

HÉLÈNE F. PICARD

**ÉTABLISSEMENT D'ESPÈCES DE SPHAIGNES
DANS UN CONTEXTE DE PRODUCTION DE
BIOMASSE**

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en biologie végétale
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DE PHYTOLOGIE
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2010

© Hélène F. Picard, 2010

Résumé

La demande de fibres de sphaignes, particulièrement dans le domaine de l'horticulture, connaît une croissance importante. En culture, les espèces ciblées, soit celles de la section *Sphagnum*, s'établissent difficilement sur tourbe nue lorsque les conditions d'humidité sont suboptimales. Un des moyens envisagés afin d'accroître leur productivité est de prendre avantage de l'établissement rapide des sphaignes de la section *Cuspidata* sur tourbe nue. Nous avons observé, lors de conditions de sécheresse prolongées, que la vitesse d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* introduites avec *S. fallax* (section *Cuspidata*) pouvait être 2 fois plus élevée qu'en l'absence de cette dernière. Une autre hypothèse testée dans cette étude est que certaines plantes vasculaires favoriseraient entre 20 et 75 % la croissance verticale des sphaignes. Nos résultats préliminaires montrent qu'après une saison de croissance, une telle association ne semble pas favoriser la survie des fragments de sphaignes lorsque les conditions d'introduction sont déjà très humides.

Abstract

The need for fresh *Sphagnum* fiber, particularly for horticulture, is in great expansion. However, the targeted species, *Sphagnum* section species, have difficulty establishing on bare peat when growth conditions are sub-optimal. A possibility for increasing *Sphagnum* section species biomass accumulation is to take advantage of *Cuspidata* section's fast establishment rate. We observed a positive effect on *Sphagnum* section species establishment speed during prolonged dryness when they are simultaneously introduced with *S. fallax* (*Cuspidata* section). On the other hand, when growth conditions are very humid, *Sphagnum* section species establishment is negatively affected by competition interactions. Another hypothesis that is tested in this study is that certain vascular plants would increase vertical growth of sphagnum by up to 75 %. Our preliminary results show that after one growth season, this type of association does not seem to encourage *Sphagnum* diaspores survival when introduced during a very humid year.

Avant-Propos

Je tiens à remercier spécialement ma directrice de recherche Line Rochefort pour son soutien moral et financier, sa confiance, ses conseils et sa disponibilité. J'aimerais également remercier les professionnels de recherche du laboratoire d'écologie pour le partage de leur savoir : particulièrement, Josée Landry pour sa disponibilité, le temps qu'elle a consacré à relire plusieurs parties de ce mémoire, ses conseils et son aide sur le terrain, Stéphanie Boudreau pour sa très grande compréhension des statistiques et du logiciel SAS, Claire Boismenu pour sa disponibilité en tout temps lors des explications des équipements du labo, et ce, avec toujours beaucoup de gentillesse et de bonne humeur, et finalement Claudia St-Arnaud pour m'avoir initié au monde fabuleux des sphaignes.

Je voudrais aussi remercier les étudiants du labo : particulièrement Sandrine Hogue-Hugron pour son amitié, son soutien moral, sa disponibilité, son aide et ses conseils, Rémy Pouliot pour les renseignements concernant le deuxième chapitre et pour l'avoir relu et corrigé, et Tommy Landry pour son aide en serre et en statistiques. J'aimerais également remercier les assistants de terrain 2008 pour leur aide précieuse lors de l'installation des dispositifs : Maude, Audrey et Étienne.

Finalement, je remercie ma famille et mes amis pour leur support et leur encouragement tout au long de ces années. Avec toutes vos pensées positives, j'ai réussi à compléter un projet important malgré des moments difficiles.

J'aimerais également remercier Caro et André pour leur amitié inconditionnelle, leur gentillesse et leur hébergement, et Philippe pour avoir relu et corrigé l'ensemble de mon mémoire, son aide à plusieurs reprises sur le terrain et son amour et soutien malgré la distance qui nous séparait.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Avant-Propos.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	vii

INTRODUCTION GÉNÉRALE : Facteurs biotiques bénéfiques à l'établissement et la croissance des sphaignes.....

La culture de la sphaigne : une option avantageuse.....	2
Les espèces ciblées.....	6
La restauration écologique : un aperçu.....	12
Favoriser l'établissement et la croissance des sphaignes des sections <i>Sphagnum</i> et <i>Acutifolia</i>	13
Amélioration des conditions de croissance.....	13
Conditionnement du substrat de croissance.....	15
Structuration du microenvironnement des sphaignes.....	20
Objectifs de l'étude.....	23
Références citées.....	25

CHAPITRE 1 : Effet d'un conditionnement du substrat de croissance sur l'établissement et la croissance de sphaignes de la section *Sphagnum*.....

1.1. Résumé.....	33
1.2. Introduction.....	34
1.3. Matériels et méthodes.....	38
1.3.1. Volet en serre.....	38
1.3.1.1. Dispositif expérimental et description des traitements.....	38
1.3.1.2. Application des traitements.....	39
1.3.1.3. Conditions de croissance.....	42
1.3.1.4. Variables mesurées.....	43
1.3.2. Volet sur le terrain.....	44
1.3.2.1. Site de l'étude.....	44
1.3.2.2. Dispositif expérimental et description des traitements.....	46
1.3.2.3. Application des traitements.....	46
1.3.2.4. Variables mesurées.....	50
1.3.3. Conditions expérimentales de croissance.....	50
1.3.4. Analyses statistiques.....	52
1.4. Résultats.....	53
1.4.1. Volet en serre.....	53
1.4.1.1. Établissement des sphaignes de la section <i>Sphagnum</i>	53
1.4.1.2. Élongation des tiges de sphaignes après six mois de croissance.....	57
1.4.1.3. Biomasse végétale.....	60
1.4.2. Volet sur le terrain.....	63
1.4.2.1. Établissement des sphaignes de la section <i>Sphagnum</i>	63

1.5. Discussion.....	65
1.5.1. Succès d'établissement des sphaignes de la section <i>Sphagnum</i>	65
1.5.2. Élongation.....	69
1.5.3. Biomasse végétale.....	70
1.6. Conclusions.....	72
1.7. Références citées.....	74
CHAPITRE 2 : Structuration biotique du microenvironnement de sphaignes des sections	
<i>Acutifolia</i> et <i>Sphagnum</i> dans un contexte de production de biomasse	78
2.1. Résumé.....	79
2.2. Introduction.....	80
2.3. Matériels et méthodes	83
2.3.1. Site de l'étude	83
2.3.2. Dispositif expérimental et description des traitements	86
2.3.3. Application des traitements	86
2.3.4. Variables mesurées	89
2.3.4.1. Succès d'établissement	89
2.3.5. Conditions expérimentales de croissance	89
2.3.6. Analyses statistiques	90
2.4. Résultats.....	91
2.4.1. Succès d'établissement	91
2.4.1.1. Section <i>Sphagnum</i>	91
2.4.2. Survie des arbustes de <i>Chamaedaphne calyculata</i>	93
2.5. Discussion	94
2.5.1. Effet des structures sur le succès d'établissement des sphaignes	94
2.5.2. Succès d'établissement des différents mélanges de sphaignes	94
2.5.3. Autres effets des structures sur les sphaignes.....	96
2.5.4. Survie des arbustes de <i>Chamaedaphne calyculata</i>	97
2.6. Conclusions.....	98
2.7. Références citées.....	100
CONCLUSION	104
Références citées dans la conclusion.....	107
Annexe A : Tableaux d'ANOVA	108
Annexe B : Conditions physico-chimiques	114

Liste des tableaux

INTRODUCTION GÉNÉRALE : *Expérimentation avec des facteurs biotiques afin de favoriser l'établissement et la croissance des sphaignes*

Tableau 1. Classement en section des espèces de sphaignes à l'étude.....9

Liste des figures

INTRODUCTION GÉNÉRALE : Expérimentation avec des facteurs biotiques afin de favoriser l'établissement et la croissance des sphaignes

Figure 1. Tourbière de Shippagan, au Nouveau-Brunswick.....	4
Figure 2. Tourbière de Shippagan. Exemple d'une ancienne tranchée de récolte spontanément recolonisée.	5
Figure 3. Feuilles de <i>Sphagnum papillosum</i> (section <i>Sphagnum</i>).	8
Figure 4. <i>Sphagnum rubellum</i> (section <i>Acutifolia</i>).	10
Figure 5. <i>Sphagnum fuscum</i> (section <i>Acutifolia</i>).	11
Figure 6. Différence dans la croissance des fragments de deux espèces de sphaigne. <i>S. magellanicum</i> vs <i>S. fallax</i>	17

CHAPITRE 1 : Effet d'un conditionnement du substrat de croissance sur l'établissement et la croissance de sphaignes de la section *Sphagnum*

Figure 1. Exemples de sous-parcelles lors de l'application des espèces de la section <i>Sphagnum</i>	40
Figure 2. Sous-parcelle conditionnée avec <i>S. fallax</i> avec introduction simultanée de diaspores de <i>S. magellanicum</i>	41
Figure 3. Localisation du site expérimental à Shippagan (Nouveau-Brunswick).	45
Figure 4. Volet terrain. Exemple d'un bloc expérimental.	48
Figure 5. Volet terrain : introduction des espèces de la section <i>Sphagnum</i>	49
Figure 6. Effet des conditionnements du substrat de croissance sur la vitesse d'établissement des sphaignes de la section <i>Sphagnum</i> sur une période de 24 semaines en serre.	55
Figure 7. Effet des conditionnements sur le succès d'établissement des sphaignes de la section <i>Sphagnum</i> après 24 semaines de croissance en serre.	56
Figure 8. Élongations des sphaignes de la section <i>Sphagnum</i> selon les effets des différents conditionnements après 24 semaines de croissance en serre.....	58

Figure 9. Mesures de l'élongation des tiges de sphaignes : exemple de tiges de <i>S. magellanicum</i> introduites simultanément avec <i>S. fallax</i> et exemple de tiges de <i>S. magellanicum</i> introduites sur tourbe nue.....	59
Figure 10. Effets des différents conditionnements sur l'accumulation de biomasse sèche des sphaignes de la section <i>Sphagnum</i> après six mois de croissance en serre.....	61
Figure 11. Effets des conditionnements sur la biomasse finale sèche de toutes les espèces végétales après huit mois (FAL et autres) et six mois (section <i>Sphagnum</i>) de croissance : a) <i>S. magellanicum</i> , b) <i>S. papillosum</i>	62
Figure 12. Effets des conditionnements sur le succès d'établissement des espèces de la section <i>Sphagnum</i> après quatre mois de croissance sur le terrain.	64
 <u>CHAPITRE 2 : Structuration biotique du microenvironnement de sphaignes des sections <i>Acutifolia</i> et <i>Sphagnum</i> dans un contexte de production de biomasse</u>	
Figure 1. Emplacement des blocs expérimentaux dans la tourbière de Shippagan, au Nouveau-Brunswick.	84
Figure 2. Bloc expérimental dans une des tranchées de la section 1.	85
Figure 3. Disposition de 18 piquets de bois recouvrant une superficie de 0,31 m ² au centre d'une unité expérimentale.....	88
Figure 4. Bloc expérimental comportant 16 unités après introduction des structures et des sphaignes, puis recouvrement des fragments à l'aide d'un paillis de paille et d'un filet.....	88
Figure 5. Succès d'établissement de différents mélanges mono ou pluri-spécifiques de sphaignes après structuration de leur microenvironnement.....	92

INTRODUCTION GÉNÉRALE

**FACTEURS BIOTIQUES BÉNÉFIQUES À
L'ÉTABLISSEMENT ET LA CROISSANCE DES
SPHAIGNES**

LA CULTURE DE LA SPHAIGNE : UNE OPTION AVANTAGEUSE

Le marché de la mousse florale à base de fibres de sphaignes est en pleine expansion. Généralement, les fibres de sphaignes ciblées pour la vente ou la transformation sont récoltées dans des tourbières naturelles selon différentes méthodes et échelles de grandeur. Toutefois, dans certaines régions du monde, notamment dans le sud du Canada (Canards Illimités Canada 2009) et en Europe centrale (Gaudig et Joosten 2002), de telles tourbières non perturbées se font de plus en plus rares. Il serait intéressant, afin de diminuer les pressions sur la flore des tourbières naturelles, de se tourner, par exemple, vers une autre source d'approvisionnement de fibres de sphaignes. C'est dans cette perspective que plusieurs chercheurs du monde entier (Allemagne : Joosten 1998; 2000; Gaudig et Joosten 2002; Canada : Campeau et Rochefort 2002; Chili : Diaz, Shippagan 2007, comm. pers.; Corée du Sud : Kim 2008) se sont intéressés à la culture de la sphaigne.

En 2003, le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) et ses partenaires de l'industrie de la tourbe mettaient sur pied une station expérimentale de culture de sphaigne à Shippagan, au Nouveau-Brunswick. Le site choisi, une tourbière ombrotrophe abandonnée à la suite de la récolte de tourbe par blocs, comporte des caractéristiques intéressantes pour l'établissement d'une telle culture. La récolte par blocs (*block-cut*), effectuée entre les années 1940 et 1970 dans cette tourbière, consistait à enlever manuellement des blocs de tourbe de manière à former de longues tranchées parallèles continues (Crum 1988). Les blocs étaient par la suite déposés sur les terre-pleins adjacents afin de leur permettre de sécher par l'action du soleil et du vent. Une alternance de terre-pleins et de tranchées s'est ainsi façonnée au fil de ces activités (Figure 1). Aujourd'hui, cette nouvelle topographie est idéale pour favoriser une croissance rapide de la sphaigne sans modification intensive du terrain. En effet, l'étude de Robert *et al.* (1999) a permis de noter que les conditions hydrologiques et chimiques qui prévalent dans les anciennes tranchées de récolte par blocs de cette tourbière favorisent une recolonisation naturelle et une croissance spontanée des sphaignes (Figure 2). Ces tranchées, dont l'action est semblable à celle de bassins artificiels (Price *et al.* 2002), créent un microclimat plus humide en

retenant l'eau de surface à l'intérieur et en diminuant les pertes d'humidité. Elles procurent donc une protection contre l'assèchement de la surface et favorisent l'établissement et la survie des sphaignes (Robert *et al.* 1999). Ce phénomène a également été observé dans d'autres tourbières abandonnées à la suite de l'extraction de tourbe par blocs (Lavoie et Rochefort 1996; Price et Whitehead 2001; Poulin *et al.* 2005).



Figure 1. Tourbière de Shippagan, au Nouveau-Brunswick. La partie récoltée par la méthode par blocs est délimitée par le polygone orange (alternance de terre-pleins en brun et de tranchées en vert). La station expérimentale de culture de sphaigne se situe à l'intérieur des deux rectangles ombragés.



Figure 2. Tourbière de Shippagan. Exemple d'une ancienne tranchée de récolte spontanément recolonisée par une végétation typique des tourbières ombrotrophes, notamment par les sphaignes et les éricacées.

L'objectif de la culture de sphaigne est de produire rapidement, sur une base renouvelable, de la fibre de sphaignes de qualité (Campeau et al. 2004a; Miousse 2005) pour la restauration (Campeau et Rochefort 2002; Miousse 2005), pour l'incorporation aux substrats de croissance en horticulture (Gaudig et Joosten 2002; Jobin et al. 2005) ou tout autre produit demandant une bonne porosité (mousse florale, carton absorbant, tapis nettoyant pour les déversements pétroliers, matériel pour le transport de plantes vivantes, etc.; Rochefort 2000). Par exemple, Jobin et al. (2005) ont montré que les fibres de sphaignes peuvent partiellement ou complètement remplacer la perlite dans les substrats de tourbes blondes. En d'autres mots, l'ajout de fibres fraîches et peu décomposées permet d'améliorer la qualité des substrats de tourbe. La culture de sphaigne serait également une option très intéressante pour les pays européens où les tourbières naturelles sont relativement rares ou protégées limitant ainsi l'accès au matériel végétal nécessaire pour une restauration écologique des tourbières dégradées.

Les espèces ciblées

Quelles espèces de sphaignes se prêtent le mieux à ce type de culture ? Quelles sont les espèces de sphaigne recherchées par l'industrie pour les besoins de l'horticulture ou de la restauration écologique ?

La section taxonomique *Sphagnum*

La subdivision des espèces du genre *Sphagnum* en section provient du fait que ces dernières possèdent un très grand nombre de caractères en commun. Par exemple, la présence de fibrilles hélicoïdales dans le cortex de la tige et des rameaux constitue le caractère fondamental des espèces de la section *Sphagnum* (Ayotte 2008).

Le choix de l'espèce de sphaigne à privilégier dépend de l'utilisation future de la fibre de sphaigne. Une option d'utilisation des fibres de sphaigne est l'incorporation dans la composition de nouveaux substrats de croissance ou tout autre produit demandant une bonne porosité (utilisation horticole). Ainsi, le type de sphaignes recherché devrait donc posséder idéalement de grosses fibres. *Sphagnum papillosum*

Lindb. (Figure 3) et particulièrement *Sphagnum magellanicum* Brid. sont reconnues pour leurs propriétés intéressantes de porosité et absorption/rétention des liquides dans la fabrication commerciale de produit absorbant à partir de fibres de sphaignes fraîches (Malcolm 1996). Certaines caractéristiques telles que la grosseur et la distribution de leurs pores leur permettraient d'avoir une bonne absorption et rétention (Malcolm 1996; Figure 3). Elles possèdent ainsi les meilleures propriétés pour les besoins de l'industrie horticole (Uosukainen et Lötjönen 1997 cité dans Joosten 1998) De plus, ces espèces en régénération obtiennent les taux d'accumulation les plus élevés à court terme dans les petites fosses de récolte de tourbe en Allemagne et aux Pays-Bas (cf. Joosten 1995).



Figure 3a (Photo : Gilles Ayotte)

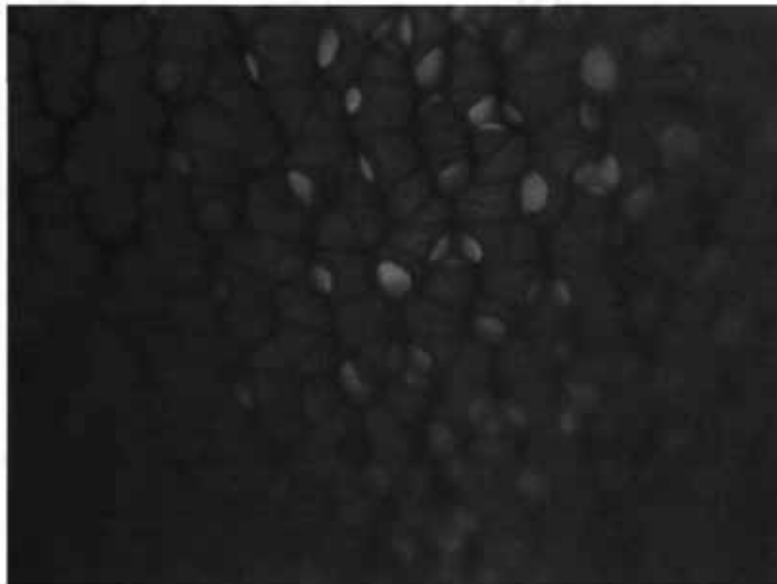


Figure 3b (Photo : Gilles Ayotte)

Figure 3. Feuilles de *Sphagnum papillosum* (section *Sphagnum*). 3a : Feuilles raméale (forme cucullée) et caulinaire; 3b : Agrandissement de la face convexe d'une feuille raméale avec présence de pores - approximativement 16 μm de diamètre (Malcolm 1996).

La section taxonomique *Acutifolia*

Dans un contexte de culture de sphaigne, outre le choix d'espèces possédant des caractéristiques intéressantes d'absorption/rétention des liquides, la rapidité d'établissement pourrait s'avérer un choix judicieux pour les besoins de la restauration écologique. *Sphagnum rubellum* Wils. (Figure 4) et *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. (Figure 5) possèdent un fort taux d'établissement comparativement à d'autres espèces (Campeau et Rochefort 1996; Waddington *et al.* 2003; Chirino *et al.* 2006). En fait, certaines espèces de cette section sont reconnues comme étant plus résistantes aux fluctuations de la nappe phréatique (Clymo 1973; Rydin 1993a; voir aussi Rydin 1993b; Grosvernier *et al.* 1997), leur permettant ainsi de mieux performer durant la phase d'établissement sur un substrat de tourbe nue sous des conditions d'humidité modérées (nappe phréatique fluctuant de -10 cm à -35 cm) (Campeau et Rochefort 1996; Chirino *et al.* 2006). Dans l'étude de Chirino *et al.* (2006), l'introduction d'espèces de sphaignes adaptées aux habitats plus secs, des espèces de la section *Acutifolia*, dans différents mélanges d'introduction, a permis de favoriser le développement d'un tapis de sphaignes sur un substrat de tourbe nue. Il serait donc intéressant de considérer ces espèces dans le développement d'une culture de sphaigne à grande échelle pour les besoins de la restauration écologique.

Tableau 1. Classement en section des espèces de sphaignes à l'étude.

Section <i>Sphagnum</i>	Section <i>Acutifolia</i>
<i>Sphagnum magellanicum</i>	<i>Sphagnum rubellum</i>
<i>Sphagnum papillosum</i>	<i>Sphagnum fuscum</i>



Figure 4a (Photo : Biopix 2003)

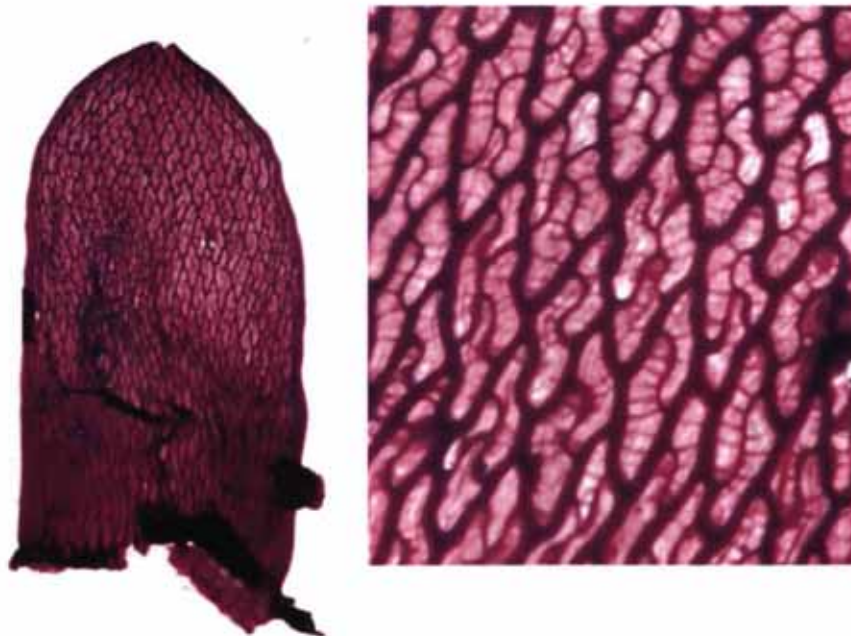


Figure 4b (Photos : Gilles Ayotte)

Figure 4. *Sphagnum rubellum* (section *Acutifolia*). 4a : Capitules et tiges; 4b : Feuille caulinaire avec agrandissement des hyalocystes qui peuvent être divisés jusqu'à 4 fois par des septa (cloisons) avec fibrilles ou non (Ayotte 2008).



Figure 5a (Photo : Biopix 2003)

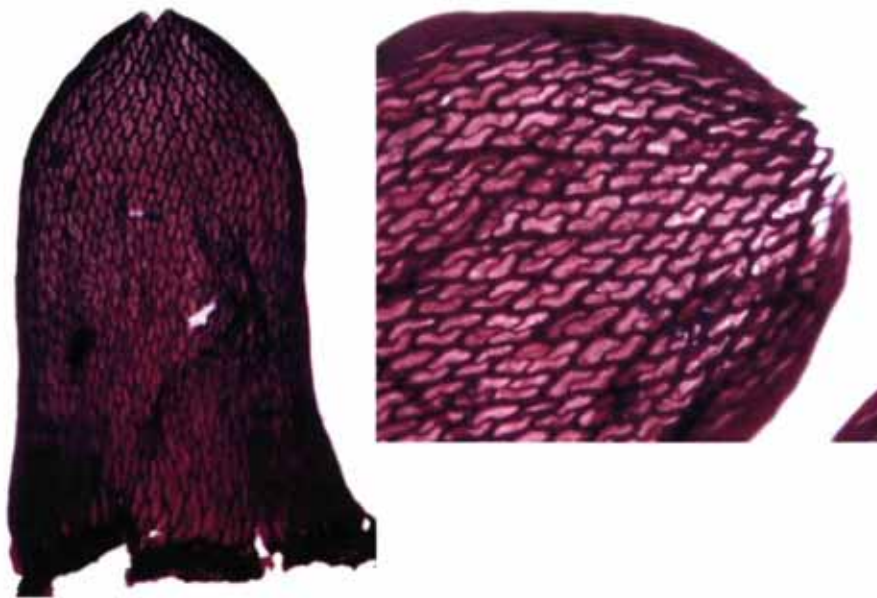


Figure 5b (Photo : Gilles Ayotte)

Figure 5. *Sphagnum fuscum* (section *Acutifolia*). 5a : Capitules et tiges; 5b : Feuille caulinaire avec agrandissement de l'apex. Les hyalocystes sont divisés par 1 ou 2 septa et il y a absence de fibrilles (Ayotte 2008).

LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE : UN APERÇU

La récolte de la tourbe pour des fins horticoles constitue une activité économique importante au Canada (Daigle et Gautreau-Daigle 2001). Toutefois, à la suite des activités d'extraction de tourbe par aspiration, les sphaignes recolonisent difficilement le substrat perturbé (Jonsson-Ninniss et Middleton 1991; voir aussi Money 1995; Lavoie et Rochefort 1996; Desrochers *et al.* 1998; Bérubé et Lavoie 2000; Lavoie *et al.* 2005; Poulin *et al.* 2005). Sachant que la sphaigne est une espèce clé dans l'écologie et le développement de la plupart des tourbières canadiennes (Kuhry *et al.* 1993), il est donc primordial d'agir activement afin d'encourager et d'accélérer le retour de cette dernière.

Les techniques de restauration utilisées en Amérique du Nord visent donc le rétablissement d'un couvert végétal dominé par les sphaignes ou les mousses brunes, et par conséquent, le retour des fonctions écologiques d'un écosystème humide (Rochefort 2000), dont l'accumulation de tourbe (Rochefort et Lode 2006). L'approche de restauration développée au Canada (Quinty et Rochefort 2003) consiste à réintroduire activement des fragments de plantes (diaspores) sur tourbe nue (Rochefort *et al.* 1995; Campeau et Rochefort 1996; Ferland et Rochefort 1997; Quinty et Rochefort 1997; Rochefort et Bastien 1998). D'autre part, l'amélioration des conditions hydrologiques du site à restaurer et la protection du matériel végétal fraîchement introduit contre la dessiccation (Sagot et Rochefort 1996) sont également des actions primordiales pour l'obtention d'un succès. Pour y arriver, certaines pratiques sont essentielles : par exemple, le blocage des anciens canaux de drainage (Price 1996; 1997), la construction d'andains pour bien distribuer l'eau sur le site et l'ajout d'un paillis de paille (Price 1997; Quinty et Rochefort 1997; Rochefort *et al.* 1997; Price *et al.* 1998; Rochefort *et al.* 2003). Cette dernière pratique est l'une des plus efficaces pour accroître les chances de survie de mousses, plantes sans racine, et pour promouvoir la régénération des fragments (Quinty et Rochefort 1997; Rochefort *et al.* 1997; Price *et al.* 1998; Rochefort *et al.* 2003): un paillis de paille permet de réduire l'évaporation en diminuant la vitesse du vent et les températures à la surface du sol (Enz *et al.* 1988). En d'autres mots, il permet d'améliorer les conditions hydrologiques et d'humidité du substrat de tourbe (Price

1997; Price *et al.* 1998). De plus, l'ajout d'un paillis permet de contrer le soulèvement gélival de la tourbe nue avant l'établissement du tapis muscinal (Groeneveld et Rochefort 2005).

Malgré l'efficacité de la technique de restauration canadienne, celle-ci nécessite la présence de sites d'emprunts (tourbières naturelles) afin d'y récolter la végétation de transfert. Ces sites sont plutôt difficiles à trouver dans les régions où les tourbières naturelles sont relativement rares et souvent protégées, comme c'est le cas en Europe centrale. Ainsi, une culture de sphaignes à proximité de sites à restaurer comporterait l'avantage de diminuer les coûts de transports tout en fournissant un matériel végétal de qualité pour la restauration écologique sans détruire le peu de tourbières restantes.

FAVORISER L'ÉTABLISSEMENT ET LA CROISSANCE DES SPHAIGNES DES SECTIONS *SPHAGNUM* ET *ACUTIFOLIA*

Amélioration des conditions de croissance

Pour satisfaire une demande croissante de fibres de sphaignes des sections *Acutifolia* (restauration écologique) et *Sphagnum* (horticulture), une production rapide de fibres de ces sphaignes est de mise. Tout d'abord, l'amélioration des conditions de croissance constitue un élément important à considérer pour obtenir les meilleurs taux d'établissement et de croissance. Ces derniers sont fortement liés à la disponibilité en eau qui dépend, à son tour, de la distribution temporelle des précipitations, de l'évaporation et du niveau moyen de la nappe phréatique (Gignac et Vitt 1990; Vitt *et al.* 1990). Des conditions extrêmes de sécheresse peuvent causer la mortalité des diaspores (Clymo 1973; Wagner et Titus 1984; Li *et al.* 1992; Sagot et Rochefort 1996), tandis que des conditions humides favorisent la croissance de la plupart des espèces de sphaignes, notamment celles de la section *Sphagnum* (Clymo 1970; Li *et al.* 1992; Rydin 1993b; Campeau et Rochefort 1996; Grosvernier *et al.* 1997; Rochefort *et al.* 2002; Campeau *et al.* 2004b). Supportant cette affirmation, Rochefort *et al.* (2002) ont observé que lorsque *Sphagnum magellanicum*, *S. papillosum*, *S. rubellum* et *S. fuscum* étaient inondées superficiellement (par

intermittence ou continuellement) pendant un mois, elles produisaient significativement plus de capitules à long terme qu'en condition non inondée.

En milieu naturel, les dépressions, où la nappe phréatique est affleurante (Andrus *et al.* 1983; Campbell et Rochefort 2001), sont plus humides que les buttes. Certains chercheurs (Rydin 1993b) rapportent que la plupart des espèces de sphaignes croissent aussi bien ou même mieux dans les dépressions que sur les buttes, confirmant ainsi l'effet positif de conditions plus humides sur la croissance des sphaignes. Toutefois, même si les espèces de buttes peuvent tolérer l'environnement plus humide des dépressions, ces espèces ne croissent normalement pas dans ce milieu; elles y sont exclues par compétition dû à la croissance rapide des espèces de dépressions (Titus et Wagner 1984; Rydin et McDonald 1985b; Andrus 1986; Rydin 1986). Outre ce facteur intrinsèque, une variété de stratégies ont été étudiées afin d'améliorer l'humidité à la surface de la tourbe, par exemple, le blocage des canaux et de l'ajout d'un paillis mentionnés précédemment, la modification de la microtopographie de surface (Ferland et Rochefort 1997; Quinty et Rochefort 1997; Price *et al.* 1998), la création de bassins superficiels (Price *et al.* 2002; Campeau *et al.* 2004b) ou de réservoir d'eau (LaRose *et al.* 1997) et l'utilisation de différents types d'ombrières (Buttler *et al.* 1998; Rochefort et Bastien 1998). Particulièrement, la création de bassins peu profonds est une option intéressante à considérer lors de l'implantation d'une culture de sphaigne. En effet, ces bassins permettent d'approcher la nappe phréatique de la surface et d'augmenter les conditions d'humidité du sol (Price *et al.* 2002; Campeau *et al.* 2004b) en imitant le microclimat retrouvé dans les dépressions d'une tourbière naturelle. Dans l'expérience de Campeau *et al.* (2004b), le succès d'établissement de *S. rubellum*, de *S. fuscum* et de *S. magellanicum* est significativement plus élevé dans les bassins artificiels que sur les surfaces planes. Ceci s'expliquerait par le contenu élevé en eau des mousses de sphaigne qui aurait un effet positif important sur la photosynthèse pour la plupart des espèces (Skre et Oechel 1981; Titus *et al.* 1983; Rydin et McDonald 1985a; Gaberscik et Martincic 1987; Wallén *et al.* 1988; Murray *et al.* 1989; Gerdol *et al.* 1996). Plusieurs chercheurs (Titus *et al.* 1983; Rydin et McDonald 1985b; Wallén *et al.* 1988) ont effectivement observé qu'un stress hydrique, par exemple

l'abaissement de la nappe phréatique, entraîne une réduction de la capacité photosynthétique de la plupart des sphaignes. En d'autres mots, ce stress réduit ou inhibe le transport d'eau par capillarité aux parties apicales affectant ainsi le taux de croissance des sphaignes (Rydin 1986; Wallén *et al.* 1988). De plus, Chirino *et al.* (2006) ont constaté que la mortalité des fragments est l'une des raisons majeures d'un retard dans le développement initial d'un tapis de sphaignes dans les années très sèches d'introduction. L'amélioration des conditions de croissance et la protection des fragments nouvellement introduits contre la dessiccation sont donc des éléments cruciaux à considérer pour l'établissement rapide d'un tapis de sphaignes des sections *Acutifolia* et *Sphagnum*.

Mais au-delà de ces améliorations de croissance par les facteurs abiotiques, serait-il possible de tirer avantage des associations végétales pour promouvoir l'établissement et la croissance des sphaignes des sections *Sphagnum* et *Acutifolia* ?

Conditionnement du substrat de croissance

Tel que mentionné précédemment, *S. magellanicum* et *S. papillosum* sont des sphaignes intéressantes pour la culture de nouvelles fibres. Par contre, elles présentent un inconvénient majeur : elles obtiennent un faible succès d'établissement sur tourbe nue dans des conditions d'humidité restreintes comparativement à d'autres espèces, par exemple *S. fuscum* (Campeau et Rochefort 1996; Chirino *et al.* 2006). Cette difficulté pourrait provenir principalement de la grosseur de leurs rameaux et de leurs feuilles qui empêcherait un bon contact des diaspores avec le substrat de tourbe, réduisant ainsi la capacité de bien absorber l'eau du substrat sous-jacent par capillarité. Deuxièmement, leur faible performance pourrait également s'expliquer par une moins grande capacité à transporter l'eau, comparativement, par exemple, à *S. fuscum* et *S. rubellum*, des espèces croissant naturellement dans des habitats plus éloignés de la nappe phréatique (Rydin 1993b). Ainsi, lors de périodes de sécheresse prolongées, les deux espèces de la section *Sphagnum* ne pourraient maintenir un contenu en eau aussi élevé, affectant ainsi davantage leur établissement que celui des espèces de la section *Acutifolia*. Finalement, *S. magellanicum* et *S. papillosum* possèdent une croissance verticale importante (Figure 6a) comparativement à

d'autres espèces, notamment celles de la section *Cuspidata*, dont les tiges croissent horizontalement pour recouvrir rapidement une surface et former ainsi un tapis de sphaigne plus rapidement (Brock et Bregman 1989; Figure 6b). Une croissance davantage en hauteur semble favoriser l'assèchement des fragments introduits pendant des périodes plus sèches, ce qui diminue la vitesse à laquelle un tapis de sphaigne se forme comparativement à des fragments possédant une croissance horizontale par étalement. Tant et aussi longtemps qu'un tapis complet de sphaignes n'est pas formé, les sphaignes demeurent beaucoup plus sensibles aux fluctuations microclimatiques.



Figure 6a



Figure 6b

Figure 6. Différence dans la croissance des fragments de deux espèces de sphaigne. 3a : Fragments de *S. magellanicum* après 2 mois et demi de croissance (croissance en hauteur); 3b : Fragments de *S. fallax* après 1 mois de croissance (croissance par étalement).

On pourrait argumenter qu'il suffit de mieux manipuler les niveaux d'eau des secteurs de tourbière servant à la culture de la sphaigne et d'ensemencer des sphaignes de la section *Sphagnum* avec un niveau d'eau affleurant ou supérieur de quelques centimètres. Cependant, des données du GRET (non publiées) pointent à l'effet que le maintien d'une nappe phréatique constamment affleurante semble favoriser la prolifération de champignons à long terme, causant la mortalité des sphaignes. Une trop grande quantité d'eau pendant une longue période de temps ne semble pas une avenue idéale. Il devient donc intéressant d'étudier, lors de la phase d'établissement, un niveau d'eau supérieur de quelques centimètres lors de l'ensemencement des sphaignes de la section *Sphagnum* en fonction de l'ajout de paillis. Pour ce projet de maîtrise nous avons choisi d'étudier l'effet de manipulations biotiques à travers le principe de facilitation entre les espèces selon les conditions connues pour procéder avec succès à l'établissement des sphaignes dans les projets de restauration.

Une solution possible pour contrer le problème d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* serait d'augmenter leurs points de contact avec le substrat de croissance en tirant profit de l'établissement rapide des sphaignes de la section *Cuspidata*. Peu d'études ont été effectuées sur les interactions entre les sphaignes et encore moins sur l'introduction simultanée de plusieurs espèces de sphaignes. On peut citer notamment Chirino *et al.* (2006) qui ont étudié l'établissement simultané de plusieurs espèces de sphaignes. Ces chercheurs ont observé que le succès d'établissement d'un tapis de sphaignes n'est pas relié à la richesse en espèces dans le matériel de réintroduction, mais plutôt à la présence d'espèces clés. Ainsi, l'ajout d'une espèce qui croît horizontalement, permettant de recouvrir le plus rapidement possible le substrat, serait une approche intéressante à vérifier.

Malgré que cette idée n'ait jamais été mise en application en Amérique du Nord sous nos conditions climatiques, les Chiliens utilisent depuis plusieurs années une technique de culture très semblable à celle proposée ici. Dans les zones de récoltes de fibres de sphaignes, ils réintroduisent des sphaignes de la section *Sphagnum*, notamment *Sphagnum magellanicum*, à l'intérieur de tapis préétablis de la section

Cuspidata. L'ensemencement de *S. magellanicum* dans des tapis de *Sphagnum cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm. (pour le cas du sud du Chili) permettrait une régénération naturelle plus rapide des sphaignes de la section *Sphagnum* (Maria Francisca Diaz, Shippagan 2007, comm. pers.). Cette méthode chilienne permet de tirer avantage de la rapidité d'établissement des sphaignes de la section *Cuspidata* et de l'accumulation importante en biomasse des espèces de la section *Sphagnum*. Elle permet non seulement de faciliter le contact des tiges de *S. magellanicum* avec le substrat de croissance, mais de fournir également un milieu qui retient davantage d'humidité. Par conséquent, les diaspores nouvellement introduites jouiraient d'une certaine protection contre l'assèchement et d'une plus grande disponibilité en eau améliorant ainsi leur succès d'établissement. Il s'agit donc d'une forme de conditionnement du substrat de croissance avec des espèces de la section *Cuspidata* qui permettrait d'améliorer les conditions d'humidité à la surface d'un substrat de tourbe nue.

Cette pratique chilienne pourrait également être utilisée en Amérique du Nord afin d'augmenter la rapidité d'établissement des espèces de la section *Sphagnum*. Le *Sphagnum fallax* (Klinggr.) Klinggr., une espèce du groupe *Cuspidata*, se rencontre dans une variété d'habitats des tourbières naturelles du Canada qui ont en commun une humidité édaphique prononcée, notamment dans les dépressions et en bordure des mares (Vitt et Slack 1984; Gauthier 2001). Selon ses travaux au Royaume-Uni, Money (1995) suggère que la colonisation naturelle des tranchées des tourbières abandonnées par des sphaignes tolérantes à des niveaux élevés de la nappe phréatique précède généralement la colonisation par des espèces de buttes et de platières humides. Andrus (1986) propose que le succès des espèces de mare soit dû à leur productivité élevée leur permettant ainsi de progresser rapidement d'un stade vulnérable de diaspores vers un stade plus avancé. De même, Grosvernier *et al.* (1995; 1997) croient que *S. fallax* soit une espèce très efficace dans les processus de restauration de tourbières ombrotrophes.

La facilité de *S. fallax* à s'établir dans des conditions d'humidité variantes peut s'expliquer par sa forme de croissance particulière. En effet, elle est reconnue pour

sa capacité à croître horizontalement, par étalement (Brock et Bregman 1989), promouvant ainsi la distribution de la chlorophylle sur les plantes individuelles et accélérant, par conséquent, l'occupation de l'espace (cf. Grosvernier *et al.* 1997). Elle possède également un taux élevé de croissance en longueur et en masse ce qui lui procure un avantage compétitif sur les autres espèces en permettant d'établir rapidement un tapis continu de sphaignes (Overbeck et Happach 1957 cité dans Grosvernier *et al.* 1997; Twenhöven 1992). De plus, certains considèrent *S. fallax* comme étant une espèce pionnière (Grosvernier *et al.* 1995; Buttler *et al.* 1998) et opportuniste (Andrus 1986) : elle peut très bien s'adapter aux modifications de son environnement afin de stimuler une colonisation et un établissement rapide des tapis de sphaignes sur lesquels d'autres espèces, comme *S. magellanicum*, peuvent se rétablir (Grosvernier *et al.* 1995). Des expériences qui se sont échelonnées sur plus de 15 ans avec *Sphagnum pacificum*, une espèce de la même section que *S. fallax*, montre le même comportement de colonisation (Laurence Brown, Vancouver, 2010, comm. pers.). D'autre part, *S. fallax* se décompose à un taux plus élevé que *S. magellanicum* et *S. papillosum* (Limpens et Berendse 2003) ce qui permettrait d'obtenir un produit final comportant davantage de fibres de sphaignes intéressantes (*S. magellanicum* et *S. papillosum*) pour l'industrie horticole. Toutes ces caractéristiques révèlent donc que *S. fallax* est une candidate idéale pour le conditionnement d'un substrat de tourbe nue.

Structuration du microenvironnement des sphaignes

Au-delà du conditionnement du substrat de croissance, une deuxième possibilité pouvant favoriser la production de biomasse des sphaignes, serait la structuration de leur microenvironnement avec des plantes vasculaires ou des structures inertes.

Contrairement aux relations interspécifiques entre sphaignes, les associations entre les sphaignes et les plantes vasculaires (structures naturelles) ont été étudiées largement (Murray *et al.* 1993; Malmer *et al.* 1994; Malmer *et al.* 2003). Certaines études (Joosten 1992; Meade 1992; Grosvernier *et al.* 1995; Buttler *et al.* 1996; Robert *et al.* 1999) rapportent que lors des premiers stades de succession végétale dans des habitats dominés par les sphaignes, il est possible d'observer

l'établissement de sphaignes sous le couvert de plantes vasculaires pionnières. Les plantes pionnières de type vasculaire possèdent une meilleure capacité à coloniser les dépôts tourbeux en stabilisant la surface du sol, facilitant ainsi l'établissement d'autres espèces par la création de microsites (Tuittila *et al.* 2000). De même, d'autres études (Ferland et Rochefort 1997; Boudreau et Rochefort 1999; Sliva et Pfadenhauer 1999) ont révélé que l'introduction de fragments de sphaignes sous le couvert de plantes vasculaires naturelles avait un effet positif sur la survie des sphaignes en améliorant les conditions microclimatiques et l'humidité à la surface de la tourbe.

Des chercheurs ont également observé que la structure tridimensionnelle des éricacées permet une élévation verticale importante des sphaignes (Malmer *et al.* 1994; Pouliot en préparation) en procurant un soutien physique au tapis de sphaignes nouvellement formé (Malmer *et al.* 1994; Rydin et Jeglum 2006). Par exemple, Fenton et Bergeron (2006), suggèrent que la présence d'éricacées facilite une croissance verticale rapide des sphaignes, permettant ainsi aux sphaignes de surclasser d'autres espèces de mousses ayant une plus faible capacité d'utiliser les éricacées comme support. D'autre part, Pouliot (en préparation) a observé que la présence d'un couvert de faible densité d'arbustes vivants de *Chamaedaphne calyculata* favorise l'élévation verticale des sphaignes lorsque les conditions microclimatiques sont sub-optimales.

Par contre, dépendamment de l'utilisation future de la fibre de sphaigne issue de la culture, la présence de plantes vasculaires n'est pas toujours souhaitable. En effet, pour les besoins de l'industrie horticole, la présence de racines ou d'autres parties de plantes vasculaires dans la fibre de sphaignes n'est pas recherchée. Dans ce contexte, il serait intéressant d'inclure des structures inertes (piquet de bois et des arbustes morts) qui imiteraient les plantes vasculaires dans les tapis de sphaignes. Des résultats obtenus par un étudiant au doctorat du laboratoire de Line Rochefort (Rémy Pouliot) suggèrent que des imitations de tronc d'arbre et des arbustes morts de *Chamaedaphne calyculata* favorisent également l'élévation verticale des sphaignes, lorsque les conditions microclimatiques ne sont pas optimales (Pouliot en

préparation). Toutefois, si le produit final de la culture est dédié à la restauration écologique, la présence de plantes vasculaires, notamment les éricacées pour les raisons mentionnées ci-haut, serait un avantage. En d'autres mots, elles permettraient de favoriser la survie et la structure du tapis de sphaigne.

Conditions de croissance sous les plantes vasculaires

Quel rôle jouent réellement les vasculaires pour favoriser ainsi la survie et la croissance des sphaignes? En d'autres mots, quelles sont les conditions de croissances sous les plantes vasculaires qui permettent une colonisation des sphaignes sur le substrat des tourbières abandonnées?

La présence de plantes vasculaires, lorsque comparées aux surfaces dépourvues de ces dernières, améliorent les conditions microclimatiques et l'humidité dans les couches supérieures d'un sol tourbeux (Salonen 1992; Grosvernier *et al.* 1995; Tuittila *et al.* 2000; Pouliot en préparation). Ainsi, un couvert de plantes vasculaires bien établi permettrait de protéger les sphaignes des conditions extrêmes et de réduire du même coup les variations quotidiennes d'humidité relative, de température et de luminosité à l'interface air - sphaignes (Harley *et al.* 1989; Pouliot en préparation). Toutefois, cet effet facilitant fourni par les plantes vasculaires est plus commun sous des conditions abiotiques sévères (Bertness et Callaway 1994) et permet d'améliorer la performance des espèces bénéficiaires (Callaway 1995; Maestre *et al.* 2009). Ainsi, sous des conditions optimales de croissance, les sphaignes ne semblent pas bénéficier de la présence d'un couvert végétal (Pouliot en préparation).

Les plantes vasculaires peuvent être bénéfiques pour les sphaignes, mais elles peuvent également être compétitives pour les nutriments, l'eau et la lumière (Malmer *et al.* 1994; Malmer *et al.* 2003). Plusieurs éléments, comme les modifications de l'environnement physique, les stades de développement et les conditions physiologiques des plantes, peuvent avoir un impact sur cette relation de facilitation entre les plantes vasculaires et les sphaignes (Callaway et Walker 1997). Si, pour une raison quelconque, la croissance des plantes vasculaires était favorisée, cela

entraînerait du même coup une augmentation de l'ombrage et de la litière qui pourrait s'avérer néfaste pour la croissance des sphaignes (Clymo 1973; Hayward et Clymo 1983; Sliva et Pfadenhauer 1999). En effet, Pouliot (en préparation) a observé qu'une augmentation du couvert des plantes vasculaires réduit l'élongation verticale des sphaignes, d'où l'importance d'une densité adéquate. Heijmans *et al.* (2002) suggèrent qu'un couvert de plantes vasculaires d'au moins 60 % est nécessaire pour induire une réduction de croissance des sphaignes due à un ombrage excessif. Les plantes vasculaires peuvent donc induire, selon les conditions abiotiques de croissance présentes, un effet de facilitation ou de compétition (Callaway et Walker 1997; Holmgren *et al.* 1997).

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Plusieurs éléments permettent de penser que *S. fallax* pourrait faciliter l'établissement de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* puis, par la suite, leur croissance sur un substrat de tourbe nue. Il existe également plusieurs indications sur le potentiel des éricacées, notamment de *Chamaedaphne calyculata*, ou de structures imitant de jeunes troncs d'arbres pour faciliter la survie et la croissance des sphaignes. Pourtant, aucune étude n'a été effectuée spécifiquement sur les sphaignes des sections *Sphagnum* et *Acutifolia*.

Les objectifs spécifiques de l'étude sont de déterminer : si le conditionnement du substrat de croissance avec *S. fallax* permet de faciliter un établissement plus rapide et une meilleure croissance des sphaignes de la section *Sphagnum* dans les premières années d'établissement de la culture (Chapitre 1) et de vérifier si la structuration du microenvironnement des sphaignes des sections *Acutifolia* et *Sphagnum* avec des arbustes vivants (structures naturelles) ou morts de *Chamaedaphne calyculata* et de structures imitant de jeunes troncs d'arbres (structures artificielles) favorise une régénération plus rapide et une meilleure croissance des sphaignes (Chapitre 2). À ces fins, différents dispositifs expérimentaux ont été mis en place afin de mesurer l'effet de ces facteurs biotiques sur le pourcentage de recouvrement des sphaignes, l'élongation de leurs tiges et l'accumulation de biomasse. Des mesures abiotiques

complémentaires (pH, conductivité électrique, teneur en eau, hauteur de la nappe phréatique) ont été effectuées pour caractériser le substrat de croissance. L'objectif général est d'approfondir les connaissances pour améliorer l'efficacité de la culture de sphaignes possédant des caractéristiques intéressantes pour l'industrie horticole et pour la restauration écologique.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Andrus, R.E. 1986. Some aspects of *Sphagnum* ecology. *Canadian Journal of Botany* 64: 416-426.
- Andrus, R.E., Wagner, D.J. et Titus, J.E. 1983. Vertical zonation of *Sphagnum* mosses along hummock-hollow gradients. *Canadian Journal of Botany* 61: 3128-3139.
- Ayotte, G. 2008. Systématique des principales espèces. Notes de cours - Écologie des tourbières boréales (BVG-64832). Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec.
- Bertness, M.D. et Callaway, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology & Evolution* 9: 191-193.
- Bérubé, M.-É. et Lavoie, C. 2000. The natural revegetation of a vacuum-mined peatland: Eight years of monitoring. *Canadian Field-Naturalist* 114: 279-286.
- Biopix. 2003 (Page consultée le 9 avril 2010). Biopix - digital nature photos, [En ligne]. Adresse URL : <http://www.biopix.com/>.
- Boudreau, S. et Rochefort, L. 1999. Établissement de sphaignes réintroduites sous diverses communautés végétales recolonisant les tourbières après l'exploitation. *Écologie* 30: 53-62.
- Brock, T.C.M. et Bregman, R. 1989. Periodicity in growth, productivity, nutrient content and decomposition of *Sphagnum recurvum* var. *mucronatum* in a fen woodland. *Oecologia* 80: 44-52.
- Buttler, A., Grosvernier, P. et Matthey, Y. 1998. Development of *Sphagnum fallax* diaspores on bare peat with implications for the restoration of cut-over bogs. *Journal of Applied Ecology* 35: 800-810.
- Buttler, A., Warner, B.G., Grosvernier, P. et Matthey, Y. 1996. Vertical patterns of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) and peat-forming vegetation on cutover bogs in the Jura, Switzerland. *New Phytologist* 134: 371-382.
- Callaway, R.M. 1995. Positive interactions among plants. *Botanical Review* 61: 306-349.
- Callaway, R.M. et Walker, L.R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78: 1958-1965.
- Campbell, D.R. et Rochefort, L. 2001. La végétation : gradients. Dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Sous la direction de S. Payette et L. Rochefort. Les Presses de l'Université Laval, Québec. P. 129-140.
- Campeau, S. et Rochefort, L. 1996. *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology* 33: 599-608.
- . 2002. Possibilities and limits to *Sphagnum* farming. Dans *Peat in horticulture - Quality and environmental challenges*. Proceedings of the 2002 International Peat Symposium, Pärnu, Estonie, 3 au 6 septembre 2002. Sous la direction de G. Schmilewski et L. Rochefort. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 264-269.
- Campeau, S., Miousse, L. et Quinty, F. 2004a. Caractérisation du site expérimental de Shippagan et techniques suggérées dans un but de recherche sur la production de fibre de sphaigne. Bryophyta Technologie Inc., Saint-Charles-de-Bellechasse, Québec.

- Campeau, S., Rochefort, L. et Price, J.S. 2004b. On the use of shallow basins to restore cutover peatlands: Plant establishment. *Restoration Ecology* 12: 471-482.
- Canards Illimités Canada. 2009 (Page consultée le 10 décembre 2009). CIC – Un organisme voué à la conservation des milieux humides et de la faune, [En ligne]. Adresse URL: <http://www.ducks.ca/fr/conservation/index.html>.
- Chirino, C., Campeau, S. et Rochefort, L. 2006. *Sphagnum* establishment on bare peat: The importance of climatic variability and *Sphagnum* species richness. *Applied Vegetation Science* 9: 285-294.
- Clymo, R.S. 1970. The growth of *Sphagnum*: methods of measurement. *Journal of Ecology* 58: 13-49.
- . 1973. The growth of *Sphagnum*: some effects of environment. *Journal of Ecology* 61: 849-869.
- Crum, H. 1988. A focus on peatlands and peat mosses. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, États-Unis. 306 p.
- Daigle, J.Y. et Gautreau-Daigle, H. 2001. Canadian peat harvesting and the environment. North American Wetlands Conservation Council, Ottawa, Ontario. 41 p.
- Desrochers, A., Rochefort, L. et Savard, J.-P.L. 1998. Avian recolonization of eastern Canadian bogs after peat mining. *Canadian Journal of Zoology* 76: 989-997.
- Enz, J.W., Brun, L.J. et Larsen, J.K. 1988. Evaporation and energy balance for bare and stubble covered soil. *Agricultural and Forest Meteorology* 43: 59-70.
- Fenton, N.J. et Bergeron, Y. 2006. Facilitative succession in a boreal bryophyte community driven by changes in available moisture and light. *Journal of Vegetation Science* 17: 65-76.
- Ferland, C. et Rochefort, L. 1997. Restoration techniques for *Sphagnum* dominated peatlands. *Canadian Journal of Botany* 75: 1110-1118.
- Gaberscik, A. et Martincic, A. 1987. Seasonal dynamics of net photosynthesis and productivity of *Sphagnum papillosum*. *Lindbergia* 13: 105-110.
- Gaudig, G. et Joosten, H. 2002. Peat moss (*Sphagnum*) as a renewable resource - An alternative to *Sphagnum* peat in horticulture? Dans *Peat in horticulture - quality and environmental challenges*. Proceeding of the 2002 International Peat Society Symposium, Pärnu, Estonie, 3 au 6 septembre 2002. Sous la direction de G. Schmilewski et L. Rochefort. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 117-125.
- Gauthier, R. 2001. Les sphaignes. Dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Sous la direction de S. Payette et L. Rochefort. Les Presses de l'Université Laval, Québec. P. 91-127.
- Gerdol, R., Bonora, A., Gualandri, R. et Pancaldi, S. 1996. CO₂ exchange, photosynthetic pigment composition, and cell ultrastructure of *Sphagnum* mosses during dehydration and subsequent rehydration. *Canadian Journal of Botany* 74: 726-734.
- Gignac, L.D. et Vitt, D.H. 1990. Habitat limitations of *Sphagnum* along climatic, chemical, and physical gradients in mires of Western Canada. *The Bryologist* 93: 7-22.

- Groeneveld, E.V.G. et Rochefort, L. 2005. *Polytrichum strictum* as a solution to frost heaving in disturbed ecosystems: A case study with milled peatlands. *Restoration Ecology* 13: 74-82.
- Grosvernier, P., Matthey, Y. et Buttler, A. 1995. Microclimate and physical properties of peat: New clues to the understanding of bog restoration processes. Dans *Restoration of temperate wetlands*. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Royaume-Uni. P. 435-450.
- . 1997. Growth potential of three *Sphagnum* species in relation to water table level and peat properties with implications for their restoration in cut-over bogs. *The Journal of Applied Ecology* 34: 471-483.
- Harley, P.C., Tenhunen, J.D., Murray, K.J. et Beyers, J. 1989. Irradiance and temperature effects on photosynthesis of tussock tundra *Sphagnum* mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia* 79: 251-259.
- Hayward, P.M. et Clymo, R.S. 1983. The growth of *Sphagnum*: Experiments on, and simulation of, some effects of light flux and water-table depth. *Journal of Ecology* 71: 845-863.
- Heijmans, M.M.P.D., Klees, H. et Berendse, F. 2002. Competition between *Sphagnum magellanicum* and *Eriophorum angustifolium* as affected by raised CO₂ and increased N deposition. *Oikos* 97: 415-425.
- Holmgren, M., Scheffer, M. et Huston, M.A. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78: 1966-1975.
- Jobin, P., Caron, J., Rochefort, L. et Dansereau, B. 2005. Developing new substrates with *Sphagnum* fibers (Affiche). International Symposium on Growing Media, Angers, France.
- Jonsson-Ninniss, S. et Middleton, J. 1991. Effect of peat extraction on the vegetation in Wainfleet Bog, Ontario. *Canadian Field-Naturalist* 105: 505-511.
- Joosten, H. 1998. Peat as a renewable resource: The road to paludiculture. Dans *Peatland restoration and reclamation, techniques and regulatory considerations*. Proceedings of the 1998 International Peat Symposium Duluth, Minnesota, États-Unis, 14 au 18 juillet 1998. Sous la direction de T. Malterer, K. Johnson et J. Stewart. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 56-63.
- . 2000. Peat farming: the ultimate challenge for peat "producers". *Peatlands International* 1/2000: 35-36.
- Joosten, J.H.J. 1992. Bog regeneration in the Netherlands: a review. Dans *Peatland ecosystems and man: an impact assessment*. Sous la direction de O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram et R.A. Robertson. International Peat Society, Department of Biological Sciences, University of Dundee, Dundee, Écosse. P. 367-373.
- . 1995. Time to regenerate: Long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. Dans *Restoration of temperate wetlands*. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley & Sons Ltd., Wiley, Chichester, Royaume-Uni. P. 379-404.

- Kim, Y.K. 2008. Development and its assessment of construction method of *Sphagnum* wetland for landscape use. Thèse de doctorat, Interdisciplinary Doctoral Program in Landscape Architecture Major, Seoul National University, Séoul, Corée du Sud.
- Kuhry, P., Nicholson, B.J., Gignac, L.D., Vitt, D.H. et Bayley, S.E. 1993. Development of *Sphagnum*-dominated peatlands in boreal continental Canada. *Canadian Journal of Botany* 71: 10-22.
- LaRose, S., Price, J.S. et Rochefort, L. 1997. Rewetting of a cutover bog: Hydrological assessment. *Wetlands* 17: 416-423.
- Lavoie, C. et Rochefort, L. 1996. The natural revegetation of a harvested peatland in southern Québec: A spatial and dendroecological analysis. *Écoscience* 3: 101-111.
- Lavoie, C., Saint-Louis, A. et Lachance, D. 2005. Vegetation dynamics on an abandoned vacuum-mined peatland: 5 years of monitoring. *Wetlands Ecology and Management* 13: 621-633.
- Li, Y., Glime, J.M. et Liao, C. 1992. Responses of two interacting *Sphagnum* species to water level. *Journal of Bryology* 17: 59-70.
- Limpens, J. et Berendse, F. 2003. How litter quality affects mass loss and N loss from decomposing *Sphagnum*. *Oikos* 103: 537-547.
- Maestre, F.T., Callaway, R.M., Valladares, F. et Lortie, C.J. 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *Journal of Ecology* 97: 199-205.
- Malcolm, J.E. 1996. Relationships between *Sphagnum* morphology and absorbency of commercial *Sphagnum* board. Thèse de maîtrise, Département de botanique, University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- Malmer, N., Svensson, B.M. et Wallen, B. 1994. Interactions between *Sphagnum* mosses and field layer vascular plants in the development of peat-forming systems. *Folia Geobotanica Phytotaxonomica* 29: 483-496.
- Malmer, N., Albinsson, C., Svensson, B.M. et Wallén, B. 2003. Interferences between *Sphagnum* and vascular plants: effects on plant community structure and peat formation. *Oikos* 100: 469-482.
- Meade, R. 1992. Some early changes following the rewetting of a vegetated cutover peatland surface at Danes Moss, Cheshire, UK, and their relevance to conservation management. *Biological Conservation* 61: 31-40.
- Miousse, L. 2005. Site expérimental dédié à la culture de la sphaigne à Shippagan, Nouveau-Brunswick. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 21 p.
- Money, R.P. 1995. Re-establishment of a *Sphagnum*-dominated flora on cut-over lowland raised bogs. Dans *Restoration of temperate wetlands*. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley and Sons, Chichester, Royaume-Uni. P. 405-422.
- Murray, K.J., Tenhunen, J.D. et Nowak, R.S. 1993. Photoinhibition as a control on photosynthesis and production of *Sphagnum* mosses. *Oecologia* 96: 200-207.
- Murray, K.J., Harley, P.C., Beyers, J., Walz, H. et Tenhunen, J.D. 1989. Water content effects on photosynthetic response of *Sphagnum* mosses from the Foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia* 79: 244-250.

- Overbeck, F. et Happach, H. 1957. Über das Wachstum und den Wasserhaushalt einiger Hochmoorsphagnen. *Flora (Jena)* 144: 335-402.
- Poulin, M., Rochefort, L., Quinty, F. et Lavoie, C. 2005. Spontaneous revegetation of mined peatlands in eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 83: 539-557.
- Pouliot, R. En préparation. Formation of *Sphagnum* moss hummocks in bogs and presence of vascular plants: Is there a link?
- Price, J.S. 1996. Hydrology and microclimate of a partly restored cutover bog, Québec. *Hydrological Processes* 10: 1263-1272.
- . 1997. Soil moisture, water tension, and water table relationships in a managed cutover bog. *Journal of Hydrology* 202: 21-32.
- Price, J., Rochefort, L. et Quinty, F. 1998. Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface microtopography, mulch cover and *Sphagnum* regeneration. *Ecological Engineering* 10: 293-312.
- Price, J.S., Rochefort, L. et Campeau, S. 2002. Use of shallow basins to restore cutover peatlands: Hydrology. *Restoration Ecology* 10: 259-266.
- Price, J.S. et Whitehead, G.S. 2001. Developing hydrologic thresholds for *Sphagnum* recolonization on an abandoned cutover bog. *Wetlands* 21: 32-40.
- Quinty, F. et Rochefort, L. 1997. Plant re-introduction on a harvested peat bog. Dans *Northern Forested Wetlands: Ecology and Management*. Sous la direction de C.C. Trettin, M.F. Jurgensen, D.F. Grigal, M.R. Gale et J.K. Jeglum. CRC Press, Boca Raton, Floride, États-Unis. P. 133-145.
- . 2003. Guide de restauration des tourbières, deuxième édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, Québec. 119 p.
- Robert, E.C., Rochefort, L. et Garneau, M. 1999. Natural revegetation of two block-cut mined peatlands in eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 77: 447-459.
- Rochefort, L. 2000. *Sphagnum* - A keystone genus in habitat restoration. *The Bryologist* 103: 503-508.
- Rochefort, L. et Bastien, D.F. 1998. Réintroduction de sphaignes dans une tourbière exploitée : Évaluation de divers moyens de protection contre la dessiccation. *Écoscience* 5: 117-127.
- Rochefort, L. et Lode, E. 2006. Restoration of degraded boreal peatlands. Dans *Boreal peatland ecosystems*. Sous la direction de R.K. Wieder et D.H. Vitt. *Ecological Studies*, vol. 188. Springer-Verlag, Berlin, Allemagne. P. 381-423.
- Rochefort, L., Campeau, S. et Bugnon, J.-L. 2002. Does prolonged flooding prevent or enhance regeneration and growth of *Sphagnum*? *Aquatic Botany* 74: 327-341.
- Rochefort, L., Gauthier, R. et Lequéré, D. 1995. *Sphagnum* regeneration - toward an optimisation of bog restoration. Dans *Restoration of temperate wetlands*. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley and Sons, Chichester, Royaume-Uni. P. 423-434.
- Rochefort, L., Quinty, F. et Campeau, S. 1997. Restoration of peatland vegetation: the case of damaged or completely removed acrotelm. *International Peat Journal* 7: 20-28.

- Rocheftort, L., Quinty, F., Campeau, S., Johnson, K. et Malterer, T. 2003. North American approach to the restoration of *Sphagnum* dominated peatlands. *Wetlands Ecology and Management* 11: 3-20.
- Rydin, H. 1986. Competition and niche separation in *Sphagnum*. *Canadian Journal of Botany* 64: 1817-1824.
- . 1993a. Interspecific competition between *Sphagnum* mosses on a raised bog. *Oikos* 66: 413-423.
- . 1993b. Mechanisms of interactions among *Sphagnum* species along water-level gradients. *Advances in Bryology* 5: 153-185.
- Rydin, H. et Jeglum, J.K. 2006. *The biology of peatlands*. Oxford University Press Inc., New York, États-Unis. 343 p.
- Rydin, H. et McDonald, A.J.S. 1985a. Photosynthesis in *Sphagnum* at different water contents. *Journal of Bryology* 13: 579-584.
- . 1985b. Tolerance of *Sphagnum* to water level. *Journal of Bryology* 13: 571-578.
- Sagot, C. et Rocheftort, L. 1996. Tolérance des sphaignes à la dessiccation. *Cryptogamie, Bryologie-Lichénologie* 17: 171-183.
- Salonen, V. 1992. Effects of artificial plant cover on plant colonization of a bare peat surface. *Journal of Vegetation Science* 3: 109-112.
- Skre, O. et Oechel, W.C. 1981. Moss functioning in different taiga ecosystems in interior Alaska. I. Seasonal, phenotypic, and drought effects on photosynthesis and response patterns. *Oecologia* 48: 50-59.
- Sliva, J. et Pfadenhauer, J. 1999. Restoration of cut-over raised bogs in Southern Germany: A comparison of methods. *Applied Vegetation Science* 2: 137-148.
- Titus, J.E. et Wagner, D.J. 1984. Carbon balance for two *Sphagnum* mosses: Water balance resolves a physiological paradox. *Ecology* 65: 1765-1774.
- Titus, J.E., Wagner, D.J. et Stephens, M.D. 1983. Contrasting water relations of photosynthesis for two *Sphagnum* mosses. *Ecology* 64: 1109-1115.
- Tuittila, E.-S., Rita, H., Vasander, H. et Laine, J. 2000. Vegetation patterns around *Eriophorum vaginatum* L. tussocks in a cut-away peatland in southern Finland. *Canadian Journal of Botany* 78: 47-58.
- Twenhöven, F.L. 1992. Competition between two *Sphagnum* species under different deposition levels. *Journal of Bryology* 17: 71-80.
- Uosukainen, H. et Lötjönen, P. 1997. *Sphagnum* classification and the influence of the different *Sphagnum* species on horticultural peat properties. Dans *Peat in horticulture - its use and sustainability*. Sous la direction de G. Schmilewski. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 31-35.
- Vitt, D.H. et Slack, N.G. 1984. Niche diversification of *Sphagnum* relative to environmental factors in northern Minnesota peatlands. *Canadian Journal of Botany* 62: 1409-1430.
- Vitt, D.H., Horton, D.G., Slack, N.G. et Malmer, N. 1990. *Sphagnum*-dominated peatlands of the hyperoceanic British Columbia coast: patterns in surface water chemistry and vegetation. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 696-711.
- Waddington, J.M., Rocheftort, L. et Campeau, S. 2003. *Sphagnum* production and decomposition in a restored cutover peatland. *Wetlands Ecology and Management* 11: 85-95.

- Wagner, D.J. et Titus, J.E. 1984. Comparative desiccation tolerance of two *Sphagnum* mosses. *Oecologia* 62: 182-187.
- Wallén, B., Falkengren-Grerup, U. et Malmer, N. 1988. Biomass, productivity and relative rate of photosynthesis of *Sphagnum* at different water levels on a South Swedish peat bog. *Holarctic Ecology* 11: 70-76.

CHAPITRE 1

EFFET D'UN CONDITIONNEMENT DU SUBSTRAT DE
CROISSANCE SUR L'ÉTABLISSEMENT ET LA
CROISSANCE DE SPHAIGNES DE LA SECTION
SPHAGNUM

1.1. RÉSUMÉ

Le marché de la mousse à base de fibres de sphaignes est en pleine expansion. Les sphaignes généralement ciblées, celles de la section *Sphagnum*, possèdent de grosses fibres et des caractéristiques intéressantes de porosité et d'absorption/rétention des liquides. Un moyen envisagé afin d'augmenter leur production de biomasse est de prendre avantage de la rapidité d'établissement des sphaignes de la section *Cuspidata* ainsi que de son effet facilitant. Deux expériences ont été mises en place, l'une en serre et l'autre sur le terrain afin d'évaluer le succès d'établissement et l'accumulation de biomasse des sphaignes de la section *Sphagnum* selon différents conditionnements du substrat de croissance avec *Sphagnum fallax* (section *Cuspidata*). Après 6 mois de croissance en serre et 4 mois sur le terrain, les sphaignes de la section *Sphagnum* introduites sans conditionnement du substrat ont obtenu les taux de recouvrement les plus élevés. Toutefois, *S. magellanicum* et *S. papillosum* introduites sur un substrat conditionné simultanément avec *S. fallax* ont accumulé la plus grande biomasse. Une période plus sèche en serre semble avoir affecté l'accumulation de biomasse des sphaignes de la section *Sphagnum* introduites sans conditionnement du substrat. En conclusion, il apparaît que lorsque les conditions d'humidité du substrat sont adéquates, comme lors de ces expérimentations, le succès d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* n'est pas facilité par la présence de *S. fallax*.

1.2. INTRODUCTION

Au cours des dernières années, malgré la diminution constante des tourbières naturelles dans certaines régions du monde, notamment en Europe centrale (Gaudig et Joosten 2002), les activités reliées à l'utilisation des tourbières (extraction de tourbe, cueillette de fibres de sphaignes, etc.) n'ont cessé de s'intensifier. Face à cette situation de diminution des ressources pour certaines régions, plusieurs chercheurs s'intéressent à la culture de la sphaigne (Joosten 1998; 2000; Campeau et Rochefort 2002; Gaudig et Joosten 2002; Kim 2008) afin d'obtenir des fibres de sphaignes, mais en diminuant considérablement les pressions sur la flore des tourbières naturelles. En Amérique du Nord, un groupe de chercheurs ont convenu de mettre sur pied un projet de production de fibre de sphaignes sur une base renouvelable (Campeau *et al.* 2004a; Miousse 2005). Cette pratique implantée sur d'anciennes tourbières abandonnées à la suite de la récolte de tourbe par blocs permettrait de fournir rapidement une biomasse fibrique de sphaigne (Campeau *et al.* 2004a; Miousse 2005) destinée notamment à l'industrie horticole (Gaudig et Joosten 2002) et à la restauration écologique (Campeau et Rochefort 2002; Miousse 2005).

Généralement, les types de sphaigne, recherchés par l'industrie horticole, ont de grosses fibres et possèdent des caractéristiques intéressantes de porosité et d'absorption/rétention des liquides. Le *Sphagnum papillosum* Lindb. et particulièrement le *Sphagnum magellanicum* Brid., deux espèces de sphaignes de la section taxonomique *Sphagnum* reconnues pour de telles propriétés (Malcolm 1996), sont de bons candidats pour satisfaire les besoins de l'industrie (Uosukainen et Lötjönen 1997 cité dans Joosten 1998). Ces espèces possèdent certaines caractéristiques, par exemple, le degré de courbature de leurs feuilles, la fréquence, la grosseur et la distribution de leurs pores (Malcolm 1996), qui leur confèrent ces propriétés intéressantes. De plus, ces espèces, en comparaison avec d'autres espèces de sphaignes, possèdent un faible taux de décomposition (Limpens et Berendse 2003), ce qui leur confère une bonne capacité d'accumulation de biomasse.

Bien que *S. magellanicum* et *S. papillosum* semblent être des candidates idéales, il existe des différences de croissance et de productivité entre ces deux espèces selon les conditions d'humidité environnantes (Li *et al.* 1992). Selon l'étude de Li *et al.* (1992), la biomasse

formée chez *S. papillosum* est maximale dans les mois avec de fortes précipitations, tandis que chez *S. magellanicum*, elle l'est dans les mois plus secs. Rochefort et Bastien (1998) ont observé la même tendance par rapport à la régénération des capitules sur tourbe résiduelle.

Par contre, l'un des inconvénients de l'utilisation de ces espèces est leur faible succès d'établissement sur tourbe nue dans des conditions d'humidité relativement sèches (Campeau et Rochefort 1996; Chirino *et al.* 2006). Lorsque les sphaignes de la section *Sphagnum* sont introduites sous forme de fragments, la grosseur de leur tige raméales et de leurs feuilles semble restreindre leurs points de contact avec la surface de la tourbe les empêchant ainsi de bien absorber l'eau du substrat sous-jacent par capillarité. Pour contrer ce problème d'établissement et faciliter le contact avec le substrat de croissance, il est pratique courante au Chili de conditionner le substrat en introduisant des sphaignes de la section *Sphagnum*, notamment *S. magellanicum*, dans des tapis préétablis de la section *Cuspidata* (*Sphagnum cuspidatum* Ehrh. *ex Hoffm.* pour le cas du sud du Chili) (Maria Francisca Diaz, Shippagan 2007, comm. pers.).

Cette technique chilienne permettrait apparemment une régénération naturelle et rapide des sphaignes de la section *Sphagnum*. Est-il possible de tirer profit de ce type de conditionnement à partir des sphaignes de la section *Cuspidata* ici en Amérique du Nord sous nos conditions climatiques ?

D'un point de vue économique, il serait avantageux d'obtenir le plus rapidement et efficacement possible des tapis de qualité des sphaignes de la section *Sphagnum* (Campeau et Rochefort 2002). Il existe déjà des moyens bien documentés afin d'optimiser un cycle de production de sphaigne (Quinty et Rochefort 2003; Rochefort *et al.* 2003). Parmi ceux-ci, on peut citer l'utilisation d'un paillis de paille (Quinty et Rochefort 1997; Price *et al.* 1998) et la création de bassins artificiels (Price *et al.* 2002; Campeau *et al.* 2004b) qui permettent d'améliorer les conditions d'humidité à l'interface air - substrat. Le conditionnement du substrat avec des sphaignes de la section *Cuspidata*, afin d'optimiser le succès d'établissement et la croissance des sphaignes de la section *Sphagnum*, est une nouvelle approche qui sera évaluée lors de cette étude.

Le *Sphagnum fallax* (Klinggr.) Klinggr., une espèce du groupe *Cuspidata*, est très abondant dans la région de Shippagan (Nouveau-Brunswick) où sera conduit le volet au champ de la présente étude. Cette espèce est reconnue pour croître et se reproduire rapidement en longueur sur tourbe nue sous des conditions très humides (Clymo et Reddaway 1971; Hayward et Clymo 1983; Francez 1992; Grosvernier *et al.* 1997; Buttler *et al.* 1998), mais également sous des conditions moins favorables, telles que les tranchées et les planches de tourbe recolonisées où le drainage est encore effectif (Grosvernier *et al.* 1995). Le *S. fallax* est également reconnu pour sa capacité à croître horizontalement par étalement (Brock et Bregman 1989; Haig 1989 cité dans Rydin 1993b), ce qui lui permet d'établir rapidement un tapis de sphaignes continu (Overbeck et Happach 1957 cité dans Grosvernier *et al.* 1997; Twenhöven 1992). Il est également parmi les espèces les plus tolérantes à la dessiccation (Wagner et Titus 1984; Sagot et Rochefort 1996) et il est le seul à survivre à une longue exposition à des températures élevées, démontrant ainsi une forte tolérance à la chaleur (Sagot et Rochefort 1996). Titus *et al.* (1983) ont observé qu'il possédait une plus grande efficacité photosynthétique en présence d'une faible humidité ambiante comparée à *S. rubellum*. Grâce à ces caractéristiques, cette espèce serait bien adaptée pour s'établir rapidement sous forme de fragments individuels dans les microsites normalement humides, mais périodiquement asséchés comme les planches de tourbe nue des tourbières abandonnées (Titus *et al.* 1983; Wagner et Titus 1984; Andrus 1986; Grosvernier *et al.* 1995). Nous proposons donc que l'introduction avant ou en même temps de *Sphagnum fallax* et d'espèces de la section *Sphagnum* permettrait de faciliter l'établissement de ces dernières.

Cette étude examine la vitesse et le succès d'établissement des sphaignes de la section taxonomique *Sphagnum* introduites selon différents conditionnements du substrat de croissance dans un contexte de production rapide de fibre de sphaigne. Des essais en serre et au champ ont été réalisés en 2008 afin de déterminer le type de conditionnement permettant d'améliorer la vitesse d'établissement et la production de biomasse des sphaignes de la section *Sphagnum*. Les hypothèses de cette étude sont : 1) le taux d'établissement ainsi que l'accumulation de biomasse des sphaignes de la section *Sphagnum* sont supérieurs lorsqu'elles sontensemencées sur un tapis préétabli de sphaignes de la section *Cuspidata* que sur un substrat de tourbe nue ; 2) l'introduction simultanée de

S. magellanicum ou *S. papillosum*, avec l'espèce *S. fallax* facilite leur établissement comparativement à leur introduction monospécifique; et 3) la vitesse d'établissement de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* à la suite d'un ensemencement sur un tapis préétabli de *S. fallax* de 25 % de recouvrement (faible densité) est comparable à celle obtenue à la suite d'un ensemencement sur un tapis de 50 % de recouvrement (forte densité). En d'autres mots, un tapis de forte densité ne devrait pas modifier de façon considérable le contact des tiges des sphaignes de la section *Sphagnum* avec le substrat. À forte densité, le chevauchement entre les tiges de sphaignes serait plus élevé. Cette troisième hypothèse n'a été testée qu'en serre.

1.3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Deux expériences visant l'optimisation de la vitesse d'établissement et de la production de biomasse des sphaignes de la section *Sphagnum* ont été effectuées : 1) en milieu contrôlé au complexe de serres de recherche appliquée de l'Université Laval et 2) sur le terrain dans une tourbière située à Shippagan, au Nouveau-Brunswick (47°40' N, 64°43' O). L'expérience en serre fut effectuée entre le 19 mars et le 21 octobre 2008, pour un total de six semaines de conditionnement (établissement des tapis de *Sphagnum fallax* de faible et forte densités) et 24 semaines de croissance, alors que celle sur le terrain s'est déroulée entre le 29 mai et le 1^{er} octobre 2008 inclusivement, pour quatre mois de croissance. La taxonomie utilisée est celle décrite par Anderson (1990).

1.3.1. Volet en serre

1.3.1.1. Dispositif expérimental et description des traitements

Les microcosmes (110 cm x 72 cm) utilisés étaient constitués chacun d'un bac de culture à l'intérieur duquel un dispositif de tuyaux de PVC a été installé pour permettre un contrôle adéquat du niveau de l'eau. Par la suite, chacun des 12 bacs a été rempli de tourbe très peu décomposée, H3 selon l'échelle Von Post (Buteau 1985), pour être ensuite humidifiée, puis nivelée.

L'expérience menée en serre vérifiant l'effet d'un conditionnement avec *S. fallax* sur le succès d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* était structurée selon un plan en tiroirs (*split-plot*), avec le facteur « conditionnements » en parcelles principales (regroupées en six blocs) et le facteur « espèces » distribué aléatoirement en sous-parcelles. Les quatre conditionnements du substrat de croissance choisis étaient : 1) aucun (tourbe nue), 2) *Sphagnum fallax* initialement établi à faible densité, 3) *S. fallax* initialement établi à forte densité et 4) *S. fallax* introduit simultanément avec *S. magellanicum* ou *S. papillosum*. Les deux espèces de la section *Sphagnum* étudiées, soit *S. magellanicum* et *S. papillosum*, représentaient le facteur « espèces » distribué en sous-parcelle. Chaque microcosme a été divisé en deux afin d'obtenir deux unités expérimentales en parcelle principale (55 cm x 72 cm) pour un total de 24 parcelles principales (12 bacs); donc deux

traitements de conditionnement étaient alloués au hasard parmi le choix des quatre traitements testés. Par la suite, chaque unité en parcelle principale a été divisée en deux sous-parcelles de 55 cm x 36 cm pour y réintroduire les deux espèces à l'étude, soit *S. papillosum* et *S. magellanicum*; ces dernières représentaient chacune une unité expérimentale en sous-parcelle (cloisonnées par des plexiglas) pour un grand total de 48.

1.3.1.2. Application des traitements

Les sphaignes à réintroduire ont été récoltées manuellement à la tourbière de Saint-Charles-de-Bellechasse, Québec (46°45' N, 71°00' O), en novembre 2007, entreposées au réfrigérateur à 4 °C pendant deux mois et congelées à -4 °C pour une période supplémentaire de deux mois. Pour les traitements 2) et 3) décrits plus haut, soit *S. fallax* établi à faible et à forte densité, des fragments de *S. fallax* de 10 cm ont été introduits dans les parcelles principales, selon un recouvrement initial moyen des fragments de 25 % et 50 % respectivement.

Après six semaines de croissance, les tapis de *S. fallax* à faible et forte densité recouvraient respectivement 35 % et 70 % de la surface de la tourbe. À ce moment, des fragments de 10 cm des espèces de la section *Sphagnum* ont été introduits selon un pourcentage moyen de recouvrement de 38 % par sous-parcelle (Figure 1). Pour les traitements comportant un conditionnement d'introduction simultanée avec *S. fallax*, 20 % de fragments de *S. fallax* ont été introduits par unité expérimentale puis mélangés avec les fragments de *S. magellanicum* ou *S. papillosum* lors de l'introduction de ces dernières (Figure 2).



Figure 1. Exemples de sous-parcelles lors de l'application (6 semaines après l'introduction de *S. fallax*) des espèces de la section *Sphagnum*. En haut de gauche à droite : tapis de *S. fallax* à forte densité puis introduction de 1) *S. magellanicum* et 2) *S. papillosum*. En bas de gauche à droite : tapis de *S. fallax* à faible densité puis introduction de 3) *S. papillosum* et 4) *S. magellanicum*.



Figure 2. Sous-parcelle conditionnée avec *S. fallax* avec introduction simultanée de diaspores de *S. magellanicum* (ratio 1 : 2).

1.3.1.3. Conditions de croissance

Les sphaignes ont reçu de la lumière naturelle du début jusqu'à la fin de l'expérience, mais lorsque l'intensité lumineuse n'était pas suffisante (en dessous de 300 Watts m^{-2}), des lampes HPS (*High Pressure Sodium*) de 600 Watts ont procuré aux sphaignes un supplément lumineux de 6 h du matin à 22 h le soir quotidiennement. La température pour la photopériode de jour de 16 heures fluctuait entre $30 \text{ }^\circ\text{C}$ et $14 \text{ }^\circ\text{C}$, et la nuit entre $27 \text{ }^\circ\text{C}$ et $14 \text{ }^\circ\text{C}$, tandis que l'humidité relative, pour une période de 24 heures, était en moyenne de 69 % (personnel des serres de l'Université Laval, données non publiées).

Pendant les six premières semaines, lors de l'établissement de *S. fallax* (niveau de conditionnement 2 et 3), le niveau d'eau choisi était de 5 cm sous la surface de la tourbe afin de favoriser une reprise rapide des sphaignes de la section *Cuspidata* (Campeau et Rochefort 1996; Buttler *et al.* 1998). À la suite de l'introduction des espèces de la section *Sphagnum*, le niveau de l'eau a été abaissé à 10 cm sous la surface, afin d'imiter les conditions hydrologiques retrouvées dans les tourbières abandonnées après la récolte de la tourbe. Tout au long de l'expérience, les espèces végétales non ciblées ont été retirées des unités expérimentales. De plus, afin de ralentir une contamination par des champignons, apparue après cinq semaines de croissance des sphaignes de la section *Sphagnum*, les niveaux d'eau de tous les bacs ont été abaissés à 15 cm sous la surface (à la septième semaine de croissance), puis ramenés à 10 cm après seize semaines. De plus, un quart de microcosme (donc une unité expérimentale) a été détruit après six semaines de croissance des sphaignes de la section *Sphagnum*. Cette unité n'a pas été considérée lors des analyses statistiques. Pour compenser une plus grande demande en évaporation causée par un mois de septembre chaud et ensoleillé, le niveau d'eau a été remonté à 5 cm sous la surface après vingt semaines de croissance.

Durant les onze premières semaines, les unités expérimentales ont été arrosées avec une solution nutritive Rudolph modifiée non diluée (cf. Faubert et Rochefort 2002) deux fois par semaine. Ensuite, jusqu'à la fin de l'expérience, i.e. pour les treize autres semaines, la fréquence des arrosages a été augmentée à trois fois par semaine avec de l'eau de pluie. Ainsi, chaque unité expérimentale en sous-parcelle a reçu 12 et 15 L de liquide chaque semaine pour deux et trois arrosages par semaine respectivement. Cette quantité correspond

à trois fois les précipitations hebdomadaires moyennes (20 mm) aux environs de Shippagan entre mars et octobre 2008.

1.3.1.4. Variables mesurées

1.3.1.4.1. Vitesse et succès d'établissement

Pour mesurer la vitesse et le succès d'établissement des espèces de sphaigne, le pourcentage du recouvrement et le dénombrement des capitules de chacune des espèces ont été estimés visuellement, à l'aide d'abaques, à des intervalles de trois semaines (donc deux fois), puis à tous les mois (cinq fois). Pour ce faire, deux quadrats de 15 cm x 15 cm ont été disposés en diagonale toujours aux mêmes endroits dans les sous-parcelles, à chaque prise de mesure. À partir de la 12^e semaine (quatrième prise de mesure), lorsque le couvert muscinal est devenu beaucoup trop dense pour permettre un dénombrement des capitules avec précision, seule l'estimation du pourcentage de recouvrement a été effectuée.

1.3.1.4.2. Élongation des tiges de sphaigne

À la fin de l'expérience, trois échantillons de dix tiges de sphaignes par espèce ont été prélevés au-dessus de la surface de la tourbe, par unité expérimentale en sous-parcelle. Les tiges ont été mesurées en incluant le capitule afin d'obtenir leur élongation. Une fois mesuré, le matériel a été regroupé avec sa sous-parcelle d'origine pour le calcul de la biomasse.

1.3.1.4.3. Biomasse végétale

Après 24 semaines de croissance, tout le matériel végétal a été récolté afin de mesurer l'accumulation de biomasse. Chaque sous-parcelle a été divisée en deux parties égales : une moitié a été sélectionnée aléatoirement, triée par espèces et séchée à 70 °C pendant au moins 48 heures afin d'obtenir la biomasse sèche pour chaque espèce. La deuxième moitié a été séchée sans triage pour calculer la biomasse totale de chaque espèce par inférence afin de comparer les deux parties de chaque sous-parcelle. Afin d'évaluer la biomasse accumulée, des simulations d'échantillons de biomasse initialement introduite ont également été séchées, puis soustraites de la biomasse finale.

1.3.2. Volet sur le terrain

1.3.2.1. Site de l'étude

Située sur la côte nord-est du Nouveau-Brunswick, en bordure du golfe Saint-Laurent, la tourbière ombrotrophe de Shippagan fait partie d'un large complexe de milieux humides (Leverin 1947), localisé dans la région des tourbières boréales atlantiques (cf. National Wetlands Working Group 1988) (Figure 3). La température annuelle moyenne est de 5 °C avec des moyennes quotidiennes de -11 °C pour janvier et de 19 °C pour juillet. Les précipitations annuelles moyennes atteignent 1059 mm, dont 70 % sous forme de pluie (Environnement Canada 2000). D'anciennes opérations de récolte de la tourbe par blocs ont marqué la topographie de cette tourbière où se succèdent maintenant de nombreux terre-pleins et tranchées. Les conditions hydrologiques et chimiques qui prévalent dans ces anciennes tranchées de récolte par blocs favorisent l'établissement et la croissance des sphaignes (Robert *et al.* 1999). En effet, ces tranchées procurent un microclimat plus humide en retenant l'eau de surface à l'intérieur; elles sont donc idéales pour y mettre en place une culture de sphaignes. Pour une description détaillée de la tourbière de Shippagan, se référer au rapport de Campeau *et al.* (2004a).



Figure 3. Localisation du site expérimental à Shippagan (Nouveau-Brunswick).

1.3.2.2. Dispositif expérimental et description des traitements

Une expérience structurée selon un dispositif de plan en tiroirs (*split-plot*), se composant d'un facteur « conditionnement » en parcelles principales (regroupées en blocs) et d'un facteur « espèces » distribué aléatoirement en sous-parcelles. Au total, 18 parcelles principales divisées en 36 sous-parcelles (3 conditionnements x 2 espèces x 6 blocs) ont été établies. Les trois différents types de conditionnement du substrat de croissance étaient les suivants : 1) aucun (tourbe nue), 2) tapis de *Cuspidata* établi depuis un an à un ratio initial de 1 :10, c'est-à-dire que les sphaignes récoltées sur 0,1 m² ont été introduites sur une surface de 1 m² (Rocheffort *et al.* 2003) et 3) *S. fallax* introduit simultanément à un ratio de 1 :10 avec l'une des deux espèces de la section *Sphagnum*. Les deux espèces de la section *Sphagnum* étudiées étaient *S. magellanicum* et *S. papillosum*, distribuées en sous-parcelles.

Les six blocs d'une dimension approximative de 18 m x 2 m étaient dispersés dans trois tranchées différentes. Les dimensions des parcelles principales étaient de 4 m x 1 m, tandis que les sous-parcelles, qui représentaient les unités expérimentales, étaient de 1 m x 1 m (Figure 4). Le pourcentage de recouvrement initial des tapis de *Cuspidata* établis depuis un an a été estimé dans trois quadrats de 25 cm x 25 cm par unité expérimentale en sous-parcelle (1 m²) et correspondait à un couvert moyen de 5 %.

1.3.2.3. Application des traitements

La récolte du matériel végétal a été effectuée manuellement sur une semaine et demie, avant le début des travaux d'introduction. Les sphaignes ont été récoltées dans les secteurs naturels du site d'étude à Shippagan, ainsi que dans un secteur naturel d'une tourbière située à Lamèque-Portage (47°49' N, 64°38' O).

Après avoir égalisé la surface de la tourbe (Rocheffort et Bastien 1998), les fragments de sphaignes fraîchement introduits ont été recouverts d'un paillis de paille afin d'améliorer les conditions d'humidité et hydrologiques du substrat (Price *et al.* 1998), permettant ainsi de faciliter leur établissement. Un filet a aussi été installé pour éviter la dispersion par le vent et par l'eau du matériel végétal nouvellement introduit (Figure 5). Puis, à chaque

visite, toutes espèces végétales non ciblées par l'expérience ont été retirées des unités expérimentales.



Figure 4. Volet terrain. Exemple d'un bloc expérimental : 6 unités expérimentales en sous-parcelles (1 m x 1 m). 1) et 2) *S. magellanicum* et *S. papillosum* introduits sur un tapis d'un an de sphaignes de la section *Cuspidata*; 3) et 4) *S. papillosum* et *S. magellanicum* sans conditionnement; et 5) et 6) *S. magellanicum* et *S. papillosum* introduits en même temps que *S. fallax*.



Figure 5. Volet terrain : introduction des espèces de la section *Sphagnum* sans conditionnement du substrat de croissance (sur tourbe nue) et en même temps que *S. fallax*. Par la suite, les diaspores fraîchement introduites sont recouvertes d'un paillis de paille et d'un filet.

1.3.2.4. Variables mesurées

1.3.2.4.1. Succès d'établissement

Le succès d'établissement a été mesuré à l'aide de trois quadrats de 25 cm x 25 cm disposés aux mêmes endroits dans chaque unité expérimentale. Dans ces quadrats, l'estimation du pourcentage du couvert de chaque espèce a été effectuée après cinq mois de croissance des sphaignes.

1.3.3. Conditions expérimentales de croissance

Pour évaluer les variables de substrat influençant le plus la reprise de la sphaigne, des mesures du pH et de la conductivité électrique de la tourbe ont été effectuées au début et à la fin de l'expérience, à partir de la méthode SSE (Extrait de sol saturé ou *SME* : *Saturated Media Extract*). Les mesures du pH ont été prises à l'aide de l'appareil Accumet® pH meter model 10 (Fisher Scientific), tandis que la conductivité électrique, avec un conductimètre modèle 122® (ORION Research Inc.).

Au début de l'expérience en serre, le pH de la tourbe était de 3,45, tandis que la conductivité électrique non corrigée était de $86,5 \pm 7,1$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. À la fin de l'expérience, les moyennes du pH et de la conductivité électrique non corrigée étaient respectivement 3,74 et $94,3 \pm 1,2$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sur le terrain, le pH moyen était de 3,77 au début de l'expérience et à la fin de 3,74, tandis que la conductivité moyenne non corrigée était de $98,5 \pm 31,5$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ au début et de $107,2 \pm 35,4$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la fin (Annexe B). Les conditions chimiques de croissance sont ainsi demeurées essentiellement stables tout au long des expériences en serre et sur le terrain.

Par la suite, le potentiel de pression de la tourbe *in situ* a été évalué uniquement en serre à l'aide de la méthode des tensiomètres (un par bloc). Le potentiel de pression a été mesuré à 2 cm sous la surface de la tourbe avec un capteur de pression (Tensimeter™, Soil Measurement Systems, Tucson, AZ, U.S.A.) à trois reprises. Après la semaine 4, les valeurs du potentiel de pression de la tourbe variaient entre -10 et -2 mbar ce qui est bien au-dessus de la valeur critique de -100 mbar (Hayward et Clymo 1982). Des valeurs en-dessous de -100 mbar vont extraire par succion l'eau des structures intercellulaires des

sphaignes vivantes, produisant ainsi l'assèchement des sphaignes (Hayward et Clymo 1982).

Un Hobo® Pro v2 Outdoor Data Logger (Gempler's, USA) par bloc a été installé sur le rebord du microsoma afin de mesurer l'humidité relative de la serre en plus de la température. Ces mesures ont été prises à toutes les demi-heures pendant les cinq derniers mois de l'expérience en serre. Les températures les plus fraîches et les valeurs d'humidité relative les plus élevées ont été enregistrées dans le bloc 6. Toutefois, les minimums, les maximums et les moyennes sont assez similaires d'un bloc à un autre (voir Annexe B).

Le WET Sensor – WET-2 et l'hydromètre HH2 (Delta-T) ont également été utilisés afin de déterminer la teneur en eau de la tourbe dans chaque sous-parcelle (une fois en serre et une fois sur le terrain). En serre, la teneur moyenne en eau de la tourbe non corrigée était de $74,2 \pm 4,2$ %.

Les données sur le terrain ont été corrigées en fonction de la réflectance de la tourbe (Delta-T Devices Ltd 2005) en utilisant l'équation ci-dessous :

$$\text{Teneur en eau corrigée} = \frac{(\sqrt{Eb} - b_0)}{b_1}$$

Où \sqrt{Eb} = refracting index
 $b_0 = 1,48$
 $b_1 = 9,19$

La teneur moyenne en eau corrigée en fonction du type de sol était ainsi $75,8 \pm 2,8$ % (voir Annexe B).

Finalement, des profondeurs de la nappe phréatique ont été prises sur le terrain. Au total, douze puits ont été installés en 2007 sur le terrain, deux par blocs. La hauteur de la nappe phréatique a été mesurée à cinq reprises pendant la saison de croissance. La moyenne de ces mesures pour la saison de croissance de 2008 était de 7 ± 4 cm sous la surface de la tourbe (voir Annexe B).

1.3.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques des données de pourcentage de recouvrement (les deux volets), d'élongation des tiges (volet serre) et d'accumulation de biomasse (volet serre) ont été réalisées en utilisant la procédure MIXED du logiciel SAS (Littell *et al.* 2002; SAS Institute 2003; Douglass 2004). La normalité des résidus a été vérifiée et, lorsque nécessaire, les données ont subi une transformation logarithmique. Des comparaisons simples planifiées *a priori* ont été choisies pour comparer les moyennes entre les différents types de traitements, c.-à-d. (C1) le témoin, sans conditionnement, a été comparé aux autres traitements ayant subi un conditionnement, (C2) le conditionnement effectué en même temps que l'introduction des espèces de la section *Sphagnum* a été comparé aux conditionnements effectués préalablement et (C3) les différentes densités étudiées en serre ont été comparées entre elles. Le niveau de signification choisi pour vérifier les effets des traitements et pour comparer les moyennes des traitements a été établi à $P \leq 0,05$.

Les résultats des ANOVA de chaque analyse et les tableaux des analyses chimiques et physiques sont présentés en annexe lorsqu'ils n'apparaissent pas dans le texte.

1.4. RÉSULTATS

1.4.1. Volet en serre

1.4.1.1. Établissement des sphaignes de la section *Sphagnum*

Après une période de croissance de 24 semaines, les sphaignes de la section *Sphagnum* établies en monoculture ont réalisé les meilleurs taux de recouvrement (62 %) en comparant avec tous les autres traitements (34 %) (C1; $p < 0,0001$) (Figures 6 et 7). Pourtant, malgré cette performance à la toute fin de l'expérimentation, ce même traitement n'a pas obtenu autant de succès entre les semaines 4 et 20 (Figure 6). Par exemple, à la semaine 12, le traitement sans conditionnement (recouvrement de 16 %) a été le moins performant par rapport aux autres (23 %) (C1; $p = 0,0163$) (Figure 6). Ce fut plutôt le traitement comprenant un conditionnement avec des fragments de *S. fallax* simultanément introduit avec *S. magellanicum* ou *S. papillosum* qui a été le meilleur dans ce même laps de temps (26 % à la semaine 12; Figure 6).

À la fin de l'expérience (semaine 24), le pourcentage moyen de recouvrement des sphaignes de la section *Sphagnum* ayant subi un conditionnement simultané avec *S. fallax* lors de leur introduction (53 %) était grandement supérieur aux recouvrements de celui des sphaignes (section *Sphagnum*) introduites sur des tapis préétablis de *S. fallax* (24 %) (C2; $p < 0,0001$; Figure 7). Les données de recouvrement des sphaignes introduites (section *Sphagnum*) sur les deux densités de tapis de *S. fallax* n'étaient pas différentes l'une de l'autre (C3; $p = 0,6283$) et elles ont même subi une légère baisse à la toute fin (Figure 6).

Le taux moyen de recouvrement de *S. magellanicum* était toujours supérieur à celui de *S. papillosum* pour l'ensemble des conditionnements, et ce, dès la semaine 9. Ainsi, à la toute fin de l'expérience, les traitements sans conditionnement du substrat de croissance comportant du *S. magellanicum* ont obtenu un couvert moyen de 69 %, alors que ceux comportant du *S. papillosum* ont obtenu 55 % (Figure 7).

Les pourcentages de recouvrement de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* ont chuté entre les semaines 1 à 9 (Figure 6). À l'introduction, les diaspores de la section *Sphagnum* recouvraient en moyenne 38 % de la surface de la tourbe. Après neuf semaines, ils ne

recouvraient plus que 18 %. Toutefois, dans ce même laps de temps, le nombre de capitules a augmenté, passant de 1 546 à 2 591 capitules/m² en moyenne pour les deux espèces.

Pour l'établissement et toutes les autres variables mesurées, aucune interaction entre les divers types de conditionnements du substrat de croissance et les deux espèces testées n'a été détectée. Cette absence d'interaction s'explique par des réponses similaires des deux espèces aux différents conditionnements effectués. Comme il est possible de le constater, la performance des différents traitements de conditionnement a également varié selon les semaines (Figure 6).

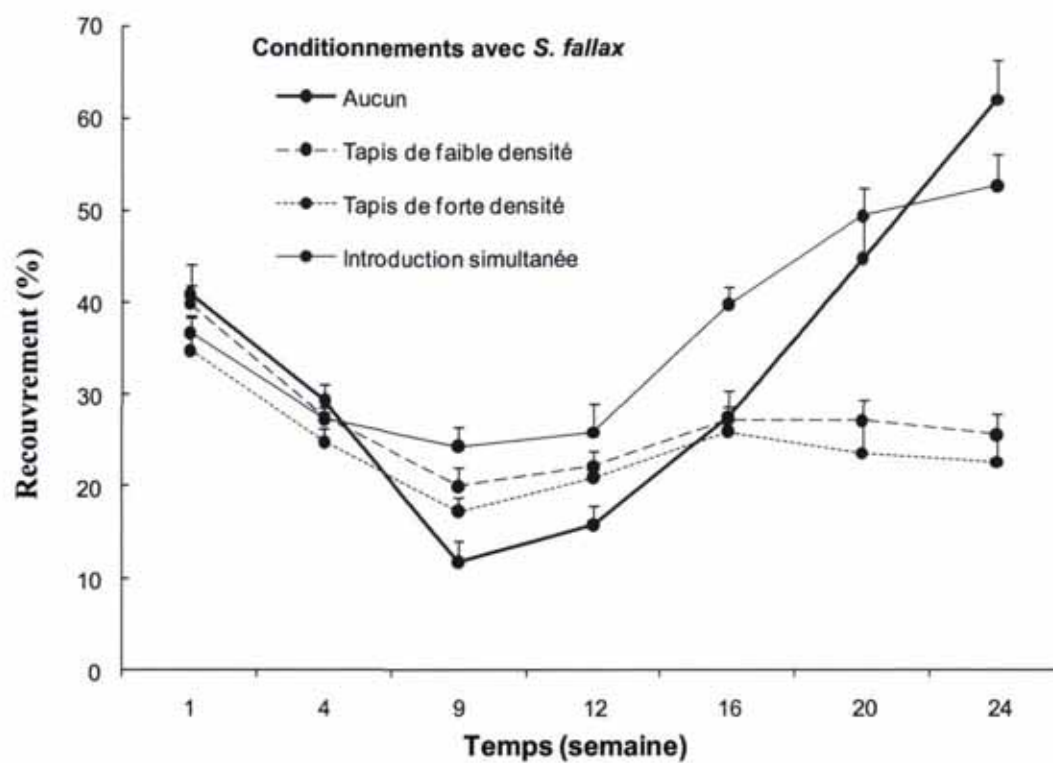
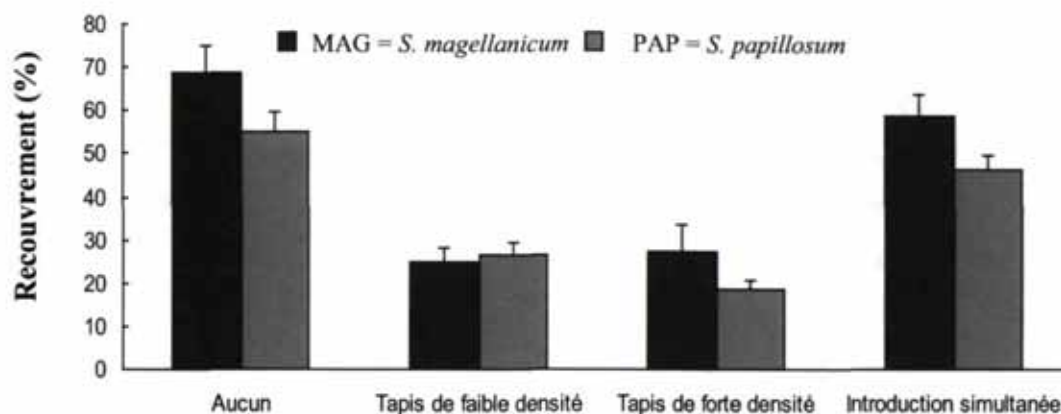


Figure 6. Effet des conditionnements du substrat de croissance sur la vitesse d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* sur une période de 24 semaines en serre. Les demi-barres I représentent l'erreur type de la moyenne. ANOVA_{semaine} : dl = 6 ; F = 37,93 ; p < 0,0001.



Conditionnements avec *S. fallax*

Figure 7. Effet des conditionnements sur le succès d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* après 24 semaines de croissance en serre. Les demi-barres I représentent l'erreur type de la moyenne. Les résultats de l'ANOVA sont les suivants : conditionnements, dl = 3 ; F = 27,89 ; p < 0,0001 ; espèces, dl = 1 ; F = 9,10 ; p = 0,0071.

1.4.1.2. Élongation des tiges de sphaignes après six mois de croissance

Les sphaignes de la section *Sphagnum* qui ont été introduites sur des tapis préétablis de *S. fallax*, peu importe la densité du tapis (C3; $p = 0,0510$), sont celles ayant les plus longues tiges (Figure 8). L'élongation moyenne des tiges des sphaignes de la section *Sphagnum* introduites sur un tapis préétabli de *S. fallax* à faible et à forte densités était, respectivement, de 57 mm et 62 mm pour *S. magellanicum*, et de 57 mm et 69 mm pour *S. papillosum*. L'élongation moyenne des tiges de sphaignes introduites simultanément avec *S. fallax* était moindre en moyenne de 17 mm de celles introduites sur des tapis préétablis de *S. fallax* (C2; $p = 0,0004$; Figure 8). Le traitement témoin a été le moins performant avec des moyennes d'élongation de 35 mm pour *S. magellanicum* et de 32 mm pour *S. papillosum* (C1; $p < 0,0001$; Figures 8 et 9).

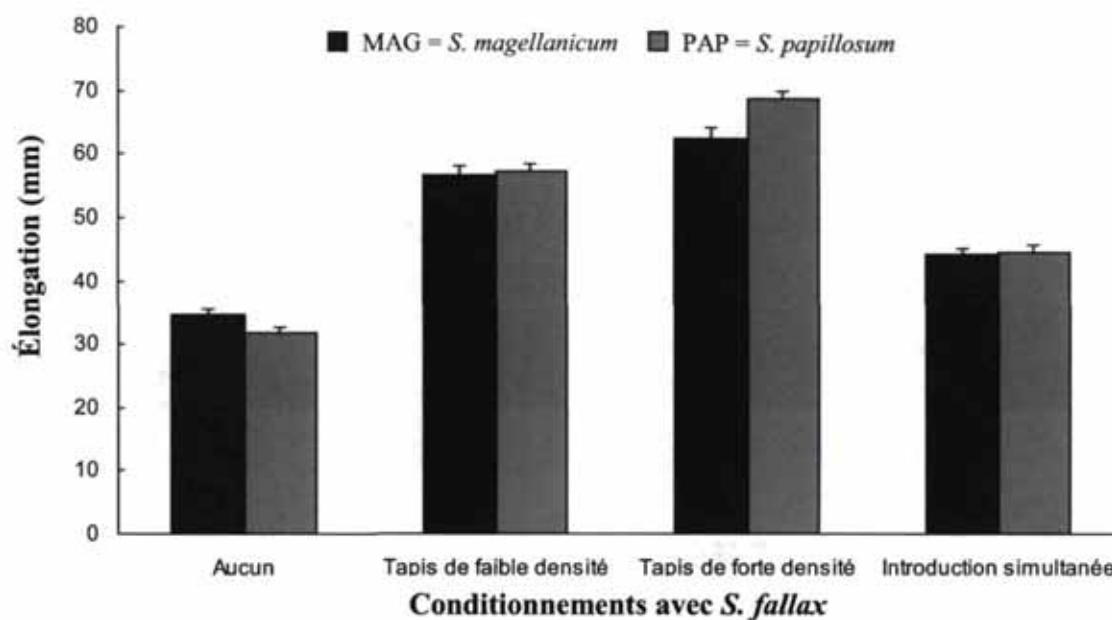


Figure 8. Élongations des sphaignes de la section *Sphagnum* selon les effets des différents conditionnements après 24 semaines de croissance en serre. Les demi-barres I représentent l'erreur type de la moyenne. Les résultats de l'ANOVA sont les suivants : conditionnements, dl = 3; F = 21,30 ; p < 0,0001.

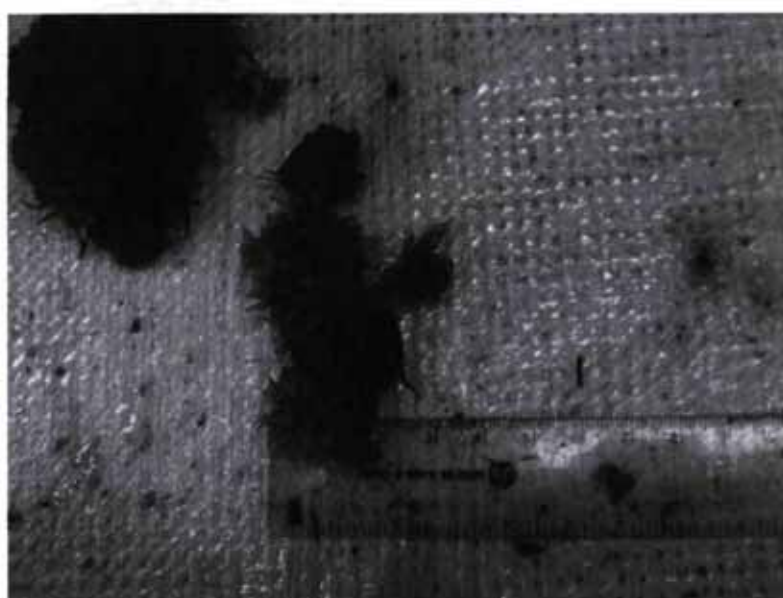
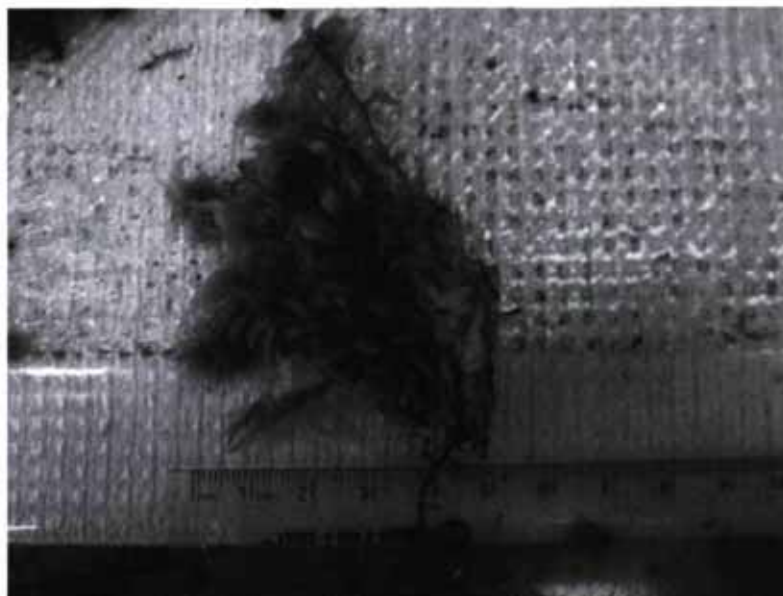


Figure 9. Mesures de l'élongation des tiges de sphaignes : exemple de tiges de *S. magellanicum* introduites simultanément avec *S. fallax* (**haut**) et introduites sur tourbe nue, sans conditionnement (**bas**), après 24 semaines de croissance en serre.

1.4.1.3. Biomasse végétale

Les sphaignes de la section *Sphagnum* introduites simultanément avec *S. fallax* ont obtenu les accumulations les plus élevées de biomasse sèche (Figure 10). Ainsi, après 24 semaines de croissance, *S. magellanicum* avait accumulé 157 g/m^2 de biomasse et *S. papillosum*, 137 g/m^2 . Les sphaignes introduites sur un substrat de tourbe non conditionné, quant à elles, présentaient les valeurs les plus basses lorsque comparées à l'ensemble des autres traitements : 101 g/m^2 de biomasse accumulée pour *S. magellanicum* et 85 g/m^2 pour *S. papillosum* (C1; $p = 0,0134$). Ce traitement avait également les tiges les plus courtes malgré des plus hauts pourcentages de recouvrement à la fin de l'expérience. Quant aux sphaignes introduites après conditionnement avec *S. fallax* à faible et à forte densités, l'accumulation moyenne de biomasse après six mois de croissance était respectivement 112 g/m^2 et 117 g/m^2 pour *S. magellanicum* et 115 g/m^2 et 100 g/m^2 pour *S. papillosum*. Ces deux traitements étaient également différents du meilleur traitement (C2; $p = 0,0076$), mais non l'un de l'autre (C3; $p = 0,7568$).

Comme on devrait s'y attendre, la biomasse finale de *S. fallax* était plus abondante dans les traitements où elle était établie à forte densité, puis à faible densité et finalement lorsqu'elle était introduite simultanément avec les espèces de la section *Sphagnum* (Figure 11).

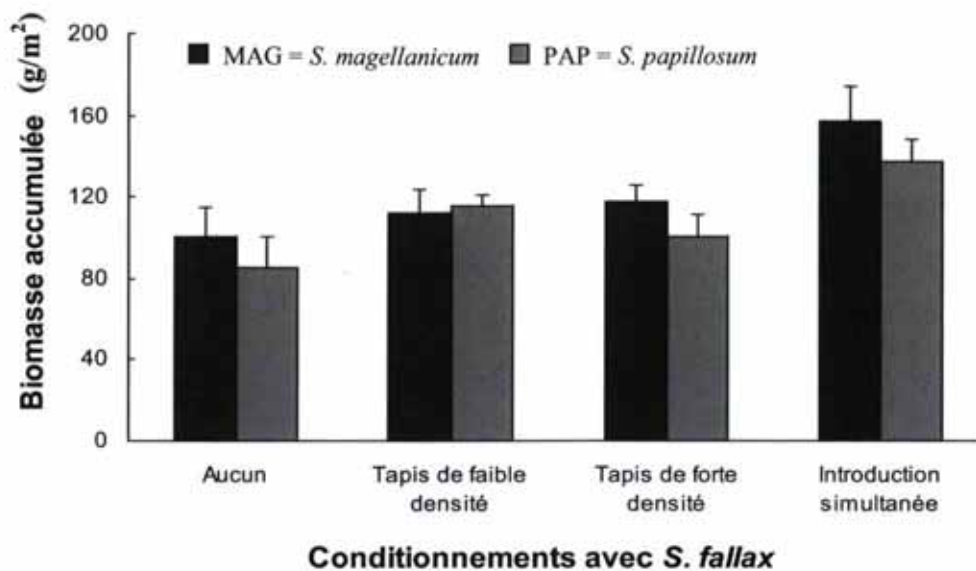


Figure 10. Effets des différents conditionnements sur l'accumulation de biomasse sèche des sphaignes de la section *Sphagnum* après 24 semaines de croissance en serre. Les demi-barres I représentent l'erreur type de la moyenne. Les résultats de l'ANOVA sont les suivants : conditionnements dl = 3; F = 5,86 et p = 0,0074.

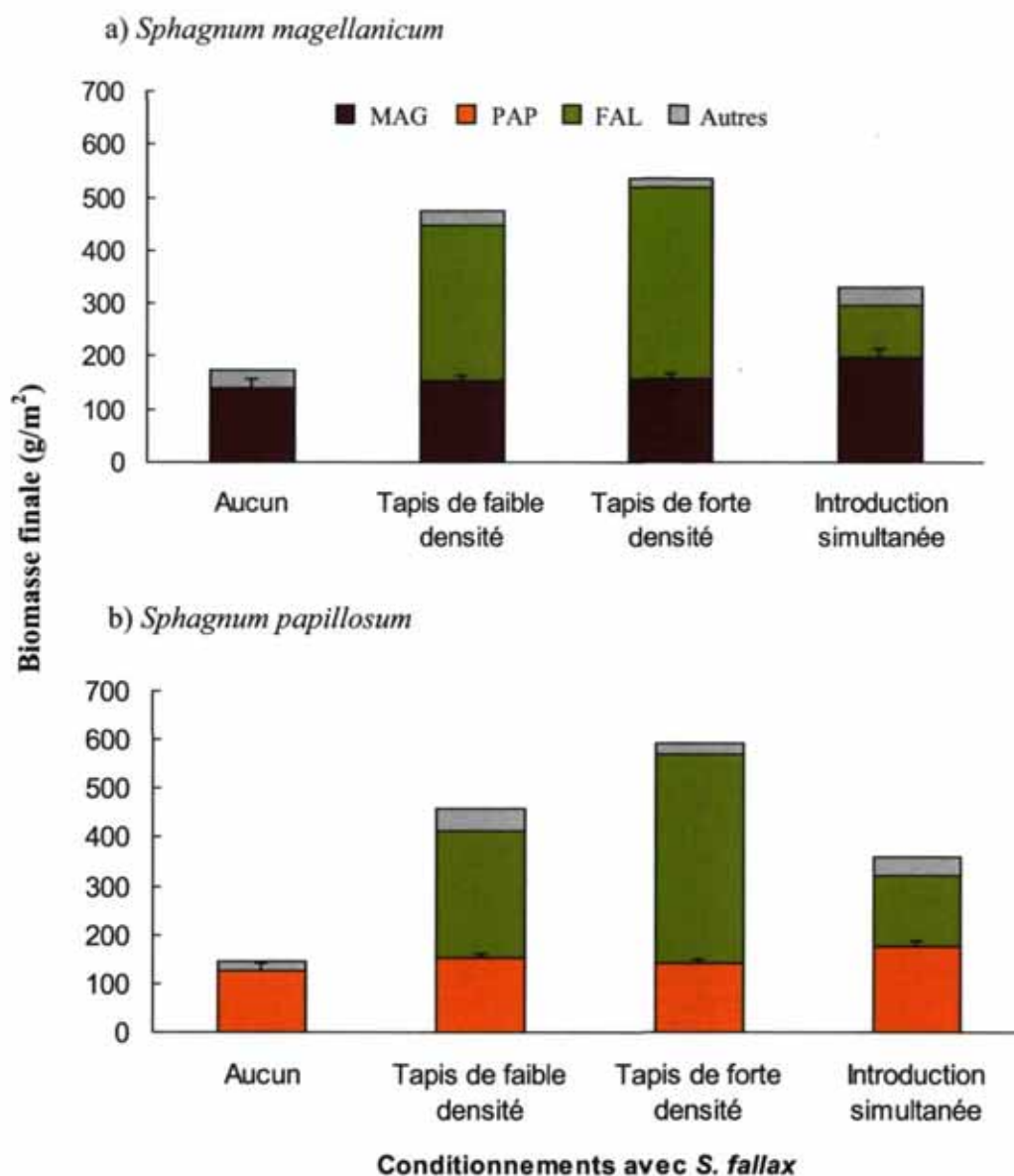


Figure 11. Effets des conditionnements sur la biomasse finale sèche de toutes les espèces végétales après huit mois (FAL et autres) et six mois (section *Sphagnum*) de croissance en serre : a) *S. magellanicum*, b) *S. papillosum*. Les demi-barres I représentent l'erreur type de la moyenne. Les abréviations suivantes sont utilisées : FAL = *S. fallax*; Autres = débris de tourbe et espèces non ciblées.

1.4.2. Volet sur le terrain

1.4.2.1. Établissement des sphaignes de la section *Sphagnum*

Le traitement témoin, sur tourbe nue, a été celui avec les meilleurs taux d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* avec des valeurs de 38 % pour *S. magellanicum* et 42 % pour *S. papillosum* (C1; $p = 0,0003$; Figure 12) après une saison de croissance. Il n'y avait aucune différence entre les sphaignes de la section *Sphagnum* introduites simultanément avec *S. fallax* et celles introduites sur un substrat conditionné préalablement par des espèces de la section *Cuspidata* (C2; $p = 0,1594$) : 22 % pour *S. magellanicum* et 26 % pour *S. papillosum* (introduites simultanément avec *S. fallax*), puis 19 % pour *S. magellanicum* et 17 % pour *S. papillosum* (introduites sur tapis préétablis de *Cuspidata*).

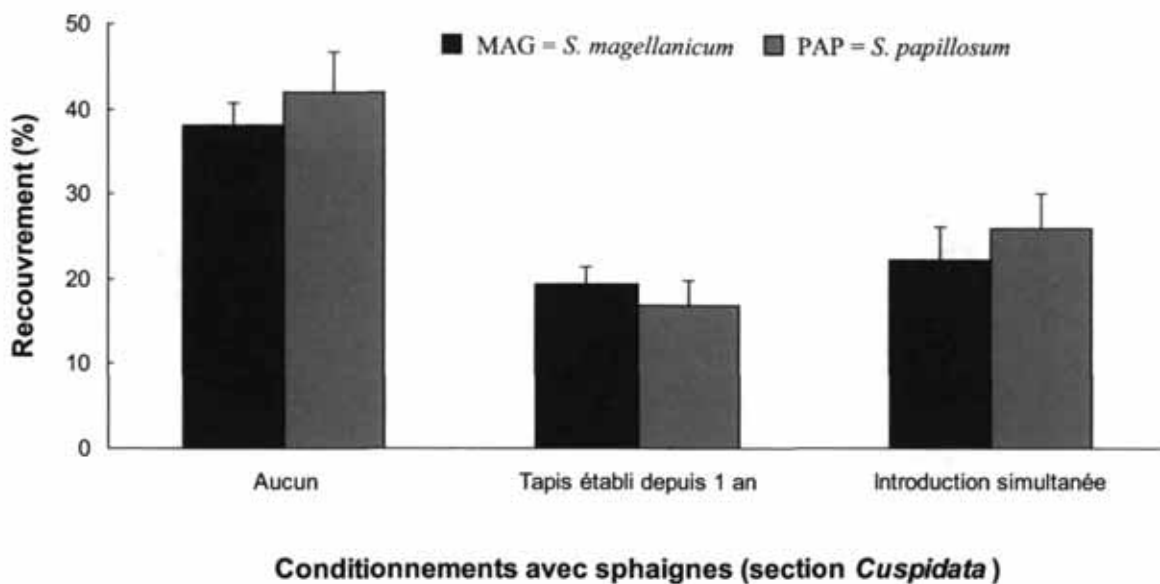


Figure 12. Effets des conditionnements du substrat sur le succès d'établissement des espèces de la section *Sphagnum* après quatre mois de croissance sur le terrain. Les demi-barres I représentent l'erreur type de la moyenne. Les résultats de l'ANOVA sont les suivants : conditionnements, $df = 2$; $F = 16,33$ et $p = 0,0007$.

1.5. DISCUSSION

1.5.1. Succès d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum*

L'introduction d'espèces de la section *Sphagnum* sur un tapis conditionné avec *S. fallax* ne favorise ni leur succès d'établissement, ni leur production de biomasse, et ce, peu importe la densité du tapis initial de *S. fallax*. Ces données, obtenues en serre et sur le terrain, ne supportent donc pas notre première hypothèse de départ, soit que le taux d'établissement ainsi que l'accumulation de biomasse des sphaignes de la section *Sphagnum* sont supérieurs lorsqu'elles sont ensemencées sur un tapis préétabli de sphaignes de la section *Cuspidata* que sur un substrat de tourbe nue. Toutefois, ces données confirment la troisième hypothèse qui était que la vitesse d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* à la suite d'un ensemencement sur un tapis préétabli de *S. fallax* de faible densité est comparable à celle obtenue à la suite d'un ensemencement sur un tapis de forte densité.

Par ailleurs, nous pouvons confirmer en partie la deuxième hypothèse : le conditionnement du substrat de croissance procure un avantage aux sphaignes de la section *Sphagnum* en facilitant leur établissement. Malgré la supériorité d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* en monoculture sur tourbe nue à la toute fin de l'expérience, ces dernières ont toutefois pris plus de temps à s'établir comparativement aux substrats avec conditionnement entre les semaines 4 et 16. Nos résultats supportent donc que les sphaignes de la section *Sphagnum* ont effectivement de la difficulté à s'établir sur un substrat de tourbe nue lors des premières phases d'établissement, en conditions plus sèches (Chirino *et al.* 2006). Mais lorsqu'elles sont bien établies et que les conditions d'humidité sont idéales, elles deviennent très performantes en monoculture (Li *et al.* 1992; Campeau et Rochefort 1996). De plus, entre les semaines 1 et 4, tous les traitements ont réagi de la même façon, c'est-à-dire malgré l'assèchement des fragments introduits, il y a eu une régénération de ceux-ci. En effet, plusieurs jeunes capitules se sont développés à partir des tiges mères dans ce même laps de temps.

L'effet facilitant recherché de *S. fallax* sur l'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum* pourrait bien dépendre des conditions de croissance prévalentes, notamment de l'humidité du substrat et des conditions climatiques lors de l'année d'introduction. Par

exemple, contrairement à notre étude, Chirino *et al.* (2006) ont révélé que l'introduction monospécifique de *S. magellanicum* présentait les plus basses performances pendant les quatre années de suivi sur le terrain comparativement aux traitements avec introduction plurispécifique de sphaignes. Le *S. magellanicum* présentait un recouvrement moyen d'un peu moins de 10 % après une saison de croissance et de 20 % après quatre ans pour un ratio d'ensemencement de 1:15, alors que nous avons obtenu 40 % après une saison pour un ratio d'ensemencement de 1:10. Les chercheurs font remarquer que les conditions climatiques étaient très variables et que les périodes de sécheresse ont affecté négativement le développement de toutes les mousses sur le terrain. De plus, ces derniers ont constaté que les conditions climatiques initiales, lors de l'introduction des sphaignes, semblaient avoir un impact à long terme sur le développement du tapis de mousse. Dans notre cas, des conditions d'humidité favorables, notamment une nappe phréatique élevée (7 ± 4 cm sous la surface de la tourbe) et des précipitations abondantes (343,7 mm) et bien distribuées dans la saison de croissance de 2008 ont favorisé un bon établissement des sphaignes. De plus, Campeau *et al.* (2004b) ont noté des pourcentages de recouvrement d'un peu plus de 60 % après quatre saisons de croissance pour *S. magellanicum* initialement introduit en monoculture dans des bassins peu profonds. Par contre, ils ont obtenu des pourcentages beaucoup plus faibles (< 10 %) lorsque *S. magellanicum* était introduit sur une surface plane avec des conditions d'humidité moins favorables que dans les bassins. Ainsi, en présence de conditions d'humidité très favorables, conditionner le substrat de croissance avant ou en même temps que l'introduction des espèces de la section *Sphagnum* ne semble pas nécessaire.

Pourtant, lors de conditions d'humidité moins propices à l'établissement des sphaignes, les fragments de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* semblent profiter de la présence d'une espèce qui croît et se régénère plus rapidement. Chirino *et al.* (2006) ont montré un progrès du taux de recouvrement lorsque *S. angustifolium* (une proche parente de *S. fallax*; Vitt et Slack 1984) et *S. magellanicum* sont introduits simultanément, et ce, dès la troisième saison de croissance sur le terrain. Il semble que la réintroduction de *S. magellanicum* en compagnie d'autres espèces de sphaignes favorise un meilleur développement de cette dernière (GRET données non publiées). Dans notre étude, cette facilitation ne s'est manifestée qu'entre les semaines 4 et 16 (Figure 6). En effet, le traitement comprenant une

introduction simultanée de *S. magellanicum* ou de *S. papillosum* avec *S. fallax* a favorisé un meilleur établissement des espèces cibles durant les premiers 3 à 4 mois de la phase d'établissement qui correspond à une période relativement sèche en serre. Il faut noter que dans ce laps de temps le niveau de l'eau a été abaissé afin d'imiter les conditions retrouvées sur le terrain. Cet effet bénéfique sur l'établissement de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* lorsqu'introduite en présence de *S. fallax* peut, notamment, s'expliquer par la quantité de fragments introduits. En d'autres mots, la densité totale de sphaignes introduites dans les traitements comportant un conditionnement était plus élevée que dans les traitements sans conditionnement. Une plus grande densité initiale de diaspores semble avoir favorisé la régénération et l'établissement des sphaignes (Campeau et Rochefort 1996), permettant ainsi d'agir rapidement pour prévenir la formation d'une croûte biologique. Selon Chirino *et al.* (2006), si un tapis de sphaignes ne s'établit pas extensivement à l'intérieur de deux ans après la réintroduction, une croûte dense se formera sur la surface de tourbe résiduelle entre les mousses nouvellement établies, prévenant ainsi une colonisation complète du substrat par les sphaignes à court terme.

Toutefois, *S. fallax* peut s'avérer compétitif et moins facilitateur pour l'établissement des sphaignes que présumé à partir d'études sur les successions secondaires de paludification suivant la coupe forestière au Chili (Maria Francisca Diaz, Shippagan 2007, comm. pers.). Par exemple, Twenhöven (1992), dans son étude sur la compétition entre *S. magellanicum* et *S. fallax* dans trois microhabitats sous différentes doses de nitrate et d'ammonium, a observé que *S. fallax* surclassait *S. magellanicum* notamment dans les dépressions où la nappe phréatique est près du sol. Le *S. fallax* s'est révélé beaucoup plus productif pour une saison de croissance sur le terrain avec environ 600 g/m^2 comparativement à *S. magellanicum* produisant 400 g/m^2 dans ce type de milieu avec des concentrations de nitrate et d'ammonium équivalentes à celles retrouvées dans de l'eau de pluie (Twenhöven 1992). Durant les dernières semaines de notre expérience en serre, le recouvrement des sphaignes de la section *Sphagnum* introduites sur des tapis préétablis de *S. fallax* a diminué (Figure 6). Selon Yodzis (1978) cité dans Rydin (1986), le résultat de la compétition, peu importe la nature de celle-ci, peut se mesurer en dénotant le changement dans l'aire occupée par l'espèce combattante, ici les sphaignes de la section *Sphagnum*. Quelques études traitant de compétition intraspécifique chez les sphaignes (Rydin 1986; Slack 1990;

Rydin 1993a) ont montré que l'occupation d'une certaine aire par une tige d'une espèce empêche son recouvrement par une autre, suggérant ainsi une interaction de compétition par interférence pour l'espace entre les tiges des différentes espèces. Money (1995) a également observé l'absence de régénération des fragments de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* lorsque ces derniers étaient introduits sur une plateforme continuellement humide. Ce dernier suggère que leur faible taux d'établissement peut s'expliquer par un étouffement provoqué par la croissance prolifique d'autres espèces mieux adaptées à des conditions très humides. Ainsi, les processus de facilitation et de compétition semblent dépendre, notamment, des conditions de croissance. Il faut également remarquer que *S. fallax* était déjà bien établi lorsque les sphaignes de la section *Sphagnum* ont été introduites dans deux des traitements (tapis de faible et forte densités), ce qui pourrait également expliquer la difficulté de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* à performer et à maintenir leur espace dans le tapis.

En phase d'établissement, sur tourbe nue, mais hors de l'eau libre, *S. magellanicum* performe mieux que *S. papillosum* lorsque les conditions d'humidité ne sont pas optimales (Campeau et Rochefort 1996). Dans notre étude en serre, pour l'ensemble des conditionnements effectués, *S. magellanicum* a obtenu les meilleurs taux de recouvrement comparativement à *S. papillosum* pour les trois derniers mois de l'expérience. Ces résultats concordent bien avec les observations de Li *et al.* (1992) pour la croissance de *S. magellanicum* sous des conditions expérimentales. Pendant les périodes les plus sèches en serre, il a été possible de constater un assèchement beaucoup plus rapide des tiges et des capitules de *S. papillosum*, notamment dans les traitements où aucun conditionnement n'avait été effectué. Les sphaignes les plus affectées par une carence en eau devenaient blanchâtres et s'effritaient facilement : une indication de l'absence d'eau dans les cellules hyalines (Clymo et Hayward 1982; Hayward et Clymo 1982). Le *S. magellanicum* possède certaines caractéristiques, morphologiques et anatomiques, qui lui permettent de transporter l'eau plus rapidement et d'accroître sa capacité d'absorption/rétention d'eau au niveau du capitule contrairement au *S. papillosum* (Hill 1978; Hayward et Clymo 1982; Li *et al.* 1992). En effet, généralement, la tige de *S. magellanicum* a un plus grand diamètre, puis ses feuilles raméales et caulinaires sont plus longues (Hill 1978; Li *et al.* 1992). Elle possède également un nombre supérieur de rameaux pendants (Hill 1978), ce qui augmenterait sa

capacité de transporter l'eau par capillarité (Hill 1978; Titus et Wagner 1984; Rydin 1985). Ainsi, les périodes de sécheresse semblent avoir affecté davantage la régénération de *S. papillosum* en phase d'établissement que *S. magellanicum*, ce qui pourrait expliquer les taux d'établissement plus faibles pour *S. papillosum* à la fin de l'expérience en serre.

Les résultats obtenus pour le traitement témoin, sans conditionnement, après six mois de croissance en serre (60 %), quoiqu'inférieur à ceux de Campeau et Rochefort (1996), permettent de tirer une conclusion similaire : lors de conditions de croissances optimales, il n'est pas nécessaire de conditionner le substrat de croissance pour faciliter l'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum*. En effet, Campeau et Rochefort (1996) ont observé des pourcentages de recouvrement de près de 100 % pour *S. magellanicum* et *S. papillosum* après 6 mois de croissance. Dans cette expérience effectuée en serre, les sphaignes ont été introduites en monoculture selon une densité initiale de 450 tiges de sphaignes par m² et le niveau de l'eau fut maintenu à 5 cm sous la surface de la tourbe, tandis que dans notre étude le niveau de l'eau fut abaissé en-dessous de 5 cm à deux reprises.

1.5.2. Élongation

Bien que le fait de conditionner le substrat de croissance avec *S. fallax* semble avoir peu d'influence sur le succès d'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum*, il favorise bien l'élongation de leurs tiges. Lors de l'introduction des fragments de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* sur un tapis préétabli de *S. fallax*, les sphaignes de la section *Sphagnum* ont changé de forme de croissance afin d'avoir un contact direct avec l'eau du substrat (Green 1968; Smolyanitsky 1977 cité dans Rydin 1985; Luken 1985; Li *et al.* 1992; Rydin 1993b). Cette modification des conditions de croissance leur a donc permis de pousser davantage en longueur comparativement aux sphaignes introduites sur un substrat de tourbe nue. Elles étaient généralement plus minces et plus fines avec moins de capitules par tige mère que celles sur tourbe nue ou introduites simultanément avec *S. fallax*. La disponibilité en eau affecte donc les caractéristiques morphologiques des tiges et des feuilles, qui stimulent à leur tour le transport d'eau jusqu'au capitule (Hayward et Clymo 1982; Baker et Boatman 1989).

Les tapis établis de *S. fallax* agissent comme une matrice protectrice (Titus et Wagner 1984) en entourant les tiges des sphaignes de la section *Sphagnum* et en leur procurant, par transport latéral (Clymo et Hayward 1982; Rydin 1985; 1993a; b), les quantités d'eau nécessaires à leur survie. En d'autres mots, les tiges de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* introduites sur des tapis bien établis de *S. fallax* ont probablement maintenu un contenu en eau plus élevé que les tiges sur tourbe nue par des processus de mouvements d'eau entre les tiges. Il peut donc s'agir d'une forme de facilitation qui se produit en combinaison avec la compétition intraspécifique (Rydin 1985; 1993b), mais affectant davantage *S. magellanicum* et *S. papillosum* en phase d'établissement que *S. fallax*. Pourtant, cet équilibre entre ces formes de facilitation et de compétition n'a pas perduré : à la toute fin de l'expérience, l'aire recouverte par les tiges des espèces de la section *Sphagnum* introduites sur des tapis de *S. fallax* a diminué (Figure 6). De plus, pendant le dernier mois de croissance, le recouvrement des sphaignes introduites sans conditionnement a dépassé celui des sphaignes introduites simultanément avec *S. fallax*. Ainsi, tel que décrit par Callaway et Walker (1997) et Holmgren *et al.* (1997), les événements de facilitation et de compétition interviennent selon les conditions abiotiques de croissance et les effets d'une espèce sur une autre dépendent de l'interaction la plus forte pour un environnement donné à un moment donné.

1.5.3. Biomasse végétale

Le conditionnement du substrat de croissance effectué en même temps que l'introduction de *S. magellanicum* ou de *S. papillosum* permet d'augmenter la production de biomasse de ces dernières, supportant notre deuxième hypothèse. Dans les traitements de conditionnement simultané, le nombre de ramifications des tiges de la section *Sphagnum* était supérieur à celles introduites sur des tapis établis de *S. fallax* (données non présentées), malgré qu'elles aient obtenu des tiges moins longues que les sphaignes de la section *Sphagnum* introduites sur des tapis établis de *S. fallax*. Li *et al.* (1992) ont démontré une corrélation entre l'accroissement de la biomasse et la reproduction végétative, c'est-à-dire, la fréquence de ramifications chez les espèces de la section *Sphagnum*. Le *S. magellanicum* et le *S. papillosum* introduits simultanément avec *S. fallax* ont dépassé tous les autres traitements quant à l'accumulation de biomasse. Il semble que la difficulté à

s'établir des espèces cibles introduites sans conditionnement pendant les semaines 4 à 16 ait affecté leur accumulation de biomasse. Plusieurs chercheurs ont effectivement observé qu'un stress hydrique entraîne une réduction de la capacité photosynthétique des sphaignes (Titus *et al.* 1983; Titus et Wagner 1984; Rydin et McDonald 1985; Wallén *et al.* 1988) affectant ainsi leur taux de croissance (Rydin 1986; Wallén *et al.* 1988).

1.6. CONCLUSIONS

L'étude précédente permet de conclure que lorsque les conditions d'humidité sont optimales, des interactions de compétitions entrent en jeu entre les espèces nuisant au succès d'établissement de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* lorsque ces dernières sont introduites en présence de *S. fallax*. Toutefois, lors de périodes de sécheresse plus prononcées, par exemple au tout début de l'établissement, les fragments des deux espèces de la section *Sphagnum* profitent de la présence d'une espèce qui croît et se régénère rapidement comme *S. fallax*.

Ainsi, le traitement témoin, sur tourbe nue, a obtenu à la fin de l'expérience les meilleures performances malgré un faible taux de recouvrement lors des premières phases d'établissement en serre (conditions plus sèches). Il est fort possible que ce traitement ait obtenu la plus grande accumulation de biomasse si l'expérience en serre avait été de plus longue durée. Il faudrait mesurer l'accumulation de biomasse sur le terrain pour les prochaines années afin de vérifier si on obtient les mêmes résultats qu'en serre. De même, il serait intéressant de continuer l'estimation du couvert des différentes espèces de sphaignes afin de comprendre davantage les processus de compétition et de facilitation régissant l'établissement et la croissance des sphaignes sur le terrain. En effet, Rydin (1993b) a montré l'importance d'études à long terme par rapport à des études effectuées à court terme lorsque des espèces végétales poussant très lentement sont étudiées. Ainsi, après cinq ans, ce dernier a obtenu des résultats différents de ceux obtenus dans une période de temps inférieure. De plus, les stades de vie, les conditions physiologiques des espèces interagissant, les interactions indirectes (présence d'une troisième espèce) et l'environnement physique peuvent changer la balance entre la compétition et la facilitation pour une communauté végétale donnée, et ce, davantage sur une base temporelle que spatiale (Callaway et Walker 1997). Ainsi, la compétition intraspécifique entre *S. fallax* et les sphaignes de la section *Sphagnum* pourrait varier d'une année à une autre.

D'autre part, est-il préférable de cultiver les espèces de la section *Sphagnum* à l'état pur malgré des effets significatifs d'un conditionnement du substrat de croissance lors de périodes de sécheresse importante? La réponse à cette question dépend en grande partie du

but visé, du temps de culture et de l'utilisation finale du produit. Ainsi, si l'on souhaite développer de nouveaux substrats de croissance en horticulture selon les propriétés propres de chacune des espèces de sphaignes, l'utilisation d'espèces provenant de différentes sections peut être avantageuse. Toutefois, dans un contexte de production de grosses fibres de sphaignes dans un laps de temps relativement court, il est préférable d'introduire uniquement des sphaignes de la section *Sphagnum*. Ainsi, il faudrait étudier les avantages d'une amélioration des conditions d'humidité du site de culture et/ou de l'introduction de plus grandes densités de sphaignes de la section *Sphagnum* comparativement à une introduction plurispécifique de sphaignes. De plus, l'introduction de différentes densités de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* en monoculture ou en mélange avec *S. fallax*, selon un gradient d'humidité variant d'une sécheresse prolongée à une inondation complète, serait une possibilité d'expérience intéressante lors de futures études. Il faudrait également inclure des traitements de mêmes densités (toute espèce confondue) que les traitements ne comportant que des sphaignes de la section *Sphagnum* pour ainsi voir s'il y a effectivement facilitation en présence de *S. fallax*. Cela permettrait d'identifier les densités et les mélanges optimaux à favoriser pour un établissement et une croissance rapide dépendamment des conditions de croissance prévalentes et du produit final recherché.

1.7. RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, L.E. 1990. A checklist of *Sphagnum* in North America North of Mexico. The Bryologist 93: 500-501.
- Andrus, R.E. 1986. Some aspects of *Sphagnum* ecology. Canadian Journal of Botany 64: 416-426.
- Baker, R.G.E. et Boatman, D.J. 1989. The relationship between some morphological and chemical features of *Sphagnum cuspidatum* Ehrh. and physical characteristics of the environment. New Phytologist 113: 471-480.
- Brock, T.C.M. et Bregman, R. 1989. Periodicity in growth, productivity, nutrient content and decomposition of *Sphagnum recurvum* var. *mucronatum* in a fen woodland. Oecologia 80: 44-52.
- Buteau, P., 1985. Propriétés physico-chimiques de la tourbe du Québec méridional en vue d'utilisations industrielles. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la géologie, Québec, Québec. Rapport ET 85-09. 68 p.
- Buttler, A., Grosvernier, P. et Matthey, Y. 1998. Development of *Sphagnum fallax* diaspores on bare peat with implications for the restoration of cut-over bogs. Journal of Applied Ecology 35: 800-810.
- Callaway, R.M. et Walker, L.R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. Ecology 78: 1958-1965.
- Campeau, S. et Rochefort, L. 1996. *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. Journal of Applied Ecology 33: 599-608.
- . 2002. Possibilities and limits to *Sphagnum* farming. Dans Peat in horticulture - Quality and environmental challenges. Proceedings of the 2002 International Peat Symposium, Pärnu, Estonie, 3 au 6 septembre 2002. Sous la direction de G. Schmilewski et L. Rochefort. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 264-269.
- Campeau, S., Miousse, L. et Quinty, F. 2004a. Caractérisation du site expérimental de Shippagan et techniques suggérées dans un but de recherche sur la production de fibre de sphaigne. Bryophyta Technologie Inc., Saint-Charles-de-Bellechasse, Québec.
- Campeau, S., Rochefort, L. et Price, J.S. 2004b. On the use of shallow basins to restore cutover peatlands: Plant establishment. Restoration Ecology 12: 471-482.
- Chirino, C., Campeau, S. et Rochefort, L. 2006. *Sphagnum* establishment on bare peat: The importance of climatic variability and *Sphagnum* species richness. Applied Vegetation Science 9: 285-294.
- Clymo, R.S. et Hayward, P.M. 1982. The ecology of *Sphagnum*. Dans Bryophyte ecology. Sous la direction de A.J.E. Smith. Chapman & Hall, Londres, Royaume-Uni. P. 229-289.
- Clymo, R.S. et Reddaway, E.J.F. 1971. Productivity of *Sphagnum* (bog-moss) and peat accumulation. Hydrobiologia 12: 181-192.
- Delta-T Devices Ltd. 2005. User Manual for the WET Sensor type WET-2, Cambridge, Royaume-Uni.
- Douglass, L. 2004. BIOM 602 - Biostatistics II. Lecture and Lab Notes. University of Maryland, États-Unis.

- Environnement Canada. 2000 (Page consultée le 24 septembre 2008). Archives nationales d'information et de données climatologiques, [En ligne]. Adresse URL: http://climate.weatheroffice.gc.ca/Welcome_f.html.
- Faubert, P. et Rochefort, L. 2002. Response of peatland mosses to burial by wind-dispersed peat. *The Bryologist* 105: 96-103.
- Francez, A.-J. 1992. Croissance et production primaire des sphaignes dans une tourbière des Monts du Forez (Puy-de-Dôme, France). *Vie milieu* 42: 21-34.
- Gaudig, G. et Joosten, H. 2002. Peat moss (*Sphagnum*) as a renewable resource - An alternative to *Sphagnum* peat in horticulture? Dans *Peat in horticulture - quality and environmental challenges*. Proceeding of the 2002 International Peat Society Symposium, Pärnu, Estonie, 3 au 6 septembre 2002. Sous la direction de G. Schmilewski et L. Rochefort. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 117-125.
- Green, B.H. 1968. Factors influencing the spatial and temporal distribution of *Sphagnum imbricatum* Hornsch. ex Russ. in the British Isles. *Journal of Ecology* 56: 47-58.
- Grosvernier, P., Matthey, Y. et Buttler, A. 1995. Microclimate and physical properties of peat: New clues to the understanding of bog restoration processes. Dans *Restoration of temperate wetlands*. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Royaume-Uni. P. 435-450.
- . 1997. Growth potential of three *Sphagnum* species in relation to water table level and peat properties with implications for their restoration in cut-over bogs. *The Journal of Applied Ecology* 34: 471-483.
- Haig, E.T.W. 1989. Individual interactions in *Sphagnum* populations. Thèse de doctorat, University of London, Royaume-Uni.
- Hayward, P.M. et Clymo, R.S. 1982. Profiles of water content and pore size in *Sphagnum* and peat, and their relation to peat bog ecology. *Proceedings of the Royal Society of London Series B* 215: 299-325.
- . 1983. The growth of *Sphagnum*: Experiments on, and simulation of, some effects of light flux and water-table depth. *Journal of Ecology* 71: 845-863.
- Hill, M.O. 1978. Sphagnopsida. Dans *The moss flora of Britain and Ireland*. Sous la direction de A.J.E. Smith. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni. P. 30-78.
- Holmgren, M., Scheffer, M. et Huston, M.A. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78: 1966-1975.
- Joosten, H. 1998. Peat as a renewable resource: The road to paludiculture. Dans *Peatland restoration and reclamation, techniques and regulatory considerations*. Proceedings of the 1998 International Peat Symposium Duluth, Minnesota, États-Unis, 14 au 18 juillet 1998. *Sous la direction de T. Malterer, K. Johnson et J. Stewart*. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 56-63.
- . 2000. Peat farming: the ultimate challenge for peat "producers". *Peatlands International* 1/2000: 35-36.
- Kim, Y.K. 2008. Development and its assessment of construction method of *Sphagnum* wetland for landscape use. Thèse de doctorat, Interdisciplinary Doctorial Program in Landscape Architecture Major, Seoul National University, Séoul, Corée du Sud.
- Leverin, H.A., 1947. Les dépôts de tourbe de mousse au Canada. Ministère des Mines et des Ressources (Canada), Ottawa. Rapport no 1817.

- Li, Y., Glime, J.M. et Liao, C. 1992. Responses of two interacting *Sphagnum* species to water level. *Journal of Bryology* 17: 59-70.
- Limpens, J. et Berendse, F. 2003. How litter quality affects mass loss and N loss from decomposing *Sphagnum*. *Oikos* 103: 537-547.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W. et Wolfinger, R.D. 2002. SAS System for Mixed Models. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, États-Unis, 633 p.
- Luken, J.O. 1985. Zonation of *Sphagnum* mosses: Interactions among shoot growth, growth form, and water balance. *The Bryologist* 88: 374-379.
- Malcolm, J.E. 1996. Relationships between *Sphagnum* morphology and absorbency of commercial *Sphagnum* board. Thèse de maîtrise, Département de botanique, University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- Miousse, L. 2005. Site expérimental dédié à la culture de la sphaigne à Shippagan, Nouveau-Brunswick. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 21 p.
- Money, R.P. 1995. Re-establishment of a *Sphagnum*-dominated flora on cut-over lowland raised bogs. Dans *Restoration of temperate wetlands*. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley and Sons, Chichester, Royaume-Uni. P. 405-422.
- National Wetlands Working Group. 1988. *Wetlands of Canada*. Polyscience Publications in cooperation with Environment Canada and the Canadian Government Pub. Centre, Montréal, Québec.
- Overbeck, F. et Happach, H. 1957. Über das Wachstum und den Wasserhaushalt einiger Hochmoorsphagnen. *Flora (Jena)* 144: 335-402.
- Price, J., Rochefort, L. et Quinty, F. 1998. Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface microtopography, mulch cover and *Sphagnum* regeneration. *Ecological Engineering* 10: 293-312.
- Price, J.S., Rochefort, L. et Campeau, S. 2002. Use of shallow basins to restore cutover peatlands: Hydrology. *Restoration Ecology* 10: 259-266.
- Quinty, F. et Rochefort, L. 1997. Plant re-introduction on a harvested peat bog. Dans *Northern Forested Wetlands: Ecology and Management*. Sous la direction de C.C. Trettin, M.F. Jurgensen, D.F. Grigal, M.R. Gale et J.K. Jeglum. CRC Press, Boca Raton, Floride, États-Unis. P. 133-145.
- . 2003. *Guide de restauration des tourbières*, deuxième édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, Québec. 119 p.
- Robert, E.C., Rochefort, L. et Garneau, M. 1999. Natural revegetation of two block-cut mined peatlands in eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 77: 447-459.
- Rochefort, L. et Bastien, D.F. 1998. Réintroduction de sphaignes dans une tourbière exploitée : Évaluation de divers moyens de protection contre la dessiccation. *Écoscience* 5: 117-127.
- Rochefort, L., Campeau, S. et Bugnon, J.-L. 2002. Does prolonged flooding prevent or enhance regeneration and growth of *Sphagnum*? *Aquatic Botany* 74: 327-341.
- Rochefort, L., Quinty, F., Campeau, S., Johnson, K. et Malterer, T. 2003. North American approach to the restoration of *Sphagnum* dominated peatlands. *Wetlands Ecology and Management* 11: 3-20.
- Rydin, H. 1985. Effect of water level on desiccation of *Sphagnum* in relation to surrounding Sphagna. *Oikos* 45: 374-379.

- . 1986. Competition and niche separation in *Sphagnum*. *Canadian Journal of Botany* 64: 1817-1824.
- . 1993a. Interspecific competition between *Sphagnum* mosses on a raised bog. *Oikos* 66: 413-423.
- . 1993b. Mechanisms of interactions among *Sphagnum* species along water-level gradients. *Advances in Bryology* 5: 153-185.
- Rydin, H. et McDonald, A.J.S. 1985. Tolerance of *Sphagnum* to water level. *Journal of Bryology* 13: 571-578.
- Sagot, C. et Rochefort, L. 1996. Tolérance des sphaignes à la dessiccation. *Cryptogamie, Bryologie-Lichénologie* 17: 171-183.
- SAS Institute. 2003. Language Guide. Release 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, États-Unis.
- Slack, N.G. 1990. Bryophytes and ecological niche theory. *Botanical Journal of the Linnean Society* 104: 187-213.
- Smolyanitsky, Y.A. 1977. Some regularities of formation of *Sphagnum* moss turfs. *Bot. Zh.* 62: 1262-1272 (en russe).
- Titus, J.E. et Wagner, D.J. 1984. Carbon balance for two *Sphagnum* mosses: Water balance resolves a physiological paradox. *Ecology* 65: 1765-1774.
- Titus, J.E., Wagner, D.J. et Stephens, M.D. 1983. Contrasting water relations of photosynthesis for two *Sphagnum* mosses. *Ecology* 64: 1109-1115.
- Twenhöven, F.L. 1992. Competition between two *Sphagnum* species under different deposition levels. *Journal of Bryology* 17: 71-80.
- Uosukainen, H. et Lötjönen, P. 1997. *Sphagnum* classification and the influence of the different *Sphagnum* species on horticultural peat properties. Dans *Peat in horticulture - its use and sustainability*. Sous la direction de G. Schmilewski. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 31-35.
- Vitt, D.H. et Slack, N.G. 1984. Niche diversification of *Sphagnum* relative to environmental factors in northern Minnesota peatlands. *Canadian Journal of Botany* 62: 1409-1430.
- Wagner, D.J. et Titus, J.E. 1984. Comparative desiccation tolerance of two *Sphagnum* mosses. *Oecologia* 62: 182-187.
- Wallén, B., Falkengren-Grerup, U. et Malmer, N. 1988. Biomass, productivity and relative rate of photosynthesis of *Sphagnum* at different water levels on a South Swedish peat bog. *Holarctic Ecology* 11: 70-76.
- Yodzis, P. 1978. Competition for space and the structure of ecological communities. Springer-Verlag, 191 p.

CHAPITRE 2

STRUCTURATION BIOTIQUE DU
MICROENVIRONNEMENT DE SPHAIGNES DES
SECTIONS *ACUTIFOLIA* ET *SPHAGNUM* DANS UN
CONTEXTE DE PRODUCTION DE BIOMASSE

2.1. RÉSUMÉ

Lors des premiers stades de succession végétale dans des habitats dominés par la sphaigne, il est possible d'observer l'établissement de sphaignes sous le couvert de plantes vasculaires pionnières. Certaines plantes vasculaires, notamment les éricacées, procurent un soutien physique aux sphaignes tout en favorisant une croissance verticale importante. Une expérience sur le terrain a été mise en place afin de déterminer l'efficacité d'arbustes vivants et morts de *Chamaedaphne calyculata* et de piquets de bois pour accroître les chances de survie ainsi que la croissance verticale de sphaignes des sections *Acutifolia* et *Sphagnum*. Les fragments de sphaignes introduits sous les structures obtiennent des taux de recouvrement similaires à ceux établis en l'absence de structure après une saison de croissance. Toutefois, les différents mélanges de sphaignes introduits n'obtiennent pas des taux d'établissement similaires. Le *Sphagnum rubellum* (section *Acutifolia*) a obtenu les taux de recouvrement les plus élevés, peu importe le type de structuration, pour l'ensemble des mélanges.

2.2. INTRODUCTION

L'intensification des activités anthropiques dans les milieux naturels, notamment dans les tourbières, engendre graduellement une pénurie de certaines matières premières tout en dégradant considérablement les écosystèmes. Il s'ensuit donc un besoin urgent pour développer de nouvelles façons de faire. Dans cette perspective, des chercheurs s'intéressent depuis quelques années à la culture de la sphaigne (Joosten 1998; 2000; Campeau et Rochefort 2002; Gaudig et Joosten 2002; Kim 2008) qui permettrait de produire rapidement une biomasse fibrique de sphaigne sur une base renouvelable tout en diminuant les pressions sur la flore des tourbières naturelles.

Afin de satisfaire la demande croissante de fibres de sphaignes, que ce soit pour fournir du matériel végétal de réintroduction pour la restauration écologique, pour remplacer certaines composantes des substrats de croissance en horticulture ou pour approvisionner la culture d'orchidées en mousse florale ou en matériel d'emballage, une production rapide de cette biomasse serait de mise (Campeau et Rochefort 2002). Plusieurs techniques sont déjà bien documentées afin d'optimiser un cycle de production de sphaignes (Quinty et Rochefort 1997; Price *et al.* 1998; Price *et al.* 2002; Quinty et Rochefort 2003; Rochefort *et al.* 2003; Campeau *et al.* 2004), mais au-delà de ces moyens, serait-il possible de tirer profit des associations végétales entre les sphaignes et les plantes vasculaires?

Des essais d'introduction de fragments de sphaignes sous le couvert de plantes vasculaires (Ferland et Rochefort 1997; Boudreau et Rochefort 1999; Sliva et Pfadenhauer 1999) ont permis d'observer un effet positif sur la survie des sphaignes. Des recherches précédentes ont également montré que la présence d'un tel couvert semble faciliter la croissance verticale des sphaignes sous des conditions microclimatiques sub-optimales (Vitt *et al.* 1975; Luken et Billings 1986; Murray *et al.* 1993; Malmer *et al.* 1994; Pouliot en préparation) en améliorant notamment les conditions microclimatiques défavorables à la surface substrat-atmosphère (Brock et Bregman 1989; Harley *et al.* 1989; Salonen 1992; Murray *et al.* 1993; Tuittila *et al.* 2000; Pouliot en préparation). Plus spécifiquement, Malmer *et al.* (1994) suggèrent que les éricacées ou d'autres plantes vasculaires avec des systèmes racinaires et des tiges bien développés augmenteraient l'élongation verticale des

sphaignes, tandis que les herbes clonales (*Eriophorum* sp.), avec des structures plus lâches, stabiliseraient les dépressions et les tapis. Toutefois, ces herbacées n'empêchent pas l'effondrement du tapis (Malmer *et al.* 1994). Ainsi, lorsque l'accumulation de biomasse est visée, l'utilisation d'éricacées est préférable pour prévenir l'effondrement du tapis de sphaignes (Malmer *et al.* 1994; Rydin et Jeglum 2006) et fournir une structure tridimensionnelle solide.

Une association étroite entre les sphaignes et certaines éricacées a souvent été observée. Par exemple, dans les tourbières ombrotrophes du Canada, Kenkel (1988) souligne que les sphaignes poussent fréquemment au travers de l'enchevêtrement de tiges et de racines de *Chamaedaphne calyculata* (L.) D. Don. Cette relation a également été observée par Vitt *et al.* (1975) dans le nord du Michigan. De plus, Pouliot (en préparation) a noté que sous un couvert faible d'arbustes vivants de *C. calyculata*, l'élongation verticale des sphaignes est favorisée contrairement à l'absence d'arbuste lorsque les conditions microclimatiques sont sub-optimales. Ce dernier a également observé que des imitations de troncs d'arbres et des arbustes morts de *C. calyculata* favorisent l'élongation verticale des sphaignes.

En culture de sphaignes, les caractéristiques des différentes espèces sont à considérer au même titre que la possibilité d'interaction avec les plantes vasculaires. Ainsi, les espèces possédant des propriétés intéressantes de porosité et d'absorption/rétention des liquides sont avantageuses pour l'industrie horticole, comme *Sphagnum magellanicum* et *Sphagnum papillosum* (Malcolm 1996). Pourtant ces dernières, ont un faible succès d'établissement sur tourbe nue dans des conditions d'humidité restreintes (Campeau et Rochefort 1996; Chirino *et al.* 2006). Il semble que l'ajout d'une espèce qui croît et se reproduit rapidement, comme *Sphagnum fallax* (Grosvernier *et al.* 1995; 1997; Buttler *et al.* 1998), aux espèces de la section *Sphagnum*, permettrait de favoriser leur établissement en améliorant, notamment, leur contact avec le substrat de croissance (voir Chapitre 1).

D'autre part, certaines espèces de sphaignes sont plus intéressantes pour la restauration écologique. C'est le cas de *Sphagnum rubellum* et de *Sphagnum fuscum* (section *Acutifolia*) qui possèdent un fort taux d'établissement sur tourbe nue sous des conditions d'humidité modérées (Campeau et Rochefort 1996; Waddington *et al.* 2003; Chirino *et al.* 2006). Selon l'étude de Chirino *et al.* (2006), *S. fuscum* est mieux adapté aux variations des

conditions climatiques que *S. rubellum*. En effet, cette espèce, en plus d'être très résiliente à la sécheresse (Campeau et Rochefort 2000), parvient à gérer une consommation et une rétention très efficace en eau lorsque de petites colonies denses sont formées (Rydin 1985; Rydin et McDonald 1985a; Campeau et Rochefort 2000). Elle peut donc maintenir un contenu en eau plus élevé que *S. rubellum* dans des conditions de sécheresse importantes (Campeau et Rochefort 2000). Toutefois, *S. rubellum*, qui se décompose plus rapidement que *S. fuscum* (Waddington *et al.* 2003), est un bon compromis lorsque *S. fuscum* n'est pas présente (Chirino *et al.* 2006) dans des conditions excessivement humides (Rochefort *et al.* 2002) ou lorsque les fragments de sphaignes introduits sur tourbe nue sont sujets à l'enterrement par des particules de tourbe (Faubert et Rochefort 2002).

L'objectif de cette étude est d'examiner le succès d'établissement (après une année de croissance) de quatre différents mélanges de sphaignes introduits sous divers types de structures naturelles et artificielles dans un contexte de production rapide de fibre de sphaigne. Des essais au champ ont été réalisés en 2008 afin de déterminer si l'ajout de structure accélère l'établissement des sphaignes utilisées, et de vérifier quelle espèce semble bénéficier davantage d'une structuration de son microenvironnement. Les hypothèses retenues après une saison de croissance sont : 1) que l'établissement des sphaignes est supérieur lorsqu'elles sontensemencées sous des structures (couvert d'éricacées mortes et vivantes ou des piquets) qu'en l'absence de structure; 2) que l'établissement des sphaignes est supérieur sous un couvert d'arbustes vivants de *Chamaedaphne calyculata* que sous des arbustes morts ou des piquets de bois; et 3) que les taux d'établissement diffèrent les uns des autres en fonction des espèces réintroduites : *S. fuscum* > *S. rubellum* > *S. magellanicum* + *S. fallax* = *S. papillosum* + *S. fallax*.

2.3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.3.1. Site de l'étude

L'étude a été réalisée à Shippagan dans la péninsule acadienne, sur la côte nord-est du Nouveau-Brunswick (47°40' N, 64°43' O). La tourbière ombrotrophe choisie fait partie du large complexe de milieux humides localisé en bordure du golfe Saint-Laurent (Leverin 1947). Le choix du site repose notamment sur une topographie particulière d'alternance de terre-pleins et de tranchées résultant de la méthode de récolte de tourbe par blocs faite manuellement entre les années 1940 et 1970 (Figure 1). Les anciennes tranchées de récolte de tourbe par blocs, où prévalent de meilleures conditions hydrologiques (Price et Whitehead 2001), procurent un microclimat plus humide en retenant l'eau de surface à l'intérieur comme dans un bassin (Price *et al.* 2002), ainsi qu'en diminuant les pertes d'humidité. En conséquence, ces conditions favorisent une recolonisation naturelle et une croissance spontanée des sphaignes à long terme (Robert *et al.* 1999).

La température annuelle moyenne est de 4,5 °C avec des moyennes quotidiennes de -11,1 °C pour janvier et de 19,3 °C pour juillet. Les précipitations annuelles moyennes atteignent 1059 mm, dont 70 % sous forme de pluie (Environnement Canada 2000). Les travaux se sont échelonnés sur quatre mois de croissance, entre le 29 mai et le 1^{er} octobre 2008 inclusivement. La taxonomie utilisée pour les sphaignes est celle décrite par Anderson (1990). Une strate muscinale, dont les principales espèces sont *S. flavicomans*, *S. fuscum*, *S. magellanicum* et *S. rubellum*, caractérise la végétation dominante des tranchées. Dans deux des tranchées (Figure 1, Section 3) dans lesquelles la végétation fut enlevée (Landry et Rochefort 2009), la strate herbacée, également importante, est constituée principalement d'*Eriophorum angustifolium* et d'*Eriophorum vaginatum*, tandis que dans les deux autres tranchées (Figure 1, Section 1), la strate arbustive (*Chamaedaphne calyculata*, *Kalmia angustifolia* et *Ledum groenlandicum*) représente un pourcentage important de la végétation dominante (Figure 2).



Figure 1. Tourbière de Shippagan, au Nouveau-Brunswick. Les blocs expérimentaux sont dispersés sur une superficie de 90 ha. Trois blocs se situent dans la section 3 et deux blocs, dans la section 1.



Figure 2. Bloc expérimental dans une des tranchées de la section 1. Avant le retrait de la végétation, *S. flavicomans*, *S. fuscum*, *S. magellanicum*, *S. rubellum*, *E. vaginatum*, *C. calyculata*, *K. angustifolia* et *L. groenlandicum* constituaient la végétation dominante.

2.3.2. Dispositif expérimental et description des traitements

Le succès d'établissement de quatre mélanges mono ou pluri-spécifiques de sphaignes, en fonction de quatre types de structuration de leur environnement, a été vérifié à l'aide d'un dispositif expérimental en blocs complets aléatoires avec cinq répétitions. L'expérience factorielle choisie (4 x 4) englobait deux facteurs, mesurés à quatre niveaux, pour un total de 16 combinaisons de traitements. Le premier facteur, les différents types de structures, comprend quatre niveaux : 1- aucune structure (tourbe nue), 2- la présence d'arbustes vivants de *Chamaedaphne calyculata*, 3- la présence d'arbustes morts de *Chamaedaphne calyculata* et 4- des piquets carrés de bois de 20 mm de côté. Le deuxième facteur testé, soit les quatre mélanges de sphaignes, comprend également quatre niveaux : 1- *S. rubellum* (section *Acutifolia*), 2- *S. fuscum* (section *Acutifolia*), 3- un mélange en quantité égale de *S. magellanicum* (section *Sphagnum*) et de *S. fallax* (section *Cuspidata*) pour obtenir un ratio d'ensemencement total de 1:10 et 4- un mélange de *S. papillosum* (section *Sphagnum*) et de *S. fallax*.

Les cinq blocs d'une dimension approximative de 7,75 m x 6,75 m sont dispersés dans quatre tranchées sur une superficie de 90 ha. Toute végétation se retrouvant dans les blocs a été enlevée et la surface de tourbe nue a été égalisée avant l'ensemencement. À l'intérieur de chaque bloc, 16 unités expérimentales de 1 m x 0,75 m ont été délimitées.

2.3.3. Application des traitements

Un ratio d'ensemencement de 1 :10 a été choisi pour cette expérience (Rocheport *et al.* 2003), c'est-à-dire que le tapis de mousse de sphaignes récoltées manuellement sur une surface de 1 m² et une profondeur d'environ 0,1 m (Campeau et Rocheport 1996) a été ensemencé sur 10 m². Les sphaignes ont été récoltées dans les secteurs naturels du site d'étude à Shippagan, ainsi que dans un secteur naturel d'une tourbière située à Lamèque-Portage (47°49' N, 64°38' O). Les arbustes vivants de *C. calyculata* d'une hauteur de 25 à 30 cm et qui possédaient des tiges et des racines bien développées ont été sélectionnés dans les secteurs naturels du site d'étude à Shippagan. Pour créer les arbustes morts, les fleurs, les feuilles, les graines et les bourgeons d'arbustes vivants coupés au ras du sol ont été enlevés, puis le reste de la tige a été séché à 70 °C pendant au moins 24 heures.

Les structures tridimensionnelles ont été installées avant l'ensemencement des sphaignes. Ainsi, au hasard, chaque unité expérimentale a reçu l'un des quatre niveaux de structuration. Au centre de chaque unité expérimentale, 18 structures ont été disposées à 0,15 m de distance de l'une de l'autre pour former un rectangle de 3 structures par 6 structures (Figure 3) recouvrant une surface de 0,31 m². Les fragments de sphaignes ont été recouverts de paillis de paille afin d'améliorer les conditions d'humidité du substrat, permettant ainsi de faciliter leur établissement (Price *et al.* 1998). Un filet a été installé pour éviter la dispersion par le vent et par l'eau du matériel végétal nouvellement ensemencé (Figure 4). Puis, à chaque visite, toutes les espèces végétales non ciblées par l'expérience ont été retirées des unités expérimentales.



Figure 3. Disposition de 18 piquets de bois recouvrant une superficie de $0,31 \text{ m}^2$ au centre d'une unité expérimentale.



Figure 4. Bloc expérimental comportant 16 unités après introduction des structures et des sphaignes, puis recouvrement des fragments à l'aide d'un paillis de paille et d'un filet.

2.3.4. Variables mesurées

2.3.4.1. Succès d'établissement

Après une saison de croissance, le succès d'établissement a été mesuré à l'aide de trois quadrats de 25 cm x 25 cm disposés diagonalement dans chaque unité expérimentale, afin de s'assurer qu'au moins deux structures étaient présentes. Dans ces quadrats, l'estimation du pourcentage du couvert muscinal a été effectuée après quatre mois de croissance des sphaignes.

2.3.5. Conditions expérimentales de croissance

Des mesures du pH et de la conductivité électrique de la tourbe ont été effectuées au début et à la fin de l'expérience, à partir de la méthode SSE (Extrait de sol saturé ou *SME* : *Saturated Media Extract*). Les mesures du pH ont été prises à l'aide de l'appareil Accumet® pH meter model 10 (Fisher Scientific), tandis que la conductivité électrique a été mesurée avec un conductimètre modèle 122^o (ORION Research Inc.). Au tout début, le pH moyen était de 3,78 et à la fin 3,70, tandis que la conductivité électrique moyenne non corrigée était de $108,8 \pm 33,1 \mu\text{S/cm}$ au début et $123,9 \pm 25,6 \mu\text{S/cm}$ à la fin. Les conditions chimiques de croissance sont donc demeurées stables tout au long de l'expérience.

Le WET Sensor – WET-2 et l'hydromètre HH2 (Delta-T) ont également été utilisés afin de déterminer la teneur en eau de la tourbe. Les données ont été corrigées en fonction de la réflectance de la tourbe (Delta-T Devices Ltd 2005) en utilisant l'équation ci-dessous :

$$\text{Teneur en eau corrigée} = \frac{(\sqrt{Eb} - b_0)}{b_1}$$

Où \sqrt{Eb} = refracting index

Pour les données prises dans la section 3 de la tourbière (Figure 1):

$$b_0 = 1,48$$

$$b_1 = 9,19$$

Pour les données prises dans la section 1 de la tourbière :

$$b_0 = 1,62$$

$$b_1 = 9,52$$

La teneur moyenne en eau corrigée en fonction du type de sol était $74,6 \pm 5,2$ %.

Finalement, des profondeurs de la nappe phréatique ont aussi été prises sur le terrain. Au total, cinq puits ont été installés sur le terrain, un par bloc. La hauteur de la nappe phréatique a été mesurée à deux reprises pendant la saison de croissance 2008 (Annexe B). La moyenne (\pm écart-type) de cette mesure était de 5 ± 6 cm sous la surface de la tourbe.

2.3.6. Analyses statistiques

L'analyse statistique des données de pourcentage de recouvrement a été réalisée en utilisant la procédure GLM du logiciel SAS (SAS Institute 2003). La normalité et l'homogénéité des résidus ont été vérifiées. Des comparaisons simples planifiées *a priori* ont été choisies pour comparer les moyennes entre les différents types de traitements (voir Annexe A). Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS. Le niveau de signification choisi pour vérifier les effets des traitements et pour comparer les moyennes des traitements a été établi à $P \leq 0,05$.

Les résultats des ANOVA de chaque analyse et les tableaux des analyses chimiques et physiques sont présentés en annexe lorsqu'ils n'apparaissent pas dans le texte.

2.4. RÉSULTATS

2.4.1. Succès d'établissement

Après une saison de croissance, *Sphagnum rubellum* a obtenu un couvert moyen de 40 % pour l'ensemble des structurations, ce qui représente un meilleur taux d'établissement que les traitements comportant du *Sphagnum fuscum* (Figure 5). Les traitements comportant du *S. fuscum* ont obtenu un couvert moyen de 22 % et correspondent aux traitements les moins performants comparés à la moyenne des autres traitements (Contraste 1; $p = 0,0002$). Le *S. fuscum* a obtenu des recouvrements inférieurs de 18% par rapport à ceux de *S. rubellum* (Contraste 3; $p < 0,0001$). Aussi, les deux mélanges pluri-spécifiques de sphaignes, *S. fallax* et *S. magellanicum* (33 %), puis *S. fallax* et *S. papillosum* (30 %), présentaient des pourcentages de recouvrement supérieurs à ceux de *S. fuscum*, soit respectivement de 11 % et de 8 % (Figure 5). Les sphaignes de la section *Acutifolia* (moyenne de recouvrement de 31%) n'ont pas surclassé les mélanges pluri-spécifiques de sphaignes (section *Sphagnum* en mélange avec *S. fallax*; moyenne de recouvrement de 32%) après une saison de croissance (Contraste 2; $p = 0,9598$).

Aucun effet de la structuration sur le succès d'établissement des sphaignes n'a été décelé. Aussi, aucune interaction n'a été détectée entre les divers types de structuration et les quatre mélanges de sphaignes.

2.4.1.1. Section *Sphagnum*

Les sphaignes de la section *Sphagnum* introduites en même temps que *S. fallax* après structuration de leur microenvironnement ont obtenu des taux d'établissement similaires entre elles (Figure 5). Malgré l'absence de différences significatives, *S. fallax* (19 %) a obtenu des valeurs plus élevées de recouvrement que *S. papillosum* (12 %) et *S. magellanicum* (13 %), peu importe le type de structure.

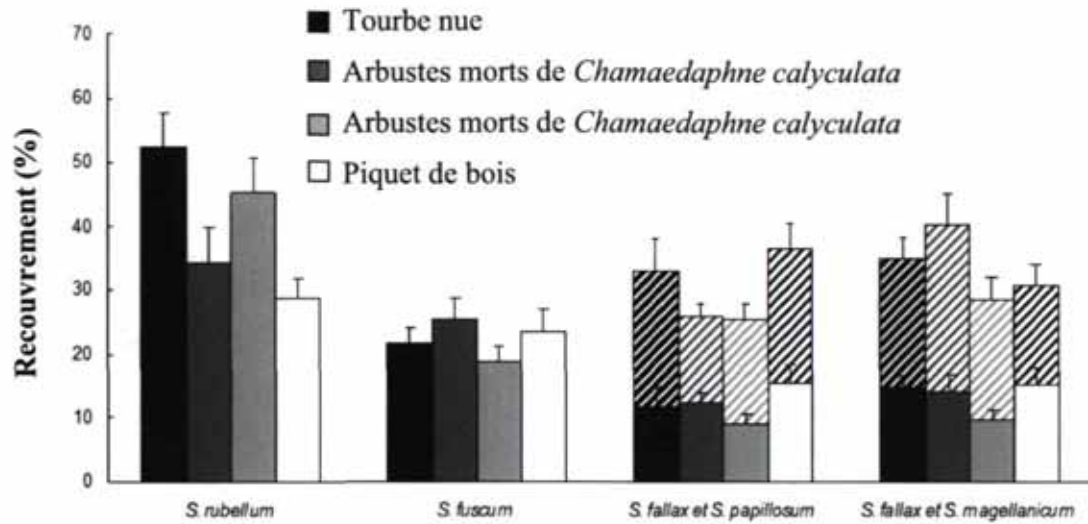


Figure 5. Succès d'établissement de différents mélanges mono ou pluri-spécifiques de sphaignes après structuration de leur microenvironnement. Les rayures indiquent le recouvrement de *S. fallax* pour chaque type de structuration. Les demi-barres I représentent l'erreur type de la moyenne. Les résultats de l'ANOVA sont les suivants : mélanges de sphaignes dl = 3; F = 7,93 et P = 0,0002.

2.4.2. Survie des arbustes de *Chamaedaphne calyculata*

À la fin de la saison de croissance 2008, les arbustes vivants d'éricacées n'ont pas obtenu un bon taux de survie (environ 50 % ont survécu). Une nappe phréatique continuellement élevée semble avoir affecté négativement leur survie et leur croissance (observations personnelles). Donc, le faible nombre d'éricacées qui ont survécu à la transplantation, leur lente croissance et leur faible reprise après la transplantation indiquent qu'elles n'ont pas offert la protection attendue. Ainsi, à l'automne 2008, afin de permettre de futures recherches, les arbustes qui n'ont pas survécu ont été remplacés par des arbustes vivants.

2.5. DISCUSSION

2.5.1. Effet des structures sur le succès d'établissement des sphaignes

Après une saison de croissance, le succès d'établissement d'espèces des sections *Acutifolia* et *Sphagnum* mesuré en termes de recouvrement n'était pas favorisé par la présence de structures naturelles ou artificielles en trois dimensions. Les résultats de cette étude ne supportent donc pas notre première hypothèse qu'une structuration du microenvironnement des sphaignes avant leur introduction sur tourbe nue améliore leur développement, contrairement à l'absence de toute forme de modification de leur environnement immédiat. Nous pouvons également rejeter notre seconde hypothèse qui suggérait que les sphaignes établies sous des arbustes vivants de *C. calyculata* devraient obtenir des valeurs de recouvrement supérieures aux sphaignes établies sous des structures inertes (arbustes morts de *C. calyculata* et piquets de bois). En effet, les pourcentages de recouvrement obtenus sont similaires pour tous les types de traitement de structuration.

Ainsi, après une saison de croissance, le couvert de sphaignes n'est pas affecté par la présence de structures. Pouliot (en préparation) a observé après une saison de croissance sur le terrain, que le couvert des sphaignes sous le traitement témoin (absence de structures), sous les arbustes vivants de *C. calyculata* ou sous les structures inertes (piquets de bois et arbustes morts) n'était pas différent. Toutefois, dans cette expérience, les structures ont été transplantées après l'établissement des sphaignes qui recouvraient initialement au moins 75 % de la surface de la tourbe, soit l'équivalent de deux saisons de croissance. De plus, la densité des structures utilisées était inférieure à celle de notre expérience. Ainsi, peu importe le moment (avant ou après l'établissement d'un tapis de sphaignes) et la forme de structuration du microenvironnement des sphaignes, cela ne semble pas affecter le couvert des sphaignes après une saison de croissance.

2.5.2. Succès d'établissement des différents mélanges de sphaignes

Bien qu'aucun effet des structures sur le recouvrement muscinal n'ait été observé après une saison de croissance, il a été possible de constater un effet des mélanges sur ce dernier. Ce qui nous amène à rejeter notre troisième hypothèse, qui soutenait qu'en terme de

recouvrement, *S. fuscum* > *S. rubellum* > *S. fallax* et *S. magellanicum* = *S. fallax* et *S. papillosum*. En effet, *S. rubellum* en monoculture a surclassé les autres mélanges de sphaignes après une année de croissance pour l'ensemble des structurations, tandis que *S. fuscum* a obtenu des valeurs de recouvrement inférieurs à ceux de *S. rubellum*. Malgré que *S. fuscum* puisse survivre et croître dans des milieux plus humides que son habitat naturel (espèce de butte), il y a des indications dans la littérature que cette espèce puisse souffrir lorsqu'elle croît très près de la nappe phréatique (à l'intérieur de quelques cm; Rydin et McDonald 1985b; Rydin 1986; Wallén *et al.* 1988; Rochefort *et al.* 2002). En effet, dans l'étude de Rydin et McDonald (1985b), elle performe mieux lorsque son capitule se situe à 5 cm au-dessus de la nappe que lorsque ce dernier se situe au niveau 0, contrairement à *S. rubellum*. De même, Rydin (1986) a observé que des conditions très humides affectent fortement la morphologie des tiges des sphaignes de la section *Acutifolia*, notamment de *S. fuscum*, rendant difficile son identification et entraînant, dans certains cas, sa mort. D'autre part, comme l'ont suggéré certains chercheurs (S. Campeau, données non publiées, cité dans Campeau et Rochefort 1996; Rochefort *et al.* 2002), des conditions prolongées très humides semblent retarder la régénération et la croissance de *S. fuscum* contrairement aux autres espèces utilisées dans notre expérience. De plus, contrairement à certaines études qui ont montré le haut pouvoir de régénération de *S. fuscum* comparativement à *S. rubellum* sur tourbe nue (Campeau et Rochefort 1996; Waddington *et al.* 2003; Chirino *et al.* 2006), nous avons observé que *S. rubellum* montre un établissement beaucoup plus élevé que *S. fuscum* (recouvrement de 40 % vs 22 %). Dans notre étude, une nappe phréatique très élevée (5 ± 6 cm sous la surface de la tourbe) et des précipitations abondantes et bien distribuées (343,7 mm) durant la saison de croissance 2008 ont procuré une humidité relative élevée et stable permettant ainsi un bon établissement de certaines espèces de sphaignes, notamment de *S. rubellum*. Dans les études citées plus haut, des conditions d'humidité moins propices ont été observées : une nappe phréatique variant entre 24 et 44 cm sous la surface de la tourbe a été notée pour l'année la plus humide dans Chirino *et al.* (2006).

Malgré le haut taux de succès des sphaignes de la section *Acutifolia* sur tourbe nue comparé à d'autres espèces, notamment aux sphaignes de la section *Sphagnum* (Campeau et Rochefort 1996; Chirino *et al.* 2006), ces dernières n'ont pas surclassé les mélanges pluri-

spécifiques de sphaignes (section *Sphagnum* et *S. fallax*) après une saison de croissance dans notre expérience. Les conditions très humides qui ont affecté négativement la régénération de *S. fuscum* peuvent expliquer la faible performance des espèces de la section *Acutifolia*. D'autre part, Rochefort et Bastien (1998) ont observé sur le terrain, après une saison de croissance très humide (pluies abondantes), que le nombre de capitules des espèces de la section *Cuspidata* avait augmenté par rapport à l'année précédente, alors que celui des espèces de la section *Acutifolia*, particulièrement *S. fuscum*, avait diminué pendant la même période.

Les résultats obtenus pour les mélanges pluri-spécifiques, *S. fallax* et *S. magellanicum* puis *S. fallax* et *S. papillosum*, correspondent à ceux observés dans notre étude sur l'établissement de sphaignes à la suite d'un conditionnement simultané du substrat de croissance sur le terrain (voir Chapitre 1). Ainsi, *S. fallax* introduit en même temps que les espèces de la section *Sphagnum* a obtenu des pourcentages de recouvrement similaires aux sphaignes de cette section.

2.5.3. Autres effets des structures sur les sphaignes

Malgré l'absence d'effet des structures naturelles et artificielles sur le succès d'établissement des sphaignes après une saison de croissance telle qu'observée dans notre expérience, il semble que ces dernières pourraient faciliter la croissance verticale des sphaignes à long terme. Contrairement à l'étude de Pouliot (en préparation), après une saison de croissance, il n'a pas été possible de mesurer des différences dans l'élongation verticale des sphaignes. Pouliot (en préparation) a observé, après une saison de croissance, que les traitements avec des plantes vasculaires ou des structures inertes avaient un effet positif significatif sur l'élongation verticale des sphaignes sur le terrain. L'élongation des sphaignes était 23 % plus élevée sous les vasculaires ou les structures que sans leur présence (Pouliot en préparation). La différence dans les résultats peut s'expliquer par l'âge du tapis de sphaignes. En effet, un tapis de sphaigne d'un an (dans notre expérience) ne permet pas de calculer efficacement la croissance verticale des sphaignes. Le tapis de sphaignes dans ce cas-ci n'est pas encore complètement formé (présence de tourbe nue), tandis que dans l'expérience de Pouliot (en préparation), le tapis de sphaignes était complètement formé et avait trois ans.

2.5.4. Survie des arbustes de *Chamaedaphne calyculata*

La majorité des arbustes vivants de *C. calyculata* n'ont pas survécu à leur transplantation. Cet inconvénient peut s'expliquer par la méthode de récolte utilisée. Lors de la collecte, un groupe d'arbustes a été déraciné, par la suite, chacun de ces groupes a été séparé individuellement ce qui a nécessité du dommage aux rhizomes. La perte d'une partie des transplants de *C. calyculata* a également été rencontrée par Ferland et Rochefort (1997). La collection et la transplantation d'un groupe de plantes auraient probablement diminué les chocs. De plus, il serait intéressant d'effectuer des essais de multiplication en serre de ces arbustes, ce qui pourrait s'avérer une solution à la difficulté qu'on rencontre lors de la transplantation de plants à racines nues et matures. Comme le suggèrent Ferland et Rochefort (1997), l'établissement de pousses ou de semis au lieu de plantes matures serait plus facile et éviterait de perturber les tourbières naturelles. D'autre part, les conditions prolongées d'inondation résultant des précipitations abondantes et fréquentes de la saison 2008 semblent avoir affecté négativement la survie des transplants. Kenkel (1988) a observé une plus grande abondance de *C. calyculata* à 30 cm au-dessus de la nappe phréatique qu'entre zéro et 10 cm dans les tourbières ombrotrophes du Canada. Ainsi, cette espèce semble mieux croître dans une tourbe aérée bien au-dessus de la nappe phréatique, par exemple sur les buttes, que dans une tourbe très près (quelques centimètres ou moins) de la nappe phréatique.

2.6. CONCLUSIONS

Cette étude aborde le succès d'établissement de différentes introductions mono et pluri-spécifiques de sphaignes sous une variété de structures sur une période d'un an. Les résultats obtenus suggèrent que lors de la première saison de croissance, l'établissement des sphaignes n'est pas affecté par la présence de structures lorsque les conditions de croissance sont idéales, c'est-à-dire une nappe phréatique élevée et des précipitations bien distribuées durant la saison de croissance. Ainsi, en présence de conditions d'humidité très propices, les sphaignes ne semblent pas bénéficier de l'effet positif des structures sur le microclimat pour faciliter leur établissement.

Les meilleurs taux d'établissement ont été obtenus lorsque *S. rubellum* a été introduit mono-spécifiquement, peu importe le type de structure. Il semble que la présence continue de conditions très humides ait affecté négativement la régénération de *S. fuscum*. Il faut noter que Rochefort *et al.* (2002) ont observé que cette espèce, lorsque submergée, retarde sa formation de nouveaux rameaux, mais lorsque les conditions s'améliorent, elle produit un nombre élevé de capitules. Elle peut donc très bien surmonter des périodes d'inondation superficielle (Rochefort *et al.* 2002). De plus, comme observé par d'autres chercheurs (Vitt *et al.* 1975; Luken et Billings 1986; Murray *et al.* 1989; Murray *et al.* 1993; Malmer *et al.* 1994), la croissance verticale des sphaignes semble être facilitée en présence de plantes vasculaires sous certaines conditions. D'autre part, Pouliot (en préparation) a également observé un effet négatif de la présence de vasculaires ou de structures inertes sur le couvert des sphaignes après deux saisons de croissance sur le terrain. Il a obtenu pour les sphaignes croissant en l'absence de structure des recouvrements moyens de 94 % comparativement à 80 % en présence de structures (vasculaires et inertes). Dans un contexte de production rapide de biomasse de sphaignes, le suivi de cette étude est donc nécessaire pour déterminer et comparer à long terme les valeurs d'établissement, de croissance verticale et d'accumulation de biomasse des différents mélanges de sphaignes introduits sous les structures. Ce qui nous permettra de déterminer les associations à promouvoir pour l'obtention rapide d'une biomasse de sphaignes. De même, la performance de *S. magellanicum* ou de *S. papillosum* en monoculture sous diverses structures dans des conditions variables d'humidité devrait également être étudiée afin de perfectionner les

méthodes de culture rapide de sphaignes possédant des caractéristiques intéressantes pour l'industrie horticole.

2.7. RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, L.E. 1990. A checklist of *Sphagnum* in North America North of Mexico. *The Bryologist* 93: 500-501.
- Boudreau, S. et Rochefort, L. 1999. Établissement de sphaignes réintroduites sous diverses communautés végétales recolonisant les tourbières après l'exploitation. *Écologie* 30: 53-62.
- Brock, T.C.M. et Bregman, R. 1989. Periodicity in growth, productivity, nutrient content and decomposition of *Sphagnum recurvum* var. *mucronatum* in a fen woodland. *Oecologia* 80: 44-52.
- Buttler, A., Grosvernier, P. et Matthey, Y. 1998. Development of *Sphagnum fallax* diaspores on bare peat with implications for the restoration of cut-over bogs. *Journal of Applied Ecology* 35: 800-810.
- Campeau, S. et Rochefort, L. 1996. *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology* 33: 599-608.
- . 2000. Production rate and water content of *Sphagnum* on restored cutover peatlands: Comparison with natural areas. Dans *Sustaining our peatlands: Proceedings of the 11th International Peat Congress*. 11e Congrès international de la tourbe, Québec, QC, Canada, 6 au 12 août 2000. Sous la direction de L. Rochefort et J.Y. Daigle. Canadian Society of Peat et Peatlands & International Peat Society, Edmonton, Alberta. P. 727-730.
- . 2002. Possibilities and limits to *Sphagnum* farming. Dans *Peat in horticulture - Quality and environmental challenges*. Proceedings of the 2002 International Peat Symposium, Pärnu, Estonie, 3 au 6 septembre 2002. Sous la direction de G. Schmilewski et L. Rochefort. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 264-269.
- Campeau, S., Rochefort, L. et Price, J.S. 2004. On the use of shallow basins to restore cutover peatlands: Plant establishment. *Restoration Ecology* 12: 471-482.
- Chirino, C., Campeau, S. et Rochefort, L. 2006. *Sphagnum* establishment on bare peat: The importance of climatic variability and *Sphagnum* species richness. *Applied Vegetation Science* 9: 285-294.
- Delta-T Devices Ltd. 2005. User Manual for the WET Sensor type WET-2, Cambridge, Royaume-Uni.
- Environnement Canada. 2000 (Page consultée le 24 septembre 2008). Archives nationales d'information et de données climatologiques, [En ligne]. Adresse URL: http://climate.weatheroffice.gc.ca/Welcome_f.html.
- Faubert, P. et Rochefort, L. 2002. Response of peatland mosses to burial by wind-dispersed peat. *The Bryologist* 105: 96-103.
- Ferland, C. et Rochefort, L. 1997. Restoration techniques for *Sphagnum* dominated peatlands. *Canadian Journal of Botany* 75: 1110-1118.
- Gaudig, G. et Joosten, H. 2002. Peat moss (*Sphagnum*) as a renewable resource - An alternative to *Sphagnum* peat in horticulture? Dans *Peat in horticulture - quality and environmental challenges*. Proceeding of the 2002 International Peat Society Symposium, Pärnu, Estonie, 3 au 6 septembre 2002. Sous la direction de G. Schmilewski et L. Rochefort. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 117-125.

- Grosvernier, P., Matthey, Y. et Buttler, A. 1995. Microclimate and physical properties of peat: New clues to the understanding of bog restoration processes. Dans Restoration of temperate wetlands. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Royaume-Uni. P. 435-450.
- . 1997. Growth potential of three *Sphagnum* species in relation to water table level and peat properties with implications for their restoration in cut-over bogs. *The Journal of Applied Ecology* 34: 471-483.
- Harley, P.C., Tenhunen, J.D., Murray, K.J. et Beyers, J. 1989. Irradiance and temperature effects on photosynthesis of tussock tundra *Sphagnum* mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia* 79: 251-259.
- Joosten, H. 1998. Peat as a renewable resource: The road to paludiculture. Dans Peatland restoration and reclamation, techniques and regulatory considerations. Proceedings of the 1998 International Peat Symposium Duluth, Minnesota, États-Unis, 14 au 18 juillet 1998. Sous la direction de T. Malterer, K. Johnson et J. Stewart. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 56-63.
- . 2000. Peat farming: the ultimate challenge for peat "producers". *Peatlands International* 1/2000: 35-36.
- Kenkel, N.C. 1988. Spectral analysis of hummock-hollow pattern in a weakly minerotrophic mire. *Vegetatio* 78: 45-52.
- Kim, Y.K. 2008. Development and its assessment of construction method of *Sphagnum* wetland for landscape use. Thèse de doctorat, Interdisciplinary Doctorial Program in Landscape Architecture Major, Seoul National University, Séoul, Corée du Sud.
- Landry, J. et Rochefort, L. 2009. Site expérimental de culture de sphaigne, Shippagan, Nouveau-Brunswick. Rapport d'activité 2003-2008. Chaire de recherche industrielle du CRNSG en aménagement des tourbières. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec.
- Leverin, H.A., 1947. Les dépôts de tourbe de mousse au Canada. Ministère des Mines et des Ressources (Canada), Ottawa. Rapport no 1817.
- Luken, J.O. et Billings, W.D. 1986. Hummock-dwelling ants and the cycling of microtopography in an Alaskan peatland. *Canadian Field-Naturalist* 100: 69-73.
- Malcolm, J.E. 1996. Relationships between *Sphagnum* morphology and absorbency of commercial *Sphagnum* board. Thèse de maîtrise, Département de botanique, University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- Malmer, N., Svensson, B.M. et Wallen, B. 1994. Interactions between *Sphagnum* mosses and field layer vascular plants in the development of peat-forming systems. *Folia Geobotanica Phytotaxonomica* 29: 483-496.
- Murray, K.J., Tenhunen, J.D. et Kummerow, J. 1989. Limitations on *Sphagnum* growth and net primary production in the Foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia* 80: 256-262.
- Murray, K.J., Tenhunen, J.D. et Nowak, R.S. 1993. Photoinhibition as a control on photosynthesis and production of *Sphagnum* mosses. *Oecologia* 96: 200-207.
- Pouliot, R. En préparation. Formation of *Sphagnum* moss hummocks in bogs and presence of vascular plants: Is there a link?
- Price, J., Rochefort, L. et Quinty, F. 1998. Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface microtopography, mulch cover and *Sphagnum* regeneration. *Ecological Engineering* 10: 293-312.

- Price, J.S. et Whitehead, G.S. 2001. Developing hydrologic thresholds for *Sphagnum* recolonization on an abandoned cutover bog. *Wetlands* 21: 32-40.
- Price, J.S., Rochefort, L. et Campeau, S. 2002. Use of shallow basins to restore cutover peatlands: Hydrology. *Restoration Ecology* 10: 259-266.
- Quinty, F. et Rochefort, L. 1997. Plant re-introduction on a harvested peat bog. Dans *Northern Forested Wetlands: Ecology and Management*. Sous la direction de C.C. Trettin, M.F. Jurgensen, D.F. Grigal, M.R. Gale et J.K. Jeglum. CRC Press, Boca Raton, Floride, États-Unis. P. 133-145.
- . 2003. Guide de restauration des tourbières, deuxième édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, Québec. 119 p.
- Robert, E.C., Rochefort, L. et Garneau, M. 1999. Natural revegetation of two block-cut mined peatlands in eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 77: 447-459.
- Rochefort, L. et Bastien, D.F. 1998. Réintroduction de sphaignes dans une tourbière exploitée : Évaluation de divers moyens de protection contre la dessiccation. *Écoscience* 5: 117-127.
- Rochefort, L., Campeau, S. et Bugnon, J.-L. 2002. Does prolonged flooding prevent or enhance regeneration and growth of *Sphagnum*? *Aquatic Botany* 74: 327-341.
- Rochefort, L., Quinty, F., Campeau, S., Johnson, K. et Malterer, T. 2003. North American approach to the restoration of *Sphagnum* dominated peatlands. *Wetlands Ecology and Management* 11: 3-20.
- Rydin, H. 1985. Effect of water level on desiccation of *Sphagnum* in relation to surrounding Sphagna. *Oikos* 45: 374-379.
- . 1986. Competition and niche separation in *Sphagnum*. *Canadian Journal of Botany* 64: 1817-1824.
- Rydin, H. et Jeglum, J.K. 2006. *The biology of peatlands*. Oxford University Press Inc., New York, États-Unis. 343 p.
- Rydin, H. et McDonald, A.J.S. 1985a. Photosynthesis in *Sphagnum* at different water contents. *Journal of Bryology* 13: 579-584.
- . 1985b. Tolerance of *Sphagnum* to water level. *Journal of Bryology* 13: 571-578.
- Salonen, V. 1992. Effects of artificial plant cover on plant colonization of a bare peat surface. *Journal of Vegetation Science* 3: 109-112.
- SAS Institute. 2003. *Language Guide*. Release 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, États-Unis.
- Sliva, J. et Pfadenhauer, J. 1999. Restoration of cut-over raised bogs in Southern Germany: A comparison of methods. *Applied Vegetation Science* 2: 137-148.
- Tuittila, E.-S., Rita, H., Vasander, H. et Laine, J. 2000. Vegetation patterns around *Eriophorum vaginatum* L. tussocks in a cut-away peatland in southern Finland. *Canadian Journal of Botany* 78: 47-58.
- Vitt, D.H., Crum, H. et Snider, J.A. 1975. The vertical zonation of *Sphagnum* species in hummock-hollow complexes in northern Michigan. *The Michigan Botanist* 14: 190-200.
- Waddington, J.M., Rochefort, L. et Campeau, S. 2003. *Sphagnum* production and decomposition in a restored cutover peatland. *Wetlands Ecology and Management* 11: 85-95.

- Wallén, B., Falkengren-Grerup, U. et Malmer, N. 1988. Biomass, productivity and relative rate of photosynthesis of *Sphagnum* at different water levels on a South Swedish peat bog. *Holarctic Ecology* 11: 70-76.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que l'introduction préalable de *Sphagnum fallax* sur un substrat de croissance ne permet pas de faciliter l'établissement de *Sphagnum magellanicum* et de *Sphagnum papillosum* lors de conditions élevées d'humidité. Toutefois, la croissance de ces espèces a été supérieure lorsque *S. fallax* était introduit en même temps (en serre). Il a également été possible de constater que lors des premières semaines après l'introduction des sphaignes de la section *Sphagnum* (présence de conditions de croissance moins humides), l'établissement de ces sphaignes était facilité par la présence d'une espèce qui s'établit et se régénère rapidement comme *S. fallax*. De plus, la présence d'arbustes vivants ou morts de *Chamaedaphne calyculata* ou de piquets de bois imitant le tronc de jeunes arbres n'améliore pas l'établissement des différents mélanges de sphaignes utilisés lorsque les conditions de croissance sont optimales. Lors de l'expérience de structuration du microenvironnement des sphaignes, *Sphagnum rubellum* a été l'espèce la plus performante sur un substrat de tourbe nue dans des conditions extrêmes d'humidité.

Dans les anciennes tranchées de récolte de tourbe par blocs, où les conditions hydrologiques sont optimales, comme à la tourbière de Shippagan, le conditionnement du substrat de croissance n'est pas nécessaire pour faciliter l'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum*. En effet, des conditions élevées d'humidité semblent annuler l'effet facilitant de *S. fallax*. Les facteurs régissant l'établissement et la croissance des espèces de sphaignes sont sûrement liés aux interactions de compétition. Dans ces conditions, les espèces de la section *Sphagnum* ont de la difficulté à maintenir leur espace dans le tapis de mousse comparativement à *S. fallax*. Une introduction monospécifique de *S. magellanicum* ou de *S. papillosum* dans des conditions d'humidité élevées est donc préférable. Dans ces mêmes conditions, l'ajout de structures lors de la première année d'établissement semble superflu.

Des conditions climatiques et hydrologiques différentes de celles de cette étude pourraient apporter d'autres conclusions. Ainsi, comme l'ont observé certains auteurs (Grosvernier *et al.* 1995; Buttler *et al.* 1998), *S. fallax* est une espèce pionnière qui colonise et s'établit rapidement dans les microsites normalement humides, mais périodiquement asséchés comme les planches de tourbe nue des tourbières abandonnées. Grosvernier *et al.* (1995)

suggèrent qu'elle permettrait à d'autres espèces, comme *S. magellanicum*, de s'établir sur ses tapis bien formés. Alors, dans les sites où les conditions hydrologiques sont très variables, l'introduction de *S. fallax* pourrait être une option avantageuse afin de faciliter l'établissement des sphaignes de la section *Sphagnum*. Pour cette étude, il sera intéressant de voir à long terme, peut-être lors de saisons plus sèches, l'efficacité d'une telle association par rapport à une culture monospécifique de *S. magellanicum* ou de *S. papillosum*. Un suivi à long terme de cette expérience permettrait de comprendre davantage les interactions de compétition entre ces espèces de sphaigne selon des conditions d'humidité variables, tout en évaluant leur accumulation de biomasse respective sur le terrain.

D'autre part, Pouliot (en préparation) a observé, sur le terrain, que les arbustes morts de *Chamaedaphne calyculata* permettaient de faciliter la croissance verticale des sphaignes après une année comparativement aux traitements sans structure. Il semble que les structures horizontales et verticales des éricacées permettent une élongation verticale importante des sphaignes comme l'ont observé plusieurs chercheurs (Malmer *et al.* 1994; Fenton et Bergeron 2006; Pouliot en préparation). Cette forme de structure tridimensionnelle procure également un soutien physique au tapis de sphaignes nouvellement formé en empêchant ce dernier de s'effondrer (Malmer *et al.* 1994; Rydin et Jeglum 2006). Alors, pour ces raisons, le suivi à long terme de l'expérience de structuration devrait être effectué afin de déterminer la croissance verticale et l'accumulation de biomasse des différents mélanges de sphaignes sous les diverses structures.

Cette recherche a permis, d'une part, de mieux comprendre l'établissement et la croissance des espèces des sections *Sphagnum* dans des conditions d'humidité élevées en présence ou non de *S. fallax*. D'autre part, elle nous a permis d'étudier l'établissement des mélanges de sphaignes des sections *Acutifolia* et *Sphagnum* sous différentes structures. Une nouvelle avenue de recherche serait d'étudier la croissance de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* en présence ou non de *S. fallax* selon un gradient d'humidité, allant d'une sécheresse prolongée vers une inondation complète. Il serait également intéressant d'essayer différentes densités de *S. magellanicum* et de *S. papillosum* pour évaluer la densité optimale d'introduction pour un établissement et une croissance rapide. Finalement, l'introduction

monospécifique de l'une ou l'autre des espèces de la section *Sphagnum* sous le couvert d'arbustes bien établis de *C. calyculata* sous des conditions variables d'humidité devrait également être testée.

Les résultats obtenus permettent de progresser vers une amélioration des connaissances sur le développement de culture rapide d'espèces spécifiques de sphaignes possédant des caractéristiques intéressantes pour l'industrie horticole. En plus d'être une perspective durable à long terme pour l'industrie, elle permettra un approvisionnement continu de fibre de sphaigne de haute qualité pour l'horticulture professionnelle (Gaudig et Joosten 2002). Il s'agit ainsi d'un pas de plus vers une gestion durable des ressources tourbeuses qui permettra de diminuer considérablement les pressions sur la flore des tourbières naturelles (Joosten 1998). En plus des bienfaits environnementaux, une telle culture permettra de créer des emplois pour venir compenser ceux perdus à la suite de la cessation des activités d'extraction de tourbe.

Références citées dans la conclusion

- Buttler, A., Grosvernier, P. et Matthey, Y. 1998. Development of *Sphagnum fallax* diaspores on bare peat with implications for the restoration of cut-over bogs. *Journal of Applied Ecology* 35: 800-810.
- Fenton, N.J. et Bergeron, Y. 2006. Facilitative succession in a boreal bryophyte community driven by changes in available moisture and light. *Journal of Vegetation Science* 17: 65-76.
- Gaudig, G. et Joosten, H. 2002. Peat moss (*Sphagnum*) as a renewable resource - An alternative to *Sphagnum* peat in horticulture? Dans *Peat in horticulture - quality and environmental challenges*. Proceeding of the 2002 International Peat Society Symposium, Pärnu, Estonia, 3 au 6 septembre 2002. Sous la direction de G. Schmilewski et L. Rochefort. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 117-125.
- Grosvernier, P., Matthey, Y. et Buttler, A. 1995. Microclimate and physical properties of peat: New clues to the understanding of bog restoration processes. Dans *Restoration of temperate wetlands*. Sous la direction de B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt et R.A. Robertson. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Royaume-Uni. P. 435-450.
- Joosten, H. 1998. Peat as a renewable resource: The road to paludiculture. Dans *Peatland restoration and reclamation, techniques and regulatory considerations*. Proceedings of the 1998 International Peat Symposium Duluth, Minnesota, États-Unis, 14 au 18 juillet 1998. Sous la direction de T. Malterer, K. Johnson et J. Stewart. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande. P. 56-63.
- Malmer, N., Svensson, B.M. et Wallen, B. 1994. Interactions between *Sphagnum* mosses and field layer vascular plants in the development of peat-forming systems. *Folia Geobotanica Phytotaxonomica* 29: 483-496.
- Pouliot, R. En préparation. Formation of *Sphagnum* moss hummocks in bogs and presence of vascular plants: Is there a link?
- Rydin, H. et Jeglum, J.K. 2006. *The biology of peatlands*. Oxford University Press Inc., New York, États-Unis. 343 p.

Annexe A : Tableaux d'ANOVA

Tableau 1. Conditionnement du substrat de croissance (volet serre) : analyse de variance (valeur p) et contrastes *a priori* des effets des conditionnements sur la multiplication des capitules de *Sphagnum magellanicum* et de *Sphagnum papillosum*. Les interactions Semaine*Espèce ($p = 0,0037$) et Semaine*Conditionnement ($p = 0,0023$) sont significatives. Les résultats sont présentés pour chaque période de mesure et réfèrent aux semaines depuis la première période de mesure. Les valeurs en gras soulignent les différences significatives ($p < 0,05$).

Source de variation	d.l.*	sem 1		sem 4		sem 9 **	
		F	P > F	F	P > F	F	P > F
Bloc	5	0,66	0.6615	2,13	0.1174		
Conditionnement	3	0,73	0.5525	0,87	0.476	7,02	0.0041
Erreur a (bloc*cond)	15	1,63	0.1537	0,95	0.5365		
Espèce	1	7,70	0.0117	0,39	0.5399	9,28	0.0073
Cond*Espèce	3	0,07	0.9765	0,87	0.4718	2,29	0.1156
Erreur b	20						
Total	47						
Contraste							
C1 Aucun cond vs Autres	1		-		-	15,91	0.0013
C2 Simultané vs Densités	1		-		-	4,97	0.0428
C3 Faible densité vs Forte densité	1		-		-	0,00	0.9648

* d.l. Erreur b = 19 et Total = 46 pour la semaine 9 (1 unité expérimentale a été détruite à la suite d'une infection fongique).

** La semaine 9 a été analysée en utilisant la procédure MIXED, tandis que les semaines 1 et 4 ont été analysées en utilisant la procédure GLM.

Tableau 2. Conditionnement du substrat de croissance (volet serre) : analyse de variance (valeur p) et contrastes *a priori* des effets des conditionnements sur la vitesse et le succès d'établissement de *Sphagnum magellanicum* et de *Sphagnum papillosum*. Les interactions Semaine*Espèce ($p = 0,0308$) et Semaine*Conditionnement ($p < 0,0001$) sont significatives. Les résultats sont présentés pour chaque période de mesure et réfèrent aux semaines depuis la première période de mesure. Les valeurs en gras soulignent les différences significatives ($p < 0,05$).

Source de variation	d.l	Sem 1		Sem 4		Sem 9**		Sem 12		
		.*	F	P > F	F	P > F	F	P > F	F	P > F
Bloc	5	0,32	0,8913	3,06	0,0424					
Cond.	3	0,49	0,6959	1,74	0,2025	6,81	0,0041	3,29	0,0500	
Erreur a (bloc*cond)	15	3,94	0,0025	2,38	0,0359					
Espèce	1	0,17	0,6829	2,14	0,1591	12,93	0,0019	1,05	0,3178	
Cond*Espèce	3	0,19	0,8997	0,62	0,6101	1,02	0,4042	0,37	0,7772	
Erreur b	20									
Total	47									
Contraste										
Aucun cond vs	1	-	-	-	-	14,28	0,0018	7,32	0,0163	
C1 Autres Simult vs	1	-	-	-	-	5,16	0,0382	2,31	0,1490	
C2 Densités Faible densité vs	1	-	-	-	-	0,81	0,3809	0,12	0,7319	
C3 Forte densité	1	-	-	-	-					
Source de variation	d.l	Sem 16		Sem 20		Sem 24				
		.*	F	P > F	F	P > F	F	P > F		
Bloc	5									
Cond.	3	9,03	0,0012	11,29	0,0004	27,89	< 0,0001			
Erreur a (bloc*cond)	15									
Espèce	1	6,75	0,0177	13,59	0,0016	9,10	0,0071			
Cond*Espèce	3	0,80	0,5109	0,19	0,9049	1,64	0,2145			
Erreur b	20									
Total	47									
Contraste										
Aucun cond vs	1	2,01	0,1767	6,77	0,0200	44,54	< 0,0001			
C1 Autres Simult vs	1	24,87	0,0002	27,17	0,0001	39,75	< 0,0001			
C2 Densités Faible densité vs	1	0,12	0,7334	0,30	0,5947	0,24	0,6283			
C3 Forte densité	1									

* d.l. Erreur b = 19 et Total = 46 pour la semaine 9 à 24 (1 unité expérimentale a été détruite à la suite d'une infection fongique).

** La semaine 9 à 24 ont été analysées en utilisant la procédure MIXED, tandis que les semaines 1 et 4 ont été analysées en utilisant la procédure GLM.

Tableau 3. Conditionnement du substrat de croissance (volet serre) : analyse de variance (valeur p) et contrastes *a priori* des effets des conditionnements sur l'élongation finale (après 24 semaines de croissance) des tiges de *Sphagnum magellanicum* et de *Sphagnum papillosum*. Les valeurs en gras soulignent les différences significatives ($p < 0,05$).

Source de variation		d.l.*	Élongation	
			F	P > F
Bloc		5		
Conditionnement		3	21,30	< 0,0001
Erreur a (bloc*cond)		15		
Espèce		1	0,07	0,8006
Cond*Espèce		3	0,38	0,7711
Erreur b		19		
Total		46		
Contraste				
C1	Aucun conditionnement vs Autres	1	40,20	< 0,0001
C2	Simultanément vs Densités	1	20,65	0,0004
C3	Faible densité vs Forte densité	1	4,50	0,0510

* 1 unité expérimentale a été détruite à la suite d'une infection fongique (à la semaine 9).

Tableau 4. Conditionnement du substrat de croissance (volet serre) : analyse de variance (valeur p) et contrastes *a priori* des effets des conditionnements sur l'accumulation de biomasse de *Sphagnum magellanicum* et de *Sphagnum papillosum* après 24 semaines de croissance. Les valeurs en gras soulignent les différences significatives ($p < 0,05$).

Source de variation		d.l.*	Biomasse accumulée	
			F	P > F
Bloc		5		
Conditionnement		3	5,86	0,0074
Erreur a (bloc*cond)		15		
Espèce		1	2,24	0,1511
Cond*Espèce		3	0,43	0,7360
Erreur b		19		
Total		46		
Contraste				
C1	Aucun conditionnement vs Autres	1	7,85	0,0134
C2	Simultanément vs Densités	1	0,48	0,0076
C3	Faible densité vs Forte densité	1	0,10	0,7568

*1 unité expérimentale a été détruite à la suite d'une infection fongique (à la semaine 9).

Tableau 5. Conditionnement du substrat de croissance (volet terrain) : analyse de variance (valeur p) et contrastes *a priori* des effets des conditionnements sur le succès d'établissement de *Sphagnum magellanicum* et de *Sphagnum papillosum* après une saison de croissance. Les valeurs en gras soulignent les différences significatives ($p < 0,05$).

Source de variation	d.l.*	Couvert	
		F	P > F
Bloc	5		
Conditionnement	2	16,33	0,0007
Erreur a (bloc*cond)	10		
Espèce	1	0,41	0,5344
Cond*Espèce	2	0,69	0,5171
Erreur b	14		
Total	34		
Contraste			
C1 Aucun conditionnement vs Autres	1	30,35	0,0003
C2 Simultanément vs Tapis <i>Cuspidata</i>	1	2,31	0,1594

* 1 unité expérimentale a été éliminée de l'analyse (piste d'original).

Tableau 6. Structuration du microenvironnement : comparaisons simples planifiées *a priori* pour les facteurs Structure et Mélange.

Contrastes d'effets principaux		
Structure	CC1)	Sans structuration vs Autres
	CC2)	<i>Chamaedaphne calyculata</i> vivant vs <i>C. calyculata</i> mort
	CC3)	Piquet de bois vs <i>C. calyculata</i> mort
Mélange	C1)	<i>Sphagnum fuscum</i> vs Autres
	C2)	Section <i>Acutifolia</i> vs Section <i>Sphagnum</i>
	C3)	<i>Sphagnum fuscum</i> vs <i>Sphagnum rubellum</i>

Tableau 7. Structuration du microenvironnement : analyse de variance et contrastes *a priori* des effets de mélanges d'introduction de sphaignes sur leur succès d'établissement (pourcentage de recouvrement après une saison de croissance). Les valeurs en gras soulignent les différences significatives ($p < 0,05$).

Source de variation	d.l.	F	P > F
Bloc	4	0.61	0,6544
Structure	3	0.96	0,4162
Mélange	3	7.93	0,0002
Structure*Mélange	9	1.79	0,0893
Erreur	60		
Total	79		
Contrastes (Mélange)			
C1) <i>Sphagnum fuscum</i> vs Autres	1	15.41	0,0002
C2) Section <i>Acutifolia</i> vs Section <i>Sphagnum</i>	1	0	0,9598
C3) <i>Sphagnum fuscum</i> vs <i>Sphagnum rubellum</i>	1	22.77	< 0,0001

Annexe B : Conditions physico chimiques

Tableau 1. Effet d'un conditionnement du substrat de croissance sur l'établissement et la croissance de sphaignes de la section *Sphagnum* (volet serre) : Maximums, minimums et moyennes des températures (°C) et de l'humidité relative (%) au-dessus de chaque bloc expérimental mesurés à l'aide d'acquisiteurs de données automatiques (Hobo® Pro v2 Outdoor Data Logger; Gempler's, USA).

Bloc	T (°C)			Humidité relative (%)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
1	35,2 (09-01)*	14,1 (10-19)	22,5	95,5 (07-09)	31,4 (10-04)	68,1
2	35,3 (06-07)	13,6 (10-19)	22,7	94,1 (07-09)	32,8 (06-04)	68,8
3	33,3 (07-29)	13,4 (10-19)	21,9	93,9 (07-09)	31,1 (06-04)	68,6
4	34,9 (06-07)	13,4 (10-19)	22,7	94,5 (07-09)	32,7 (06-04)	70,7
5	32,7 (07-27)	13,4 (10-19)	21,8	95 (07-09)	34,3 (06-04)	71,9
6	33,8 (09-03)	13,2 (10-19)	21,5	97,4 (07-09)	31,2 (05-07)	74,7

*Les valeurs en parenthèse représentent la date (mois-jour).

Tableau 2. Effet d'un conditionnement du substrat de croissance sur l'établissement et la croissance de sphaignes de la section *Sphagnum* (volet terrain) : profondeurs moyennes de la nappe phréatique et teneurs moyennes en eau corrigées de la tourbe pour la saison 2008 et valeurs moyennes du pH et de la conductivité électrique non corrigée au début et à la fin de la saison 2008.

Bloc	Nappe phréatique (cm)	Teneur en eau (%)	Début		Fin	
			pH	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	-7	74,9	3,59	87,5	3,79	107,3
2	-13	72,6	3,76	128,1	3,91	79,4
3	-9	74,6	3,72	145,1	3,39	177,2
4	-4	76,5	3,78	71,8	3,82	94,1
5	-4	77,9	3,99	66,2	3,74	95,4
6	-3	78,2	3,79	92,7	3,77	90,2

Tableau 3. Structuration biotique du microenvironnement de sphaignes des sections *Acutifolia* et *Sphagnum* dans un contexte de production de biomasse : profondeurs moyennes de la nappe phréatique et teneurs moyennes en eau corrigées de la tourbe pour la saison 2008 et valeurs moyennes du pH et de la conductivité électrique non corrigée au début et à la fin de la saison 2008.

Bloc*	Nappe phréatique (cm)	Teneur en eau (%)	Début		Fin	
			pH	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	0	78,3	3,93	143,9	3,78	143,8
2	-1	77,3	3,84	111,5	3,77	146,4
3	2	76,7	3,56	138,3	3,64	136,9
4	-11	72,0	3,89	75,7	3,75	100,0
5	-15	68,3	3,66	74,4	3,56	92,5

* Les blocs 1 à 3 étaient situés dans la section 3 de la tourbière de Shippagan, tandis que les blocs 4 et 5 étaient situés dans la section 1.