secondary compounds.

Material and methods

Material

Species and origins of cuttings are described in Table 1.

Experimental Design

The experiment was in the form of a split-plot design with three levels of irradiation at the plot level and 3 levels of pH at the split-plot level. The plot level had 24 shade frames (60 cm X 105 cm X 90 cm) and the split-plot level had 21 containers (7 species times 3 levels of pH) in each shade frame.

The three levels of irradiance were produced by 0, 1 or 2 layers of neutral 60% shade cloth placed over each shade frame, with enough space (15 cm) at the bottom of the frame to allow for the free circulation of air. We measured PAR, i.e. photosynthetically active radiation available for the plants ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), inside each shade frame (Li-Cor

Li-189 photometer) between 11h00 and 13h00 on 11 separate days chosen at random with no cloud cover. The average levels of irradiance inside the three types of shade frames were 106.5, 134.3 and 353.0 mol m⁻² s⁻¹. These levels are typical of irradiance levels in the understory of Quebec deciduous forests (Routhier and Lapointe, 2002; Messier *et al.*, 1998; Tremblay and Larocque, 2001).

Three levels of pH were used: level 1 : pH 4 ; level 2 : pH 5 and level 3 : pH 7. This is similar to the usual range of pH Quebec deciduous forests (pH 3 to pH 7) (Lafond *et al.*, 1992). The planting substrate was composed of 70 % peat moss, 30 % perlite (875 ml / 375 ml = 1250 ml). The quantities of calcareous lime necessary to obtain the target pH was determined using the SME method (Warncke, D.D., 1986). The initial pH of all three treatments was obtained by adding either 0.4, 1.8 or 6.5 g of calcareous lime (grinding: 325 mesh) per litre of substrate. These quantities were determined by creating a standardization curve of the pH obtained according to the quantities of lime added (for the quantities of lime per substrate volume from 0 g / L to 15.5 g / L) (After a reaction time of one week).

Planting

The containers were filled with substrate and fertilized by adding 4 g of granular fertilizer per litre of substrate (Nutricote granular fertilizer: 14-14-14 / 140 days, #59725 from Plant-Prod Québec) in each container. The cuttings were obtained by rinsing the rhizomes and the roots with

warm water and cutting them to the specific length with a ethanol-washed scalpel, after which they were randomly numbered and weighted. We applied a 0.1% solution of Indole-3-butyric acid (Stim-Root No. 1 from Plant Products CO. LTD) to the base of each cutting, with exception of *Adiantum pedatum* and *Trillium grandiflorum*, to stimulate rooting. The cuttings were treated with a fungicide (Wilson Bordo copper spray Nungro: 53 % tribasic copper sulfate) and placed in a numbered container at the needed depth for each species.

Harvesting

The harvesting was made at the first sign of leaf senescence. The fresh masses were taken for each sampling and, then after, samplings were lyophilized to be weighted again to get the dry masses.

Statistical Analysis

Emergence and mortality are expressed as the number of individuals that emerge or die in each combination of pH and irradiance. Significance for each variable and their interaction was tested using a Chi-squared test. Continuous dependant variable were analyzed using a linear mixed model with pH, irradiance and their interaction treated as fixed factors. Irradiance was tested at the whole-plot level (i.e. shade-frame) and pH and the interaction term was tested at the split-plot (i.e. individual container) level. Significance was judged using an ANOVA; results are expressed as means \pm 95 % confidence intervals.

Results

Because of the statistical model, two marginal effects are possible (pH, irradiance) and their interaction. Since no interaction was significant ($\alpha=0.05$) for any species or for any dependent variable, we will present the results only for the marginal effects with no interaction.

Actaea racemosa

Soil pH ($\chi^2_{2d.d.l.} = 10.03$, $p = 0.0066$), but not light intensity ($\chi^2_{2 d.d.l.} = 2,63$; $p = 0.2678$), effected mortality rates for *Actaea racemosa*. Mortality was highest at pH 4 (29.63%) was lower at pH 5 (4.00 %) and absent at pH 7 (0.00%). The absolute growth (final mass – initial mass) of *A. racemosa* plants (Table 3.) were affected by the pH treatments ($F_{2, 33} = 31.3643$; $p < 0.0001$) but no significant effects were noticed with light ($F_{2, 21} = 0.6377$; $p = 0.5384$); mass was transformed (\log_{10}) to ensure homogeneity of variance. Similarly, relative growth rate (RGR, Table 3) was affected by soil pH treatments ($F_{2, 33} = 35.511$; $p < 0.0001$) but not light ($F_{2, 21} = 0.694$; $p = 0.5105$). The results of dry rhizome mass (\log_{10} transformed) were similar to those for growth and RGR. Since some plants had no change of root mass during the experiment this variable was transformed as $\log(x+1)$. The pH treatments affect both these dependant variables (rhizome mass: $F_{2, 33} = 21.0842$; $p < 0.0001$; root mass : $F_{2, 32} = 15.8049$; $p < 0.0001$), while light treatments had no significant effect on either of these variables (rhizome mass: $F_{2, 21} =$

2.848 ; $p = 0.0804$; root mass: $F_{2, 21} = 0.548$; $p = 0.5864$) Time to emergence was not affected by the pH ($F_{2, 33} = 0.0265$; $p = 0.9738$).

Adiantum pedatum

Soil pH ($F_{2, 25} = 14.4860$; $p = 0.0001$), but not light intensity ($F_{2, 21} = 2.918$; $p = 0.762$), effected absolute growth for *Adiantum pedatum*; Growth was transformed to $\log(x + 10)$ in order to ensure homogeneity of variance (Table 4). Relative growth rate (RGR) of *A. pedatum* was also affected by the pH ($F_{2, 25} = 3.7463$; $p = 0.0378$), but not by light intensity ($F_{2, 21} = 9.4140$; $p = 0.0012$) (Table 4). Soil pH had no effect on emergence time for *A. pedatum* ($F_{2, 25} = 0.161$; $p = 0.8525$); emergence times were transformed into $(1 / \log(x))$ to ensure homogeneity of variance and to ensure that a higher number signifies a longer time to emergence (Table 4).

Asarum canadense

Soil pH ($\chi^2_{2d.d.l.} = 9.50$; $p = 0.009$), but not light intensity ($\chi^2_{2d.d.l.} = 0.01$; $p = 0.995$), effected mortality rates for *Asarum canadense*. The greatest mortality (54.17 %) was observed at pH 4. At pH 5, the mortality percentage decreased to 33.33 % and finally, at pH 7, to 4.35 %. Soil pH also effected relative growth rate ($F_{2, 20} = 31.2330$; $p < 0.0001$), but not light intensity ($F_{2, 21} = 1.164$; $p = 0.3316$) (Table 5). The relative growth rate was negative at pH 4 (-0.0288 ± 0.0112) and pH 5 (-0.0016 ± 0.0113), but positive (0.0095 ± 0.0069) at pH 7. Soil pH ($F_{2, 20} = 45.2663$;

$p < 0.0001$) and light intensity ($F_{2, 21} = 4.6626$; $p = 0.0211$) effected absolute growth for *Asarum canadense* (Table 5.). Growth of *A. canadense* was negative at pH 4 (-1.695 ± 0.396 g), was positive, albeit low, at pH 5 (2.474 ± 1.972 g) and was maximal at pH 7 (6.773 ± 1.882 g). Concerning the light treatments, growth was 2.316 ± 2.065 g at a light intensity of $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 2.618 ± 2.186 g at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 5.737 ± 3.128 g at $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Both soil pH ($F_{2, 20} = 42.5352$; $p < 0.0001$) and light intensity ($F_{2, 21} = 3.4540$; $p < 0.0505$) effected rhizome mass (Table 5); rhizome masses were transformed into \sqrt{x} , to ensure homogeneity of variance. Rhizome mass was lowest at pH 4 (0.091 ± 0.050 g), increased to 0.396 ± 0.160 g at pH 5 and was highest at pH 7 (0.665 ± 0.103 g). With respect to irradiance rhizome mass increased from 0.349 ± 0.120 g to 0.426 ± 0.165 g to 0.570 ± 0.207 g as irradiance increased from 106.5, to 134.3, to $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Both soil pH ($F_{2, 20} = 27.5378$; $p < 0.0001$) and light intensity ($F_{2, 21} = 4.9095$; $p = 0.0178$) effected dry root mass for *Asarum canadense* (Table 5). *A. canadense* shows a weak root mass at pH 4 (0.005 ± 0.007 g) and pH 5 (0.443 ± 0.228 g) and a maximal root mass at pH 7 (0.997 ± 0.237 g). Concerning the effects of light intensity, values were 0.403 ± 0.233 , 0.542 ± 0.265 and 0.841 ± 0.384 g in the three irradiance levels (lowest to highest). Soil pH ($F_{2, 20} = 36.8796$; $p < 0.0001$), but not light intensity ($F_{2, 21} = 2.844$; $p = 0.0807$) effected the average number of buds for *Asarum canadense* (Table 5). At pH 4, the plants had only 1.0 ± 0.0 bud, at pH 5 they had 3.5 ± 1.0 buds, and at pH 7 they had 5.3 ± 0.8 buds. The emergence

time was not affected by pH ($F_{2, 21} = 1.828$; $p = 0.1866$) for *Asarum canadense* (Table 5).

Caulophyllum thalictroides

Soil pH ($F_{2, 42} = 3.384$; $p = 0.0434$), but not light intensity ($F_{2, 21} = 2.156$; $p = 0.1407$) effected absolute growth for *Caulophyllum thalictroides* (Table 6). Growth shows a negative value at pH 4 (-0.122 ± 1.496 g) and at pH 7 (-0.119 ± 0.706 g). At pH 5, contrarily to both other pH, growth was positive (1.415 ± 1.140 g). Soil pH ($F_{2, 42} = 11.622$; $p = 0.0001$), and light intensity ($F_{2, 21} = 6.294$; $p = 0.0072$) effected the dry rhizome mass for *Caulophyllum thalictroides* (Table 6). The highest dry rhizome mass was at pH 4 (1.921 ± 0.337 g). At pH 5 it was intermediate (1.347 ± 0.315 g) and at pH 7 we observed the lowest dry rhizome mass (1.018 ± 0.202 g). Concerning light treatments, we observed the lowest dry rhizome mass at $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (1.129 ± 0.235 g) and with $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (1.033 ± 0.317 g). With $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light, dry rhizome mass was at its highest (1.743 ± 0.368 g). Soil pH ($F_{2, 42} = 6.819$; $p = 0.0027$) effected emergence time for *Caulophyllum thalictroides* (Table 6). At pH 4, plants took 25.1 ± 2.8 days to emerge while at pH 5 they took only 17.7 ± 2.6 days. Finally, at pH 7, it took 20.9 ± 3.2 days to emerge. For *C. thalictroides*, soil pH did not effect either old ($F_{2, 42} = 0.1028$; $p = 0.9025$) or new roots ($F_{2, 42} = 2.2145$; $p = 0.1218$); mass of both old and young roots were transformed to \log_e , to ensure homogeneity of variance (Table 6). The light intensity affected

neither old ($F_{2, 21} = 1.8701$; $p = 0.1789$) nor young roots ($F_{2, 21} = 1.4592$; $p = 0.2550$); both young and old root masses were transformed into \log_e , to ensure homogeneity of variance (Table 6).

Matteuccia struthiopteris

Soil pH ($F_{2, 44} = 7.763$; $p = 0.0013$), as well as light intensity ($F_{2, 21} = 11.483$; $p = 0.0004$), effected absolute growth for *Matteuccia struthiopteris*; absolute growth was transformed into \sqrt{x} , to ensure variance homogeneity (Table 7). Absolute growth shows a minimal value at pH 4 (11.648 ± 4.735 g); a maximal value at pH 5 (24.939 ± 8.169 g) and an intermediate value at pH 7 (16.696 ± 8.625 g). The growth of *M. struthiopteris* was at its lowest for plants with $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (7.368 ± 3.056 g); was intermediate at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (15.496 ± 5.404 g) and was highest at $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (31.561 ± 9.469 g). Relative growth rate (RGR) was affected by soil pH ($F_{2, 43} = 4.081$; $p = 0.0253$) and by light intensity ($F_{2, 21} = 13.658$; $p = 0.0002$, Table 7). Relative growth rate of *M. struthiopteris* was lowest for plants at pH 4 (0.0157 ± 0.0038); it was intermediate at pH 5 (0.0199 ± 0.0041) and highest at pH 7 (0.0203 ± 0.0036). The RGR of *Matteuccia* plants was at its lowest for plants with $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (0.0124 ± 0.0025); it was intermediate at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0.0190 ± 0.0007) and maximal at $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0.246 ± 0.0034). Rhizome mass was affected by soil pH ($F_{2, 44} = 13.186$; $p < 0.0001$) and by light intensity ($F_{2, 21} = 10.307$; $p = 0.0008$) for *M. struthiopteris*; dry rhizome mass was

transformed into \sqrt{x} , to ensure the homogeneity of variance (Table 7). The dry rhizome mass of *M. struthiopteris*, shows a minimal value of pH 4 (0.820 ± 0.354 g), the highest value at pH 5 (2.628 ± 0.869 g) and an intermediate value at pH 7 (1.664 ± 1.026 g). Dry rhizome mass of *Matteuccia* was lowest for plants at $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (0.713 ± 0.310 g); intermediate at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1.517 ± 0.618 g) and highest at $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3.131 ± 1.158 g). Dry root mass was affected by soil pH ($F_{2, 45} = 5.922$; $p = 0.0052$) and also by light intensity ($F_{2, 21} = 11.377$; $p = 0.0004$); dry root mass was transformed into \sqrt{x} , to ensure the homogeneity of variance (Table 7). Dry root mass of *M. struthiopteris* had its lowest value at pH 4 (1.354 ± 0.517 g) its highest value at pH 5 (2.252 ± 0.728 g) and an intermediate value at pH 7 (1.391 ± 0.574 g). With respect to the effects of light intensity, we observed that the dry root mass of *Matteuccia* was at its lowest for plants with $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0.726 ± 0.246 g), was intermediate at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1.526 ± 0.468 g) and highest at $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2.826 ± 0.772 g). The foliar mass was influenced by soil pH ($F_{2, 45} = 10.134$; $p = 0.002$) and by light treatments ($F_{2, 21} = 10.676$; $p = 0.006$) (Table 7); dry foliar mass was transformed into \sqrt{x} , in order to ensure homogeneity of variance. The dry foliar mass of *M. struthiopteris* was lowest at pH 4 (0.769 ± 0.330 g), was highest value at pH 5 (1.496 ± 0.498 g) and was intermediate at pH 7 (1.247 ± 0.383 g). Concerning the effects of light, the dry foliar mass of *M. struthiopteris* was lowest for plants with $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (0.527 ± 0.163 g); intermediate at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1.114

± 0.399 g) and highest at $353. \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1.931 ± 0.466 g). Besides rhizome mass, the number of rhizomes was also affected by pH treatments ($F_{2, 44} = 6.621$; $p = 0.0031$), but not by light intensity ($F_{2, 21} = 2.6680$; $p = 0.0928$) (Table 7); the number of new rhizomes was transformed in \sqrt{x} , to ensure the homogeneity of variance. The amount of rhizome for *M. struthiopteris* shows a lowest value at pH 4 (2.6 ± 0.9) was highest at pH 5 (5.2 ± 1.1) and was intermediate at pH 7 (3.5 ± 1.3). Like the amount of rhizome, the number of new leaves was affected by the soil pH ($F_{2, 45} = 3.673$; $p = 0.0333$), but contrarily to the number new rhizomes, the number of new leaves was also affected by light intensity ($F_{2, 21} = 5.041$; $p = 0.0163$) (Table 7). This variable was transformed using \log_e , to ensure homogeneity of variance. The number of new leaves of *M. struthiopteris* had its lowest value of pH 4 (7.0 ± 2.5) and its highest value at (9.6 \pm 3.2) and at pH 7 (10.0 ± 2.3). With respect to light intensity, the number of new leaves was lowest at $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (6.1 ± 1.7 leaves), was intermediate at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of light (8.8 ± 3.0 leaves) and highest at $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (12.0 ± 2.9 leaves). Emergence time was affected by soil pH ($F_{2, 42} = 6.819$; $p = 0.0027$) for *M. struthiopteris* (Table 7). The plants of *Matteuccia* emerged more quickly at pH 5 (97.8 ± 11.85 days) than at pH 4 (109.9 ± 11.85 days) and at pH 7 (120.6 ± 7.75 days). Soil pH had no effect on the emergence percentage of *M. struthiopteris* ($\chi^2 = 1.66$; $p = 0.4365$).

Sanguinaria canadensis

For *Sanguinaria canadensis*, soil pH ($F_{2, 41} = 12.9004$; $p < 0.0001$), but not light intensity ($F_{2, 21} = 9.0794$; $p = 0.0014$) effected relative growth rate (Table 8). Relative growth rate (RGR) of *S. canadensis* plants was lowest for plants with a treatment of pH 7 (0.0646 ± 0.0090), was intermediate at pH 4 (0.0662 ± 0.0114) and highest at pH 5 (0.0941 ± 0.0113). RGR increased with increasing light intensity: RGR was lowest (0.0619 ± 0.091) at $106.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, was intermediate (0.0723 ± 0.0127) at $134.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and highest (0.0910 ± 0.0111) with $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As for RGR, soil pH effected growth for *S. canadensis* ($F_{2, 42} = 5.388$; $p = 0.0083$), but light intensity did not ($F_{2, 21} = 1.4450$; $p = 0.2582$) (Table 8). The growth of *S. canadensis* was lowest at pH 7 (7.838 ± 1.227 g), was intermediate at pH 4 (9.240 ± 1.749 g) and highest at pH 5 (11.200 ± 1.480 g). Like RGR and growth, the dry rhizome mass was affected by the soil pH ($F_{2, 42} = 3.535$; $p = 0.0381$), but not by light intensity ($F_{2, 21} = 2.2791$; $p = 0.1271$) (Table 8). The dry rhizome mass of *S. canadensis* plants was lowest at pH 7 (2.365 ± 0.294 g), was intermediate at pH 4 (2.683 ± 0.396 g) and highest at pH 5 (3.008 ± 0.372 g). Dry root mass was not affected by soil pH ($F_{2, 42} = 1.2026$; $p = 0.3105$), nor by light intensity ($F_{2, 21} = 0.2954$; $p = 0.7472$) (Table 8). The number of buds, like dry root mass was not affected by soil pH ($F_{2, 40} = 1.2945$; $p = 0.2853$), nor by light intensity ($F_{2, 21} = 0.6114$; $p = 0.5520$) (Table 8). The emergence time was not affected by

soil pH ($F_{2, 42} = 0.4930$; $p = 0.6146$) (Table 8); emergence times were transformed into \log_e , to ensure homogeneity of variances.

Trillium grandiflorum

For *Trillium grandiflorum*, soil pH ($F_{2, 30} = 5.278$; $p = 0.0109$); but not light intensity ($F_{2, 21} = 0.3803$; $p = 0.6883$) effected relative growth rate (RGR) (Table 9). The relative growth rate of *T. grandiflorum* plants were lowest from plants at pH 4 (-0.0043 ± 0.0050) and pH 7 (-0.0043 ± 0.0054) and highest at pH 5 (0.0040 ± 0.0033). Growth, like RGR, was affected by soil pH ($F_{2, 31} = 4.645$; $p = 0.0172$), but was not affected by light intensity ($F_{2, 21} = 2.3279$; $p = 0.1221$) (Table 9). Growth of *T. grandiflorum* plants was lowest at pH 4 (-0.009 ± 0.022 g) followed by pH 7 (0.016 ± 0.064 g) and highest at pH 5 (0.063 ± 0.037 g). The emergence time for *T. grandiflorum*, was not affected by soil pH ($F_{2, 30} = 0.8070$; $p = 0.4556$) (Table 9).

Dicussion

Although a majority of our plant-based commercial products come from harvested plants, there are still many commercial products obtained from wild plant populations. It is, therefore, very important to learn to cultivate such species in order ensure the survival of natural populations while responding to the growing demand for the products on which they are based (Small and Catling, 2000). For some species, the solution to this problem is in agroforestry. Agroforestry should be well suited for the

production of species typical of forest understories: For such species, it is unnecessary to use costly devices such as shading devices and therefore production becomes more cost-efficient than cultivation in fields (Beyfuss, 1999). Agroforestry is much closer to polyculture than to monoculture. The mix of species, and resulting heterogeneous vegetation cover, means that no one insect, viral, bacterial or fungal species can be adapted to all plant species. Furthermore, the lower density of “favourable” plant species for any given herbivore or pathogen results in lower population densities of these pests (Beyfuss, 1999; Davis, 1999), and leads to a lower consumption of pesticides than traditional harvesting in fields under shading devices (Pearson, 1995).

The species studied in our project are either already commercialized or are species that have a commercial potential for food, ornamental or medicinal purposes (Small and Catling, 2000). Despite this commercial demand, these species are harvested from natural populations leading both to conservation concerns and to inefficient harvesting. These are shade-adapted understory species, with a slow growth rate, a difficult sexual reproduction and typically occurring in rich deciduous forests (Small and Catling, 2000; Lamoureux 2002; Marie-Victorin, 1964). These characteristics mean that extensive exploitation of natural populations will threaten their survival unless we find a way to cultivate them (Nantel and Lamoureux, 1999; Small and Catling, 2000; Lamoureux 2002).

The objective of this study is to aid in the development of cultivation methods of these species in a maple forest understory. This type of culture is already in use for the American ginseng (*Panax quinquefolium*) (Beyfuss, 1999; Nadeau *et al.*, 1999). In Quebec, since many maple forests have rather acidic soil pH (Nadeau *et al.*, 1999) it is important to know how the growth and regeneration of our species responds to different levels of pH. This is because there is a close relation between pH and the growth rate of some plants (Konsler and Shelton, 1990; Nadeau *et al.*, 1999; Davis and Bir, 1998) and because soil pH is an easily measured environmental factor than can be modified by liming (Nadeau *et al.*, 1999; Konsler and Shelton, 1990). The second environmental factor that we studied was the impact of incidental light on our species. Although these species occur primarily in the understory of deciduous forests incidental light intensity at ground-level varies greatly in such forests and our species may profit from gaps (Whigham, 2004). The response to the selected species to these two factors was measured with respect to survival of the cuttings, mass growth, growth efficiency (RGR) and growth of some commercially important organs.

Effects of soil pH

Our plants can be separated in two different groups. The first group consists of three species (*Actaea*, *Adiantum* et *Asarum*) for which growth increases strongly with the increase of pH and that have a strong response to increasing pH; they grow from 9 to 28 times more at pH 7

than at pH 4. The second group, consisting of the 4 remaining species (*Caulophyllum*, *Matteuccia*, *Sanguinaria* and *Trillium*), has a bimodal response to pH with a maximal growth rate of pH 5. The effect of soil pH on the growth of these plants is lower than for the plants of the first group, except for *Trillium*; *Trillium* plants grew 73 times more at pH 5 than at pH 4 or 7 while the other species of the second group grew from 1.4 to 2.5 times more at pH 5 than at the other two pH. If we focus attention to growth efficiency (RGR) in relation to the pH, we notice three types of response: The first group of 4 species (*Actaea*, *Adiantum*, *Asarum* and *Matteuccia*) shows a growth efficiency that increases with the pH at the maximum of pH 7, while a second group made of 2 species (*Sanguinaria* and *Trillium*) shows a bimodal response with a maximum at pH 5. Finally, there is no significant response to growth efficiency of the pH for *Caulophyllum thalictroides*. It might seem curious that the absolute growth of *Caulophyllum* was affected by pH while the growth efficiency was not, but this is explained by looking at the influence of pH on the time period over which *Caulophyllum* actually grew. Increased absolute growth was not due to an increased efficiency but rather by a longer time over which growth occurred. This is probably because the time needed to produce new roots after planting, and thus to begin aboveground growth, was affected by soil pH, which led to different final masses as a function of pH. Also note that the intensity of the pH response to growth differed between species and the two most extreme

examples (*Actaea* and *Asarum*) had a higher mortality when grown at pH 4.

Effects of light intensity

Only two species (*Asarum* and *Matteuccia*) responded significantly to the light treatments. In both cases growth increased with increasing light intensity; *Matteuccia* grew slightly more than 4 times faster at higher irradiance while *Asarum* grew only 2.5 times faster. With respect to growth efficiency (RGR), only three studied species (*Adiantum*, *Matteuccia* and *Sanguinaria*) showed a significant response, increasing with increasing irradiance. The intensities of light used in this experience (106, 135 and 353 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{sec}^{-1}$) are broadly comparable to typical intensities encountered in understory forests (Routhier and Lapointe, 2002; Messier *et al.*, 1998). so the high irradiance level in this experience is comparable to the light intensity experienced in a small gap inside the canopy and not to the condition in full sun (1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ to 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Routhier and Lapointe 2002)) It is interesting to see that no bimodal response to light was observed, contrary to the response of *Hydrastis canadensis* in the experience of Quigley and Mulhall (2002). It is therefore possible that the studied species could grow even better at irradiance levels higher than those used in our experiment although we would expect that our understory species would eventually show a decreased growth at high intensities due to photo-inhibition.

It is also interesting to mention that light has a positive influence on foliar mass and on the number of new leaves of *Matteuccia*. These results, for *Matteuccia*, agree with the results of Bergeron and Lapointe (2000) who observed a larger biomass under the sun than in the understory but they are opposite to the results of Prange (1980) who had observed no effect of light on the growth of *Matteuccia*. As for the results of *Sanguinaria*, it is curious to notice that light had no effect on growth while it did show a positive influence in a previous experiment (Marino *et al.*, 1997), but this difference is probably due to the difference in intensities used in both experiments: our highest intensities were around $353.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ while theirs were superior to $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The same observation can be made with *Trillium*: Routhier and Lapointe (2002) had noticed an effect of light on *Trillium erectum*, while we did not with *Trillium grandiflorum*. These differences may have happened because of the light intensities used, the particularities of the greenhouse conditions, the differences between the two species or to the growth status of the studied plants.

All these results tend to show that our species do not grow well in an acid soil. A producer would either have to increase the pH of his forest soil if it is under pH 5 or choose species that had a low response to pH (*Caulophyllum*, *Matteuccia* et *Sanguinaria*). For this, he could lime the soil. Liming a forest with an initially acid pH was tested for American ginseng (*Panax quinquefolium*) and the experiment showed the importance to the growth and survival of the ginseng of increasing the pH

by liming (Nadeau and al., 1999). The beneficial effects of liming don't only affect the growth of understory plants: Ouimet and Camiré (1995) underlined the positive effect that liming could have in a struggle against the dieback of maple forests in Quebec. According to Roy and al. (1990) maple forests prone to dieback are characterized by an acid pH, a low level of exchangeable calcium and a high concentration in aluminum. On top of increasing the pH of the soil, liming could increase the nitrogen mineralization of the soil and thus increase the availability of many minerals including nitrogen (Simard and al. 1994). Liming a maple forest with an acid soil would help avoid dieback while allowing the harvesting of ornamental or medicinal species growing in the understory. For the effect of light, it would be interesting to experiment on the species with a higher intensity of light and look at the effect on their growth: the highest light intensities in our experiment did not have a negative effect on any species, as opposed to higher light intensities used in other experiments (Marino and al., 1997 ; Routhier and Lapointe, 2002). Depending on the response of plants to light, we will be able to more easily identify the best plantation and harvesting locations or identify changes to bring to the canopy of a site selected to reduce the closings and increase the intensity of incidental light. It could also be possible to combine the culture of plants more efficiently under higher intensities or different types of more lighted understory areas: developed forests, plantations, forest borders, as suggested by Bergeron and Lapointe (2001). By

knowing the response of our species to pH and light better, the harvesting of these species will quickly become possible and efficient.

On top of the study of pH and light on these plants, it would be interesting to study the effect of humidity. Prange (1980), in his studies on *Matteuccia* identified humidity as the environmental factor with the biggest influence on this species. Furthermore, we know that humidity has an influence on the pH of the soil. In order to further our knowledge on the impact of light and possibly humidity on the growth and survival of our species, and in order to validate our results, other greenhouse and outside experiments should be conducted.

Acknowledgements

This work was support by the CORPAQ (Conseil des recherches en pêches et en agroalimentaire du Québec).

References

Bergeron ME and Lapointe L (2001) Impact of one year crozier removal on long-term frond production in *Matteuccia struthiopteris*. Canadian Journal of Plant Science 81, 155-163.

Beyfuss RL, (1999) New York State Department of Environmental Conservation, Division of Lands and Forests, Growing ginseng and goldenseal in your forest [Online]. <http://www.dec.state.ny.us/website/dlf/privland/forprot/ginseng/growing.html>

Davis JM (1999) Goldenseal and ginseng production. Proceedings of the 4th Annual herb Business Getaway Conference, January 28-31 1999, Palm Coast, Florida, pp.75-80. Herb Growing and Marketing Network, Silver spring, PA, USA

Davis JM and Bir RE (1998) Medicinal plants with a potential niche market for propagators. Combined Proceedings of the International Plant Propagator Society 1997, 47:pp. 39-41. Seattle, WA

Dionne JY (2004) Produits forestiers non ligneux et nutraceutiques / suppléments alimentaires. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux 2004, pp 23-27 ITA campus La Pocatière, La Pocatière, Canada

Dupras I (2004) Besoins et demandes de l'industrie horticole et ornementale. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux 2004, pp. 29-32. ITA campus La Pocatière, La Pocatière, Canada

Einbond LS, Shimizu M, Xiao DH, Nuntanakorn P, Lim JTE, Suzui M, Seter C, Pertel T, Kennely EJ, Kronenberg F, *et al.* (2004) Growth inhibitory activity of extracts and purified component of black cohosh on human breast cancer cells. *Breast Cancer Research and Treatment* 83: 221-231

Fleurbec (1993) Fougères, prêles et lycopodes; Guide d'identification. Fleurbec éditeur, Saint-Henri-de-Lévis, Canada, 511 pp

Konsler TR and Shelton JE (1990) Lime and phosphorus effects on American ginseng: I. Growth, soil fertility, and root tissue nutrient status response. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 570-574

Lafond R, Cauchon C and Ducruc JP (1992) Pédologie forestière. Éditeur Modulo, Mont-Royal, Canada

Lamoureux G (2002) Flore printanière, Guide d'identification. Fleurbec éditeur, Saint-Henri-de-Lévis, Canada, 575 pp

Lamoureux G and Nantel P (1999) Cultiver des plantes sauvages sans leur nuire. Fleurbec éditeur, Saint-Henri-de-Lévis, Canada, 80 pp

Lapointe L (2004) Mise au point de méthodes de propagation et de culture de plantes de sous-bois présentant un intérêt commercial. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux. ITA campus La Pocatière, La Pocatière, Canada, pp 67-71

Marie-Victorin F (1995) Flore Laurentienne 3^e édition. Les presses de l'Université de Montréal, Montréal, Canada, 925 pp

Marino PC, Eisenberg RM and Cornell HV (1997) Influence of sunlight and soil nutrients on clonal growth and sexual reproduction of the understory perennial herb *Sanguinaria canadensis* L.. Journal of the Torrey Botanical Society 124: 219-227

Messier C, Parent S and Bergeron Y (1998) Effects of Overstory and Understory Vegetation On the Understory Light Environment in Mixed Boreal Forests. Journal of Vegetation Science 9: 511-520

Nadeau I, Olivier A, Simard RR, Coulombe J and Yelle S (1999) Growing American ginseng in maple forests as an alternative landuse system in Quebec, Canada. Agroforestry Systems 44: 345-353

Nantel P (2004) Espèces récoltées, espèces menacées? Exemples, modèles et leçons. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux 2004, pp 45-46. ITA campus La Pocatière, La Pocatière, Canada

Nault A, Gagnon D, White D and Argus G (1998) Conservation of ginseng in Ontario. Report 1997/1998. East Science Unit, Ministry of Natural Resources, Toronto, Canada

Nault A, Nadeau I and Gagnon D (2001) Le ginseng à cinq folioles. Culture en boisé et conservation des populations naturelles. Biodôme de Montréal, Division de la recherche, Montreal, Canada

Quimet R and Camire C (1995) Fertilisation. L'érable à sucre, caractéristiques, écologie et aménagement. Ministère des ressources naturelles du Québec, Québec, Canada, pp 369-394

Pearson W S (1995) American Ginseng farming in its native woodland habitat. In Bailey WG et al. (eds) The Challenges of the 21st Century, Proceedings of the International Ginseng conference 1994, pp 78-83. Simon Fraser University, Vancouver, Canada

Prange RK (1980) Response of the ostrich fern, *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro, to lime, soil moisture and irradiance. Nova Scotia Institute of Science, Truro, Canada

Quigley MF and Mulhall S (2002) Effects of variable shading in a greenhouse study on rhizome weight, root length, and bud proliferation in goldenseal. HortTechnology 12: 717-720

Routhier MC and Lapointe L (2002) Impact of tree leaf phenology on growth rates and reproduction in the spring flowering species *Trillium erectum* (Liliaceae). *American Journal of Botany* 89: 500-505

Roy G, Gagnon G and Ménard M (1990) Les facteurs environnementaux explicatifs du dépérissement des érablières. In Camiré et al. (eds) *Le dépérissement des érablières, causes et solutions possibles*, pp 29-37. Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval, Sainte-Foy, Canada

Schneider A (1999) *Plantes sauvages médicinales: les reconnaître, les cueillir, les utiliser*. Les éditions de l'homme, Montréal, Canada

Simard RR, Angers DA and Lapierre, C (1994) Soil organic matter quality as influenced by tillage, lime and phosphorus. *Biology and Fertility of Soils* 18: 13-18

Small E and Catling PM (2000) *Les cultures médicinales canadiennes*. Les presses scientifiques du CNRC, Ottawa, Canada, 281 pp

Tremblay NO and Larocque GR (2001) Seasonal dynamics of understory vegetation in four eastern Canadian forest types. *International Journal of Plant Sciences* 162: 271-286

Warncke DD (1986) Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hortscience* 21: 223-225

Whigham DF (2004) Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forests. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35: 583-621

White J W (1988) Ecological study and status report on American ginseng, *Panax quinquefolium* L.: A threatened species in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada (COSEWIC), Ottawa, Canada

Table 1 Study species and origin of the cuttings or seedlings

Species	Type of vegetal material used	Cuttings length	Plantation depth	Cuttings origin
<i>Actaea racemosa</i>	Rhizome's cuttings	2-3 cm	2 cm	Bought from "Les Fraises de l'Île"
<i>Adiantum pedatum</i>	Rhizome's cuttings	5-10 cm	2 cm	Harvested in Bromont
<i>Asarum canadense</i>	Rhizome's cuttings	7-10 cm	2 cm	Harvested in Stanstead
<i>Caulophyllum thalictroides</i>	Rhizome's cuttings	3-5 cm + terminal bud	2-3cm	Harvested in Stanstead
<i>Matteuccia struthiopteris</i>	Rhizome's cuttings	5-10 cm	3-5 cm	Harvested in Lennoxville
<i>Sanguinaria canadensis</i>	Rhizome's cuttings	5-10 cm	2 cm	Bought from "Les Fraises de l'Île"
<i>Trillium grandiflorum</i>	Seedling at juvenil 1 status *	Not applicable	2 cm	Bought from Horticulture Indigo

*Life cycle of *Trillium* sp. (Lamoureux, 2002)

Table 2 Dependant variables measured in the study

Species	Emergence (%)	Mortality (%)	Organ mass	Number of Organs
<i>Actaea racemosa</i>	no	yes	yes	No
<i>Adiantum pedatum</i>	yes	no	no	No
<i>Asarum canadense</i>	yes	yes	yes	Yes
<i>Caulophyllum thalictroides</i>	yes	no	yes	No
<i>Matteuccia struthiopteris</i>	yes	no	yes	Yes
<i>Sanguinaria canadensis</i>	no	no	yes	Yes
<i>Trillium grandiflorum</i>	yes	no	no	No

Table 3 Results (Means \pm 95 % confidence interval) for *Actaea racemosa*, for each of the studied dependant variables, according to pH treatments and light treatments. The values in bold are statistically significant at $\alpha = 5$ %.

Actaea		Growth (g)	RGR (g / day)	Rhizome mass (g)	Root mass (g)	Emergence time (day)
pH	4	-4.584 \pm 1.505	-0.0148 \pm 0.0065	0.896 \pm 0.457	0.028 \pm 0.027	9.8 \pm 0.9
	5	7.007 \pm 5.369	0.0047 \pm 0.0027	1.938 \pm 0.656	1.143 \pm 0.647	9.8 \pm 0.6
	7	22.814 \pm 13.464	0.0093 \pm 0.0036	3.125 \pm 1.079	3.472 \pm 1.912	9.7 \pm 0.5
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	106.5	4.848 \pm 5.908	-0.0030 \pm 0.0072	1.545 \pm 0.613	1.132 \pm 0.707	
	134.3	6.473 \pm 8.337	0.0020 \pm 0.0061	1.600 \pm 0.705	1.336 \pm 1.361	
	353	13.841 \pm 13.229	0.0013 \pm 0.0059	2.796 \pm 1.098	1.853 \pm 1.739	

Table 4 Results (Means \pm 95 % confidence interval) for *Adiantum pedatum* specie, for each of the studied dependant variables, according to pH treatments and light treatments. The values in bold are statistically significant at $\alpha = 5 \%$.

Adiantum		Growth (g)	RGR (g / day)	Emergence time (day)
pH	4	2.352 \pm 2.314	0.0018 \pm 0.0028	18.4 \pm 5.6
	5	9.595 \pm 3.108	0.0078 \pm 0.0030	21.2 \pm 5.8
	7	13.748 \pm 6.755	0.0096 \pm 0.0033	24.6 \pm 13.1
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	106.5	5.391 \pm 3.045	0.0053 \pm 0.0031	
	134.3	7.167 \pm 4.499	0.0038 \pm 0.0037	
	353.0	11.356 \pm 4.517	0.0095 \pm 0.0025	

Table 5 Results (Means \pm 95 % confidence interval) for *Asarum canadense* for each of the studied dependant variables, according to pH treatments and light treatments. The values in bold are statistically significant at $\alpha = 5 \%$.

Asarum		Growth (g)	RGR (g / day)	Rhizome mass (g)	Root mass (g)	Buds number	Emergence time (day)
pH	4	-1.695 \pm 0.396	-0.0288 \pm 0.0112	0.091 \pm 0.050	0.005 \pm 0.007	1.0 \pm 0.0	18.9 \pm 2.1
	5	2.474 \pm 1.972	-0.0016 \pm 0.0113	0.396 \pm 0.160	0.443 \pm 0.228	3.5 \pm 1.0	19.3 \pm 1.7
	7	6.773 \pm 1.882	0.0095 \pm 0.0069	0.665 \pm 0.103	0.997 \pm 0.237	5.3 \pm 0.8	20.8 \pm 1.2
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	106.5	2.316 \pm 2.065	-0.0046 \pm 0.0123	0.349 \pm 0.120	0.349 \pm 0.120	3.6 \pm 1.1	
	134.3	2.618 \pm 2.186	-0.0051 \pm 0.0129	0.426 \pm 0.165	0.426 \pm 0.165	3.3 \pm 1.2	
	353.0	5.737 \pm 3.128	0.0016 \pm 0.0114	0.570 \pm 0.207	0.570 \pm 0.207	4.5 \pm 1.3	

Table 6 Results (Means \pm 95 % confidence interval) for *Caulophyllum thalictroides*, for each of the studied dependant variables, according to pH treatments and light treatments. The values in bold are statistically significant at $\alpha = 5 \%$.

<i>Caulophyllum</i>		Growth (g)	RGR (g / day)	Rhizome mass (g)	Root mass (g)	Emergence time (day)
pH	4	-0.122 \pm 1.496	-0.0015 \pm 0.0020	1.921 \pm 0.337	0.161 \pm 0.124	25.1 \pm 2.8
	5	1.415 \pm 1.140	0.0011 \pm 0.0018	1.347 \pm 0.315	0.414 \pm 0.200	17.7 \pm 2.6
	7	-0.119 \pm 0.706	-0.007 \pm 0.0021	1.018 \pm 0.202	0.096 \pm 0.037	20.9 \pm 3.2
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	106.5	-0.235 \pm 0.827	-0.0009 \pm 0.0021	1.129 \pm 0.235	0.157 \pm 0.102	
	134.3	0.444 \pm 0.946	-0.0006 \pm 0.0015	1.033 \pm 0.317	0.225 \pm 0.156	
	353.0	1.186 \pm 1.355	0.0007 \pm 0.0023	1.743 \pm 0.368	0.318 \pm 0.195	

Table 7 Results (Means \pm 95 % confidence interval) for *Matteuccia struthiopteris*, for each of the studied dependant variables, according to pH treatments and light treatments. The values in bold are statistically significant at $\alpha = 5 \%$.

<i>Matteuccia</i>		Growth (g)	RGR (g / day)	Rhizome mass (g)	Root mass (g)	New rhizome number	Number of leaves	Emergence time (day)
pH	4	11.648 \pm 4.735	0.0157 \pm 0.0038	0.820 \pm 0.354	1.354 \pm 0.517	2.6 \pm 0.9	7.0 \pm 2.5	109.9 \pm 11.8
	5	24.939 \pm 8.169	0.0199 \pm 0.0041	2.628 \pm 0.869	2.252 \pm 0.728	5.2 \pm 1.1	9.6 \pm 3.2	97.8 \pm 6.0
	7	16.969 \pm 8.625	0.0203 \pm 0.0036	1.664 \pm 1.026	1.391 \pm 0.574	3.5 \pm 1.3	10.0 \pm 2.3	120.6 \pm 7.7
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	106.5	7.368 \pm 3.056	0.0124 \pm 0.0025	0.713 \pm 0.310	0.726 \pm 0.246	2.7 \pm 0.8	6.1 \pm 1.7	
	134.3	15.496 \pm 5.404	0.0190 \pm 0.0007	1.517 \pm 0.618	1.529 \pm 0.468	4.3 \pm 1.2	8.8 \pm 3.0	
	353.0	31.561 \pm 9.469	0.0246 \pm 0.0034	3.131 \pm 1.158	2.826 \pm 0.772	4.6 \pm 1.5	12.0 \pm 2.9	

Table 8 Results (Means \pm 95 % confidence interval) for *Sanguinaria canadensis*, for each of the studied dependant variables, according to pH treatments and light treatments. The values in bold are statistically significant at $\alpha = 5$ %.

Sanguinaria		Croissance (g)	RGR (g / day)	Rhizome mass (g)	Root mass (g)	Buds number	Emergence time (day)
pH	4	9.240 \pm 1.749	0.0662 \pm 0.0114	2.683 \pm 0.396	0.408 \pm 0.075	4.6 \pm 0.8	12.4 \pm 1.2
	5	11.200 \pm 1.480	0.0941 \pm 0.0113	3.008 \pm 0.372	0.486 \pm 0.077	5.0 \pm 0.6	11.8 \pm 1.3
	7	7.838 \pm 1.227	0.0646 \pm 0.0090	2.365 \pm 0.294	0.466 \pm 0.077	5.1 \pm 0.5	11.7 \pm 1.0
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	106.5	8.569 \pm 1.302	0.0619 \pm 0.0091	2.434 \pm 0.284	0.456 \pm 0.066	4.6 \pm 0.5	
	134.3	9.478 \pm 1.756	0.0723 \pm 0.0127	2.700 \pm 0.417	0.471 \pm 0.082	5.0 \pm 0.7	
	353.0	10.381 \pm 1.728	0.0910 \pm 0.0111	2.959 \pm 0.392	0.433 \pm 0.085	5.1 \pm 0.8	

Table 9 Results (Means \pm 95 % confidence interval) for *Trillium grandiflorum*, for each of the studied dependant variables, according to pH treatments and light treatments. The values in bold are statistically significant at $\alpha = 5 \%$.

<i>Trillium</i>		Growth (g)	RGR (g / day)	Emergence time (day)
pH	4	-0.009 \pm 0.022	-0.0043 \pm 0.0050	25.4 \pm 3.8
	5	0.063 \pm 0.037	0.0040 \pm 0.0033	21.9 \pm 4.6
	7	0.016 \pm 0.064	-0.0043 \pm 0.0054	22.5 \pm 6.0
Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	106.5	0.012 \pm 0.022	-0.0005 \pm 0.0035	
	134.3	0.006 \pm 0.027	-0.0025 \pm 0.0044	
	353.0	0.057 \pm 0.058	0.0002 \pm 0.0063	

Figure caption.

Figure 1 Growth (in grams, except for *Trillium* that was multiplied by a factor of 100) of 7 studied species (AC : *Actaea* / AD : *Adiantum* / AS : *Asarum* / CA : *Caulophyllum* / MA : *Matteuccia* / SA : *Sanguinaria* / TR : *Trillium*) according to all three pH treatments: pH4 (■), pH 5 (▲) et pH 7 (●). (confidence interval: 95 %)

Figure 2 Growth (in grams, except for *Trillium* that is multiplied by a factor of 100) of 7 studied species (AC : *Actaea* / AD : *Adiantum* / AS : *Asarum* / CA : *Caulophyllum* / MA : *Matteuccia* / SA : *Sanguinaria* / TR : *Trillium*) according to three light treatment: 106,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of incidental light (■), 134,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of incidental light (▲) et 353.0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of incidental light (●). (confidence interval: 95 %)

Figure 1

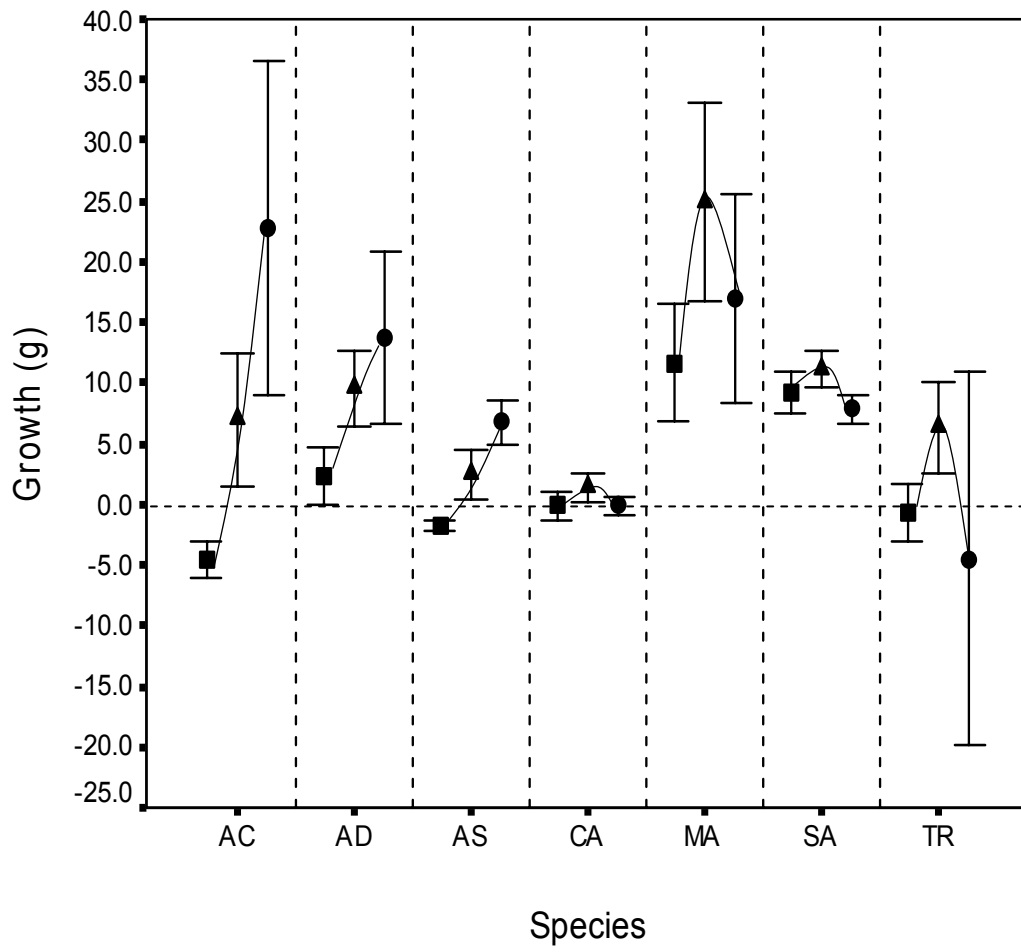
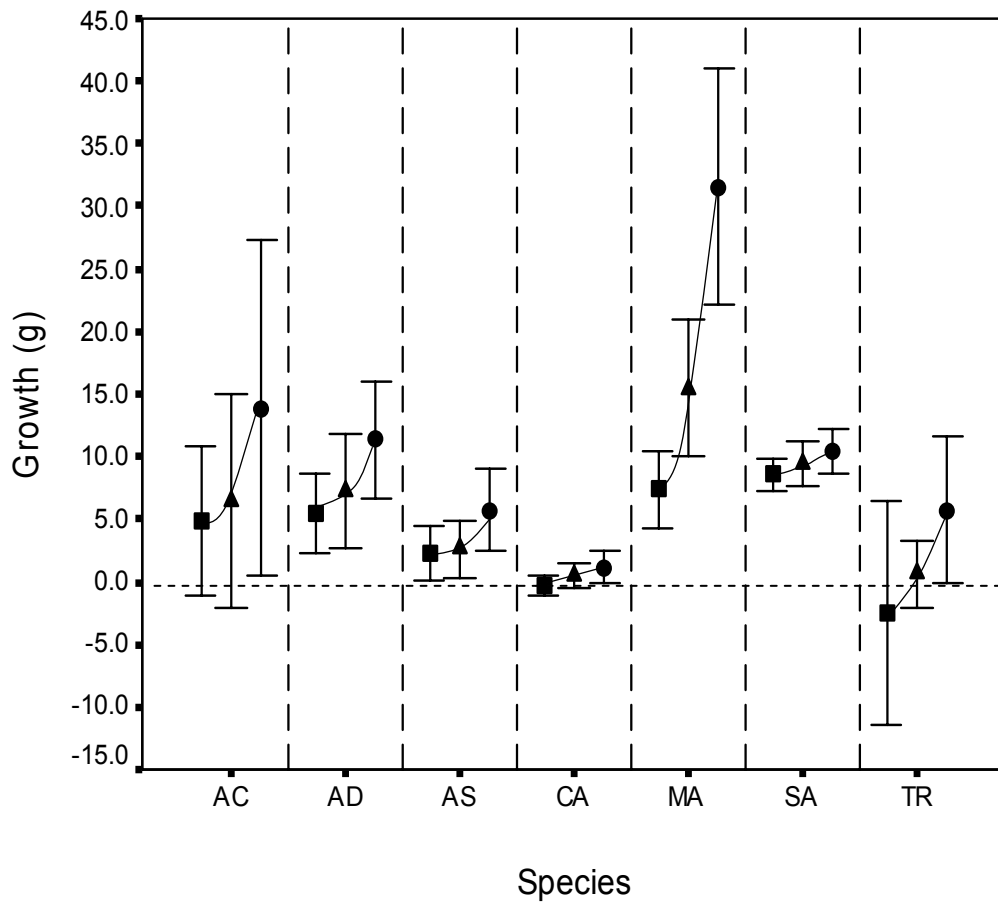


Figure 2



CONCLUSION

L'utilisation de plusieurs espèces de plantes forestières à croissance lente est devenue courante dans l'industrie des plantes médicinales, dans l'industrie horticole et même dans l'industrie alimentaire (Lamoureux et Nantel, 1999; Small et Catling, 2000). Bien que ces espèces soient largement utilisées ou vendues, elle ne sont pas cultivées ou le sont trop peu (Lamoureux et Nantel, 1999). C'est donc dire que les plants utilisés sont abondamment cueillis au sein des populations naturelles. Comme cette cueillette concerne principalement les plus gros individus, les populations naturelles de ces espèces pourraient :

Être dépourvues rapidement des individus avec les meilleurs taux de croissance et la meilleure génétique. Il en résulterait ainsi un appauvrissement génétique des populations et une éventuelle dégénérescence. Ce phénomène est le même que l'on observe dans le cas de la chasse au trophée chez plusieurs espèces de gros mammifères (Coltman *et al.*, 2003).

Disparaître, car on sait que l'état reproducteur chez ces espèces est directement relié à la taille des individus (Goyer, 2004).

La survie des populations naturelles de ces espèces étant menacée par la destruction de leurs habitats et, comme nous venons de le voir, par une cueillette commerciale intensive, la protection de ces espèces devenait nécessaire. C'est pour cela que plusieurs espèces forestières à croissance lente ont été ajoutées à la liste des plantes menacées ou vulnérables du Québec en 2004 (Gouvernement du Québec, 2004). Cette mesure, bien qu'elle protège légalement ces espèces, n'assure pas l'approvisionnement des industries qui s'y intéressaient et, par le fait même, laisse place à une cueillette intensive illégale. La culture de ces

plantes en système agroforestier peut devenir une solution à ce problème d'approvisionnement et une alternative à la destruction des populations sauvages de ces plantes forestières par la cueillette commerciale (Lapointe, 2004). La culture agroforestière de toutes les plantes sciaphytes indigènes n'est pas encore possible, car il est d'abord nécessaire de mieux connaître la biologie des espèces et de développer des techniques culturales appropriées.

Le projet de recherche financé par le Conseil des recherches en pêche et en agroalimentaire du Québec (CORPAQ), au sein duquel s'insère cette étude, vise la production agroforestière de plusieurs espèces forestières à croissance lente. Afin de mieux comprendre la biologie des espèces sélectionnées et de développer des techniques de propagation et de culture adaptées à ces espèces, il nous faut plusieurs informations complémentaires. Certaines de ces informations viennent des sous-projets déjà complétés par notre groupe de recherche : (i) étude de l'écologie de la reproduction chez les populations naturelles (Goyer, 2004); (ii) étude phytosociologique de la végétation de sept espèces (Pradieu, 2004); (iii) étude de propagation de ces espèces, par bouturage et par germination (Nivot, 2005; Leclerc, 2005). Ce mémoire contribue à la mise en place des techniques de base pour éventuellement propager et cultiver ces espèces en décrivant l'effet du pH du sol et de la lumière incidente sur la survie et la croissance des organes.

L'étude de l'effet du pH du sol et de la lumière incidente sur la survie et la croissance des organes souterrains d'*Actaea racemosa* (L.) Nutt., d'*Adiantum pedatum* L., d'*Asarum canadense* L., de *Caulophyllum thalictroides* (L.) Michx., de *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro, de *Sanguinaria canadensis* L. et de *Trillium grandiflorum*. (Michx.) Salisb. devrait permettre de mieux choisir les sites de culture ou les meilleures espèces à cultiver pour un site donné. Après nos expériences, il semble

clair que les espèces étudiées qui proviennent de milieux riches pourront difficilement être cultivées dans des forêts dont le sol est acide (+ ou – pH 4) ; des pH plus élevés (pH 5, pH 7) semblent plus appropriés à la culture de ces espèces. Il sera important de vérifier ces conclusions sur le terrain. Si cette conclusion se tient, la culture de ces espèces dans des forêts initialement plus acides exigera donc un chaulage du sol forestier pour en augmenter le pH. En ce qui a trait à la lumière, toutes les espèces étudiées ici semblent pouvoir pousser sous de faibles intensités lumineuses. Il semble toutefois que trois de ces espèces (*Adiantum pedatum*, *Asarum canadense* et *Matteuccia struthiopteris*) pourraient avoir un taux de croissance supérieur si elles étaient exposées à des intensités lumineuses plus fortes que celles utilisées dans cette expérience.

Quelles sont les prochaines étapes? D'abord, il est probable que l'humidité du sol joue un rôle dans la croissance de ces espèces; il sera utile d'inclure cette variable en plus du pH et de la lumière dans les études ultérieures de la survie et de la croissance. Ensuite, pour les espèces dont l'intérêt porte sur les composés secondaires, des études sont en cours afin de déterminer l'effet des différentes conditions environnementales sur leurs teneurs ainsi que la variabilité génétique de ces composés (Bouchiba, non publié¹). Des essais de culture en forêt dans différentes conditions de sol et de couvert forestier sont actuellement en cours afin de valider les résultats obtenus en serre (Naud, non publié²). Une fois ces résultats obtenus, il sera intéressant de mettre en place des essais de commercialisation afin de d'optimiser les techniques utilisées et de mieux les adapter en considérant les besoins financiers et économiques de ce genre d'agroforesterie.

¹ Souad Bouchiba, doctorat ès sciences, Université Laval, Québec, Canada

² Julie Naud, maîtrise ès sciences, Université Laval, Québec, Canada

BIBLIOGRAPHIE

Ahmad, N., Gupta, S., Husain, M. M., Heiskanen, K. M. et Mukhtar, H. (2000). Differential Antiproliferative and Apoptotic Response of Sanguinarine for Cancer Cells versus Normal Cells. *Clin. Cancer Res.* 6, 1524-1528.

Baskin, C. C. et Baskin J. M. (1985). Epicotyl Dormancy in Seed of *Cimicifuga Racemosa* and *Hepatica Acutiloba*. *J. Torr. Bot. Club* 112, 253-257.

Baskin, J. M. et Baskin, C. C. (1986). Seed-Germination Ecophysiology of the Woodland Herb *Asarum-Canadense*. *Am. Mid. Nat.* 116, 132-139.

Bennett, B. C., Bell, C. R. et Boulware, R. T. (1990). Geographic-Variation in Alkaloid Content of *Sanguinaria-Canadensis* (Papaveraceae). *RHODA* 870, 57-69.

Bergeron, M. E. et Lapointe, L. (2001). Impact of One Year Crozier Removal on Long-Term Frond Production in *Matteuccia Struthiopteris*. *Can. J. Plant Sci.* 81, 155-163.

Beyfuss, R. L. [En ligne], New York State Departement of Environmental Conservation, Division of Lands and Forests «Growing Ginseng and Goldenseal in your Forest». <http://www.dec.state.ny.us/website/df/privland/forprot/ginseng/growing.html> (Page consultée en octobre 2005).

Borrelli, F., Izzo, A. A. et Ernst, E. (2003). Pharmacological Effects of *Cimicifuga Racemosa*. *Life Sci.* 73, 1215-1229.

Cain, M. L. et Damman, H. (1997). Clonal Growth and Ramet Performance in the Woodland Herb, *Asarum Canadense*. *J. Ecol.* 85, 883-897.

Case, J.W. Jr et Case, R.B. (1997). Trilliums. (Portland; Timber Press Inc.).

Cavallito, C.J. et Bailey, J.H. (1946). Antibacterial Substances from *Asarum Canadense* L. Isolation, Physical Properties and Antibacterial Action. J. Am. Chem. Soc. 68, 489-492.

Charturvedi, M.M., Kumar, A., Darnay, B.G., Chainy Gagan, B.N., Agarwal, S. et Agarwal B. (1997). Sanguinarine (Pseudochelerythrine) is a Potent Inhibitor of NF- κ B Activation, I κ B α Phosphorylation, and Degradation. J. Biol. Chem. 272, 30129-30134.

Coltman, D.W., O'Donoghue, P., Jorgenson, J.T., Hogg, J.T., Strobeck, C. et Festa-Bianchet, M. (2003). Undesirable Evolutionary Consequences of Trophy Hunting. Nat. 426, 655-658.

Compton, J. A., Culham, A., Gibbings, J. G. et Jury, S. L. (1998). Phylogeny of *Actaea* Including *Cimicifuga* (Ranunculaceae) Inferred From rDNA Its Sequence Variation. Biochem. Syst. Ecol. 26, 185-197.

Damm, D.D., Curran, A., White, D.K. et Drummond, J.F. (1999). Leukoplakia of the Maxillary Vestibule - an Association with Viadent? Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod. 87, 61-66.

Damman, H. et Cain, M. L. (1998). Population Growth and Viability Analyses of the Clonal Woodland Herb, *Asarum Canadense*. J. Ecol. 86, 13-26.

Davis J.M. (1999). Goldenseal and ginseng production. Proceedings of the 4th Annual herb Business Getaway Conference, January 28-31, Palm Coast, Florida. Herb Growing and Marketing Network, silver spring, PA. p. 75-80.

Davis J.M. et Bir, R.E. (1998). Medicinal plants with a potential niche market for propagators. Combined Proceedings of the International Plant Propagator Society 1997, 47, 39-41. Seattle, WA.

Dionne, J.-Y. (2004). Produits forestiers non ligneux et nutraceutiques / suppléments alimentaires. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux (La Pocatière; ITA campus La Pocatière).

Dore, W.G. (1998). Two Kinds of Blue Cohosh. Ont. Nat. 2, 5-9.

Dupras, I. (2004). Besoins et demandes de l'industrie horticole et ornementale. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux (La Pocatière; ITA campus La Pocatière).

Einbond, L. S., Shimizu, M., Xiao, D. H., Nuntanakorn, P., Lim, J. T. E.; Suzui, M., Seter, C.; Pertel, T., Kennely, E. J., Kronenberg, F., *et al.* (2004). Growth Inhibitory Activity of Extracts and Purified Component of Black Cohosh on Human Breast Cancer Cells. Breast Cancer Res. and Treatm. 83, 221-231.

Fleurbec (1993). Fougères, prêles et lycopodes; Guide d'identification. (Saint-Henri-de-Lévis; Fleurbec).

Gabrielson, F.C. (1964). A survey of the ostrich fern, *Matteuccia Struthiopteris* (L.) Todaro. Mémoire de maîtrise, University of Maine, Orono.

Gouvernement du Québec (2004) Projet de règlement E-12.01 «Loi sur les espèces menacées ou vulnérables». Gazette officielle du Québec 32, 3742-3750.

Gouvernement du Québec [En ligne], Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs. Plantes menacées ou vulnérables au Québec». <http://www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/index.html> (Page consultée le 5 octobre 2005).

Goyer, A. (2004). Étude sur la distribution des classes de taille et sur la relation entre la masse, le stade phénologique et la capacité reproductrice de cinq herbacées forestières à intérêt commercial. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke.

Hannan, G. L. et Prucher, H. A. (1996). Reproductive biology of *Caulophyllum thalictroides* (Berberidaceae), an early flowering perennial of eastern North America. *Am. Mid. Nat.* 136, 267-277.

Hill, R.H. (1976). Cold requirements of several ferns in Southeastern Michigan. *Am. Fern J.* 66, 83-88.

Jarry, H., Thelen, P., Christoffel, V., Spengler, B. et Wuttke, W. (2005). *Cimicifuga racemosa* Extract BNO 1055 Inhibits Proliferation of the Human Prostate Cancer Cell Line LNCaP. *Phytomed.* 12, 178-182.

Kelly, L. M. (2001). Taxonomy of *Asarum* section *Asarum* (Aristolochiaceae). *Syst. Bot.* 26, 17-53.

Kennely, E.J., Baggett, S., Nuntanakorn, P., Ososki, A.L., Mori, S.A., Duke, J. Coleton, M. et Kronenberg, F. (2002). Analysis of thirteen populations of black cohosh for formononetin. *Phytomed.* 9, 461-467.

Kligler, B. (2003). Black Cohosh. *Am. Fam. Phys.* 68, 114-116.

Konsler, T.R. et Shelton, J.E. (1990). Lime and Phosphorus Effects on American Ginseng: I. Growth, Soil Fertility, and Root Tissue Nutrient Status Response. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115, 570-574.

Lafond, R., Cauchon, C. et Ducruc, J.P. (1992). Pédologie forestière. (Mont-Royal; Éditeur Modulo).

Lamoureux, G. (2002). Flore printanière, Guide d'identification. (Saint-Henri-de-Lévis; Fleurbec éditeur).

Lamoureux, G. et Nantel, P. (1999) Cultiver des plantes sauvages sans leur nuire. (Saint-Henri-de-Lévis; Fleurbec éditeur).

Lapointe, L. (2004). Mise au point de méthodes de propagation et de culture de plantes de sous-bois présentant un intérêt commercial. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux (La Pocatière; ITA campus La Pocatière).

Leclerc, M.E. (2005). L'effet de phytohormones sur la multiplication végétative de la matteuccie fougère-à-autruche. Essai de maîtrise, Université Laval, Québec.

Le Gal, G. (2004). Besoins et demande de l'industrie alimentaire en plantes forestières non ligneuse. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux. (La Pocatière; ITA campus La Pocatière).

Lobstein, M.L. et Rockwood, L.L. (1993). Influence of elaiosome removal on germination in five ant-dispersed plant species. *Virg. J. Sci.* 44, 59-72.

Lolock, R.A. (1995). *Asarum*: Canada Snakeroot. *Can. Pharm. J.* 128, 33-35.

Lyon, D. (1992). Bee pollination of facultatively xenogamous *Sanguinaria canadensis* L. *Bull. Torr. Bot. Club* 119, 368-375.

Marie-Victorin, frère (1995). Flore Laurentienne 3^e édition. (Montréal; Les presses de l'Université de Montréal).

Marino, P. C., Eisenberg, R. M. et Cornell, H. V. (1997). Influence of sunlight and soil nutrients on clonal growth and sexual reproduction of the understory perennial herb *Sanguinaria canadensis* L.. J. Torr. Bot. Soc. 124, 219-227.

McGuffin et Young, (2001). Comments of the American Herbal Products Association on the request for information and changes to the CITES appendices. American Herbal Products Association, 13 p.

Messier, C., Parent, S. et Bergeron, Y. (1998). Effects of Overstory and Understory Vegetation On the Understory Light Environment in Mixed Boreal Forests. J. Veg. Sci. 9, 511-520.

Munoz, G. H. et Pluchino, S. (2003). *Cimicifuga racemosa* for the treatment of hot flushes in women surviving breast cancer. Maturitas 44, 59-65.

Nadeau, I. et Olivier, A. (2003). Revue de la biologie et de la production du ginseng à cinq folioles (*Panax quinquefolium*) en milieu forestier au Canada. Can. J. Plante Sci. 83, 877-891.

Nadeau, I., Olivier, A., Simard, R. R., Coulombe, J. et Yelle, S. (1999). Growing American ginseng in maple forests as an alternative landuse system in Quebec, Canada. Agroforestry Systems 44, 345-353.

Nantel, P. (2004). Espèces récoltées, espèces menacées? Exemples, modèles et leçons. Acte du colloque sur les produits forestiers non ligneux (La Pocatière, ITA campus La Pocatière).

Nault, A., Gagnon, D., White, D. et Argus, G. (1998). Conservation of ginseng in Ontario Report 1997/1998. (Toronto; East Science Unit, Ministry of natural Resources).

Nault, A., Nadeau, I. et Gagnon, D. (2001). Le ginseng à cinq folioles. Culture en boisé et conservation des populations naturelle. (Montréal; Biodôme de Montréal, Division de la recherche).

Newton, S.M., Law, C., Gurcha, S.S., Besra, G.S. et Wright, C.W. (2002). The evaluation of forty-three plant species for in vitro antimycobacterial activities; isolation of active constituents from *Psoralea corylifolia* and *Sanguinaria canadensis*. *J. Ethnopharm.* 79, 57-67.

Nivot, N. (2005). Essais de germination et de bouturage de six espèces indigènes sciaphytes du Canada. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec.

Nortier, J.L., Schmeiser, H.H., Muniz Martinez M.C., Arlt, V.M., Vervaet, C., Garbar, C.H., Daelemans, P. et Vanherweghem, J.L. (2003). Case report: Invasive urothelial carcinoma after exposure to Chinese herbal medicine containing aristolochic acid may occur without severe renal failure. *Nephro. Dial. Trans.* 18, 426-428.

Ouimet, R. et Camiré, C. (1995). Fertilisation. L'érable à sucre, caractéristiques, écologie et aménagement, Ministère des ressources naturelles (Québec; Ministère des ressources naturelles), pp. 369-394.

Paris, C. A. (1991). *Adiantum-Viridimontanum*, a New Maidenhair Fern in Eastern North-America. *RHODA* 874, 105-121.

Pearson, W. S. (1995). American Ginseng farming in its native woodland habitat. Proceedings of the International Ginseng conference (Vancouver; Bailey W.G., Whitehead, C., Proctor, J. T. A., J. T., J. T. editor).

Popp, M., Schenk, R. et Abel, G. (2003). Cultivation of *Cimicifuga racemosa* (L.) Nutt. and quality of CR extract BNO 1055. *Maturitas* 44, 1-7.

Pradieu, J. (2004). Étude phytosociologique de la végétation de sept espèces herbacées à intérêt commercial dans les forêts de feuillus de la région de l'Estrie (Québec). Essai de maîtrise, Université Laval, Québec.

Prange, R. K. (1980). Response of the ostrich fern, *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro, to lime, soil moisture and irradiance. (Truro, Nova Scotia Institute of Science).

Quigley, M. F. et Mulhall, S. (2002) Effects of Variable Shading in a Greenhouse Study on Rhizome Weight, Root Length, and Bud Proliferation in Goldenseal. *HortTech*. 12, 717-720.

Rockwell, S., Liu, Y. F. et Higgins, S. A. (2005). Alteration of the effects of cancer therapy agents on breast cancer cells by the herbal medicine black cohosh. *Breast Cancer Res. Treatm* 90, 233-239.

Rooney, T. P. et Gross, K. (2003). A demographic study of deer browsing impacts on *Trillium grandiflorum*. *Plant Ecol*. 168, 267-277.

Routhier, M. C. et Lapointe, L. (2002). Impact of tree leaf phenology on growth rates and reproduction in the spring flowering species *Trillium erectum* (Liliaceae). *Am. J. Bot.* 89, 500-505.

Roy, G., Gagnon, G. et Ménard, M. (1990). Les facteurs environnementaux explicatifs du dépérissement des érablières. Le dépérissement des érablières, causes et solutions possibles, C. Camiré W. Hendershot et D. Lachance (eds) (Sainte-Foy; Université Laval), pp. 29-37.

Sakurai, N., Wu, J. H., Sashida, Y., Mimaki, Y., Nikaido, T., Koike, K., Ito, H. et Lee, K. H. (2004). Anti-AIDS agents. Part 57: Actein, an anti-HIV principle from the rhizome of *Cimicifuga racemosa* (black cohosh), and the anti-HIV activity of related saponins. *Bioorganic. Med. Chem. Lett.* *14*, 1329-1332.

Salmore, A. K. et Hunter, M. D. (2001a). Environmental and genotypic influences on isoquinoline alkaloid content in *Sanguinaria canadensis*. *J. Chem. Eco.* *27*, 1729-1747.

Salmore, A. K. et Hunter, M. D. (2001b). Elevational trends in defense chemistry, vegetation, and reproduction in *Sanguinaria canadensis*. *J. Chem. Eco.* *27*, 1713-1727.

Schaneberg, B. T., Applequist, W. L. et Khan, I. A. (2002). Determination of aristolochic acid I and II in North American species of *Asarum* and *Aristolochia*. *PHARA* *57*, 686-689.

Schemske, D.M. (1978). Sexual reproduction in an Illinois population of *Sanguinaria canadensis* L.. *Am. Mid. Nat.* *100*, 261-268.

Schneider, A. (1999). *Plantes sauvages médicinales: les reconnaître, les cueillir, les utiliser.* (Montréal; Les éditions de l'homme).

Simard, R. R., Angers, D. A. et Lapierre, C. (1994). Soil organic matter quality as influenced by tillage, lime and phosphorus. *Biol. Fert. Soils* *18*, 13-18.

Small, E. et Catling, P.M. (2000). *Les cultures médicinales canadiennes.* (Ottawa; Les presses scientifiques du CNRC).

Tremblay, N. O. et Larocque, G. R. (2001). Seasonal dynamics of understory vegetation in four eastern Canadian forest types. *International J. Plant Sci.* 162, 271-286.

Vermes, G., Banhidly, F. et Acs, N. (2005). The effects of Remifemin((R)) on subjective symptoms of menopause. *Adv. Ther.* 22, 148-154.

Von Felbert, I., Dreschel, W. et Teifke, J. P. (2005). Regression of an equine sarcoid after treatment with a compound of *Sanguinaria canadensis* - A case report. *Praktische Tierarzt* 86, 330-334.

Warncke, D.D. (1986). Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hortsci.* 21, 223-225.

Webster, C. R., Jenkins, M. A. et Rock, J. H. (2005). Long-term response of spring flora to chronic herbivory and deer exclusion in Great Smoky Mountains National Park, USA. *Biol. Conserv.* 125, 297-307.

Whigham, D. F. (2004). Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forests. *Annu. Rev. Eco., Evol. Syst.* 35, 583-621.

White, J. W. (1988). Ecological study and status report on american Ginseng, *Panax quinquefolium* L.:A threatened species in Canada. (Ottawa; Committee on the status of endangered wildlife in Canada (COSEWIC)).

Winterhoff, H., Spengler, B., Christoffel, V., Butterweck, V. et Lohning, A. (2003). Cimicifuga extract BNO 1055: reduction of hot flushes and hints on antidepressant activity. *Maturitas* 44, 51-58.