

# Réintroduction de sphaignes dans une tourbière exploitée : Évaluation de divers moyens de protection contre la dessiccation<sup>1</sup>

Line ROCHEFORT<sup>2</sup> & Denis F. BASTIEN, Département de phytologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4, Canada, e-mail: line.rochefort@plg.ulaval.ca

**Résumé:** Dans le but de restaurer des tourbières après extraction de la tourbe, des diaspores de sphaignes ont été réintroduites en combinaison avec *i*) des dispositifs de couverts protecteurs ou *ii*) un système d'irrigation. Le comportement de cinq espèces de sphaignes (*Sphagnum angustifolium* [C. Jens. ex Russ.] C. Jens. in Tolf., *S. magellanicum* Brid., *S. papillosum* Lindb., *S. fuscum* [Schimp.] Klinggr. et *S. capillifolium* [Ehrh.] Hedw.) a été observé sur deux types de substrat de tourbe au cours de deux saisons de végétation. Un plus grand nombre de capitules se sont établis sur les surfaces munies de couverts protecteurs de type ombrière (40 % et 60 % d'ombrage) que sur les surfaces témoins dépourvues de protection ou que sur celles recouvertes d'une toile perforée de polyéthylène. Cet effet est lié à l'amélioration des conditions d'humidité créée par la présence des ombrières et à l'impact négatif de la température sous les couverts de polyéthylène. L'irrigation a également favorisé l'établissement des sphaignes, mais l'effet a été peu marqué. Lors d'une année avec des conditions climatiques estivales près des normales (1993), les sphaignes des sections *Cuspidata* et *Acutifolia* ont produit un nombre de capitules similaire après 117 jours de croissance. Par contre, lors de la deuxième saison de croissance, celle-ci beaucoup plus humide en raison des pluies abondantes, les sphaignes de la section *Cuspidata* se sont maintenues ou multipliées, alors que celles de la section *Acutifolia* ont régressé. À la lumière de ces résultats, nous suggérons *i*) de réintroduire un mélange de plusieurs espèces de sphaignes pour améliorer l'adaptation du couvert muscinal en formation aux variations climatiques et *ii*) d'effectuer la réintroduction des diaspores en combinaison avec un dispositif de protection physique destiné à favoriser un microclimat adéquat pendant la phase de restauration d'un tapis continu de sphaignes.

**Mots-clés:** tourbière, bog, restauration, revégétation, régénération, *Sphagnum*.

**Abstract:** In order to restore peatlands after peat harvesting operations, *Sphagnum* diaspores were reintroduced in combination with *i*) physical protection devices or *ii*) an irrigating system. The response of five *Sphagnum* species (*Sphagnum angustifolium* [C. Jens. ex Russ.] C. Jens. in Tolf., *S. magellanicum* Brid., *S. papillosum* Lindb., *S. fuscum* [Schimp.] Klinggr. and *S. capillifolium* [Ehrh.] Hedw.) was investigated in relation to two types of peat substrates for two growing seasons. The physical protections consisting of plastic shade cloth (40% and 60% shade) improved the development of a greater number of capitula compared with control surfaces without protection or surfaces covered with a perforated polyethylene sheet. This stimulating effect could be caused by higher humidity created by a shade screen. Irrigation also enhanced the establishment success of *Sphagnum* but the effect was less successful than expected. During a year with normal summer climatic conditions (1993), the sphagna of the sections *Cuspidata* and *Acutifolia* established well with equal number of capitulum after 117 days of growth. In contrast, after a second year of growth which was much more humid because of abundant rainfalls, the sphagna of section *Cuspidata* were maintained or multiplied while those of section *Acutifolia* regressed. Since it is difficult to predict long-term climatic conditions, we suggest the reintroduction of a mixture of many species in order to favor the adaptation of the moss cover to diverse climatic conditions. In conclusion, we recommend the reintroduction of a variety of *Sphagnum* species under physical protections like plastic shade screen to favor an adequate microclimate during the restoration phase of a continuous moss carpet.

**Keywords:** peatland, bog, restoration, revegetation, regeneration, *Sphagnum*.

## Introduction

Avec ses 170 millions d'hectares de tourbières, le Canada occupe une position privilégiée quant à l'importance des dépôts de tourbe sur son territoire. L'exploitation de cette ressource sous forme de mousse de tourbe ("peat moss") occupe une place importante dans l'économie de plusieurs régions éloignées des grands centres urbains avec, annuellement, plus de 180 millions de dollars de revenus (Keys, 1992; G. Hood, comm. pers.). Grâce à un éventail grandissant de produits fabriqués à base de tourbe (terreau, système d'épuration, carton absorbant), l'exploitation des tourbières est une activité économique qui devrait continuer de prospérer dans l'avenir. Mais l'abondance de cette

ressource est trompeuse. Au Québec, par exemple, même si les tourbières recouvrent plus de 10 % du territoire, les inventaires du ministère des Ressources naturelles (Buteau, 1989) montrent que seul un faible pourcentage ( $\approx 35$  %) de cette superficie est du type ombrotrophe (bog) ; ce sont les tourbières ombrotrophes qui constituent la principale source d'approvisionnement des industries. De plus, une importante proportion de ces tourbières ( $\approx 70$  %) est peu intéressante au plan économique en raison de l'éloignement des zones urbaines. Une gestion intégrée et durable est donc requise afin d'éviter toute perte nette de ce type de milieu humide au Canada méridional, conformément à la politique de conservation des terres humides en Amérique du Nord (Lynch-Stewart, 1992). La restauration de l'écosystème est donc un souci majeur pour éviter la perte de milieux

<sup>1</sup>Rec. 1997-04-24; acc. 1997-08-21.

<sup>2</sup>Auteure pour toute correspondance.

humides, tout en permettant de continuer à en retirer des bénéfices. Ces efforts de restauration des tourbières prennent aussi toute leur importance quand on constate que certains pays d'Europe ont perdu la presque totalité des tourbières autrefois présentes sur leur territoire (Burton, 1996; Steffens, 1996).

L'extraction de la tourbe entraîne des dommages sévères sur l'écosystème. Le niveau de la nappe phréatique est abaissé par le drainage du sol tourbeux, alors que la végétation de surface et une certaine épaisseur de tourbe sont prélevées, laissant ainsi des surfaces sèches et dépourvues de végétation. Dans la majorité des cas, les tourbières abandonnées après exploitation restent dénudées ou sont colonisées par des plantes autres que celles observées typiquement dans les tourbières naturelles (Elling & Knighton, 1984; Famous, Spencer & Nilsson, 1991; Meade, 1992; Poschlod, 1992; Salonen, 1992; Money, 1995). Dans l'est du Canada, l'inventaire floristique d'une quinzaine de tourbières exploitées et abandonnées depuis plusieurs années (20 à 40 ans) démontre que les sphaignes sont absentes dans environ 85 % des surfaces (Rochefort, données non pub.; Lavoie & Rochefort, 1996). Étant donné le faible succès de recolonisation spontané par les sphaignes après l'exploitation de la tourbe et l'importance de ce groupe végétal responsable de l'accumulation de la tourbe (Damman, 1979), il devient impératif de réimplanter activement ces mousses afin de recréer un écosystème fonctionnel.

La réintroduction au champ mise sur la facilité de reproduction végétative des sphaignes (Sobotka, 1976; Lane, 1977; Clymo & Duckett, 1986; Wilcox & Andrus, 1987; Rochefort, Gauthier & LeQuéré, 1995). Une seule diaspore (fragment d'un végétal susceptible de reproduire le plant-mère), représentée dans ce cas-ci par une tige, un rameau ou une feuille de sphaigne, peut donner naissance à plusieurs capitules (partie apicale d'une sphaigne normale à partir de laquelle s'effectue la croissance). Chacun de ces capitules néoformés peut potentiellement donner naissance à un individu. Les capitules peuvent également se multiplier par dichotomie (Sobotka, 1976; Clymo & Hayward, 1982; Cronberg, 1991). Ainsi, à partir d'une seule diaspore, on peut s'attendre à la formation de plusieurs individus. Ceux-ci finissent par former de petits îlots dont la coalescence permet finalement à la végétation de couvrir la totalité de l'espace libre et de former un tapis muscinal continu. Une étape critique est alors franchie, puisque l'on retrouve ainsi la structure végétale fonctionnelle typique de cet écosystème, à savoir un acrotelme de mousse vivante et d'accumulation de matière organique, surmontant des couches de tourbe plus compacte.

Il existe plusieurs espèces de sphaignes dans l'est du Canada (plus de 60 espèces; Ireland *et al.*, 1980) par rapport aux autres régions de l'hémisphère nord. Ces différentes espèces de sphaignes possèdent des niches écologiques bien caractérisées en Amérique du Nord (Vitt, Crum & Snider, 1975; Horton, Vitt & Slack, 1979; Damman & Dowhan, 1981; Slack, 1982; 1984; 1990; Andrus, Wagner & Titus, 1983; Vitt & Slack, 1984; Gignac & Vitt, 1990; Vitt *et al.*, 1990; Gignac *et al.*, 1991). Par contre, à part quelques études en serre (Li & Vitt, 1995; Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995; 1997; Campeau & Rochefort, 1996), on en

sait peu sur la capacité spécifique des sphaignes à coloniser des substrats de tourbe après exploitation d'un dépôt. C'est pourquoi cette étude teste au champ des représentants des trois principaux groupes taxonomiques des sphaignes qui composent la majeure partie de la biomasse des dépôts de tourbe au Canada.

La réintroduction active de diaspores de sphaignes au champ (Rochefort, Gauthier & LeQuéré, 1995) implique leur dispersion et, par conséquent, leur isolement les unes des autres lors de leur épandage. Étant donné que les sphaignes sont des végétaux poikilohydriques, la survie des diaspores, lors de la phase d'établissement, est étroitement liée aux conditions d'humidité qui prévalent sur les surfaces de tourbe nues à restaurer. Sagot & Rochefort (1996) ont montré que peu de diaspores survivent à des expositions maximales de 48 heures à des températures de 30 °C et plus pour des conditions d'humidité relative assez sèche. Pour leur part, Campeau & Rochefort (1996) ont constaté que dans des conditions relativement sèches du substrat tourbeux (niveau d'eau maintenu à 25 cm sous la surface), la colonisation par les sphaignes d'une surface donnée est diminuée de 75 % par rapport au succès de colonisation d'un substrat tourbeux plus humide (niveau d'eau maintenu à 5 cm sous la surface). Ces faits compliquent l'implantation de sphaignes étalées directement sur la tourbe nue d'une tourbière exploitée. Des vents violents ou desséchants, une température souvent élevée, une insolation intense ou des variations importantes de la nappe phréatique peuvent engendrer des contraintes d'ordre physiologique ou mécanique affectant l'établissement et le développement des diaspores. Il est donc pertinent d'envisager la mise en place de dispositifs de protection des diaspores après leur épandage sur la tourbe.

Dans le but de tester l'incidence de dispositifs de protection contre les éléments adverses du milieu physique, deux expériences ont été mises en place au printemps 1993. Dans une première expérience, on teste l'hypothèse de l'importance microclimatique de différents recouvrements artificiels (ombrières et pellicules de plastique) installés à quelques centimètres au-dessus des diaspores pour l'établissement d'un couvert muscinal. L'expérience est menée sur deux types de substrat de tourbe fréquemment observés après la cessation des activités de récolte. Dans une deuxième expérience, on évalue l'efficacité d'un système d'approvisionnement artificiel en eau à l'aide de gicleurs. L'arrosage devrait favoriser l'établissement des diaspores par le maintien d'un environnement humide propre à éviter une dessiccation intense ou prolongée (Sagot & Rochefort, 1996).

## Matériel et méthodes

### SITE D'ÉTUDE

Le site expérimental de la tourbière de Sainte-Marguerite-Marie est situé au Lac Saint-Jean, au Québec, à environ 10 km au sud de la ville de Mistassini (48° 48' 30" N et 70° 10' 30" O). La tourbière possède une superficie de plus de 4400 hectares (Simard, 1974), ce qui en fait une des plus grandes tourbières du Québec méridional.

La moyenne des précipitations totales annuelles pour la période de 1961 à 1990 atteint un peu plus de 846 mm, dont

25 % tombe sous forme de neige (Environnement Canada, 1993). Juillet, août et septembre sont les mois les plus humides avec respectivement 110, 101 et 98 mm de précipitations. La température moyenne annuelle se situe entre 0 °C et -2,5 °C (Houde, 1978). La saison de croissance (température moyenne journalière au-dessus de 5 °C) débute vers le 2 mai pour se terminer vers le 18 octobre. La durée de la période sans gel est de 108 à 123 jours avec une probabilité de 50 %, c'est-à-dire une année sur deux se situe entre ces valeurs (Dubé, Chevrette & Lamb, 1982). Les données météorologiques révèlent qu'en ce qui concerne la pluviométrie, la saison de croissance de 1993 s'apparentait à une année normale, alors que la saison 1994 fut nettement plus pluvieuse en raison de fortes précipitations en juin et juillet (Environnement Canada, 1993; Figure 1). Le mois d'avril n'a pas été considéré puisque la fonte des neiges et le gel tardif dans la tourbe engendrent des conditions très humides.

À la tourbière Sainte-Marguerite, l'exploitation de la tourbe fibrique se fait par la coupe de blocs à l'aide d'une pelle mécanique. La tourbe doit avoir une valeur maximum de 2 à l'échelle de von Post pour que l'usine de Produits Desbiens Inc. réussisse à fabriquer un carton absorbant de qualité. Ainsi à l'abandon, les surfaces à restaurer ont des indices fibriques von Post variant de 2 à 3 et un pH de 3,6 à 3,7. Cependant, en raison de la méthode de récolte particulière qu'on y pratique, les planches (champs) d'exploitation de la tourbière comportent une partie centrale surélevée d'une largeur de 10 m bordée, de chaque côté, de zones plus basses de 10 m chacune. La partie centrale de la planche est caractérisée par un type de tourbe poreux, composé de rebus de coupe grossiers qui présentent un aspect rugueux avec de nombreuses aspérités (ci-après désigné substrat rugueux). Cette tourbe n'a jamais été compressée par le passage de la machinerie, et la nappe phréatique s'y trouve en moyenne 35 cm plus basse que le niveau observé dans les bandes extérieures (mesuré 10 fois au cours de l'expérience à l'aide de 4 puits d'observation faits de tubes de polyvinyle [PVC]).

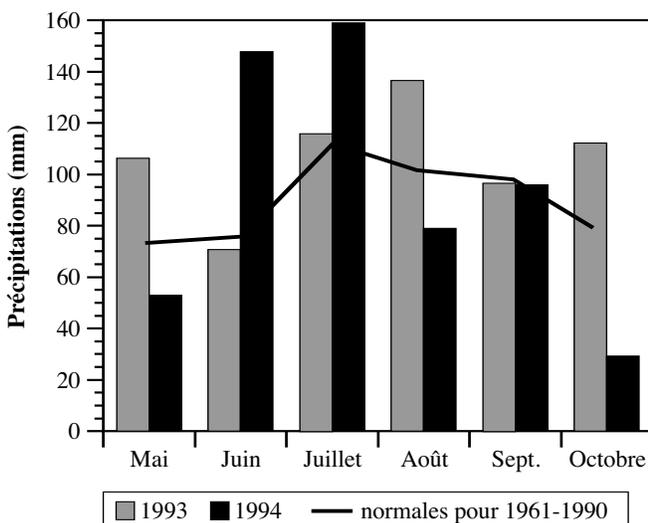


FIGURE 1. Précipitations mensuelles (mm) durant les saisons de croissance 1993 et 1994 (données de la station météorologique de Péribonka située à moins de 10 km du site d'étude).

Les bandes externes de la planche sont constituées d'une tourbe plus lisse, composée de débris végétaux plus fins, qui a été fragmentée et compactée par les fréquents passages de la machinerie lors de l'exploitation (ci-après désigné substrat lisse). Le niveau de la nappe phréatique y est localisé à 20 cm en moyenne sous la surface (maximum + 5 cm, minimum - 50 cm).

#### EXPÉRIENCES AVEC DISPOSITIFS DE COUVERT PROTECTEUR

##### DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Deux expériences menées conjointement (une pour chaque type de substrat) ont permis de tester l'effet de différents couverts protecteurs et de différentes espèces de sphaignes sur l'établissement d'un couvert muscinal. Les expériences ont été réalisées à l'aide du dispositif en plan en tiroir (split-plot). Trois sections expérimentales (blocs) ont été délimitées pour chacune des expériences afin de tenir compte de la présence d'un gradient d'humidité dans l'axe longitudinal de la planche, lié à la légère pente du système de drainage (< 1 %).

Des parcelles principales de 3 m × 5 m ont été délimitées pour tester quatre types de recouvrement. Chacune des parcelles principales a été subdivisée en six sous-parcelles (1,5 m × 1,5 m) occupées par une des cinq espèces de sphaignes et une sous-parcelle sans réintroduction de sphaigne. L'affectation d'un couvert ou d'une espèce à chacune des parcelles et des sous-parcelles a été déterminée aléatoirement. Le dispositif a été mis en place le 23 mai 1993, et les données ont été recueillies le 16 septembre, couvrant ainsi une période de 117 jours en 1993. Les recouvrements (ombrières ou polyéthylène) ont été enlevés à la fin de la saison 1993 et remis en place le 2 mai 1994. En 1994, le dispositif a été retiré après 143 jours.

##### TYPES DE COUVERT PROTECTEUR

Une toile de polyéthylène transparente habituellement utilisée pour la fabrication de serres domestiques constituait le premier type de couvert. Cette couverture a été perforée de trous de 3 cm de diamètre, distants de 30 cm. L'utilisation du polyéthylène visait à favoriser la survie et à stimuler la croissance des sphaignes, grâce à l'humidité qui y est ainsi conservée. Des ombrières commerciales constituées d'un treillis plastifié ont été utilisées comme deuxième type de couvert (Agrinet, Les industries Harnois inc., Joliette, Québec). Deux intensités d'ombrage ont été retenues, soit 40 % et 60 %. Nous voulions d'abord savoir si les ombrières se distinguaient des parcelles témoins sans recouvrement et, ensuite, s'il existait une différence entre ces dernières. Le choix de ces matériaux avait pour but d'induire un microclimat plus tempéré et humide et d'évaluer la réaction des sphaignes à différents niveaux de réduction de la lumière. Le dernier type de recouvrement était les parcelles témoins sans recouvrement. La hauteur d'installation des recouvrements variait de 15 à 20 cm de la surface de la tourbe.

#### EXPÉRIENCE AVEC IRRIGATION

##### DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental consistait en un plan en tiroir (split-split-plot) répété sur trois planches (blocs) d'exploita-

tion voisines et séparées par des canaux de drainage. Chez ces planches, le substrat de tourbe était uniforme sur toute la largeur de 30 m. Chacune de ces planches contenait deux parcelles principales (l'une irriguée et l'autre non irriguée) subdivisées en quatre sous-parcelles de 5 m × 30 m (150 m<sup>2</sup>). Les trois parcelles irriguées ont été disposées dans le même segment méridional pour chacune des trois planches pour tenir compte de la direction des vents dominants. Les sous-parcelles recevant les trois espèces, ainsi qu'une sous-parcelle sans réintroduction, ont été réparties au hasard dans chacune des parcelles principales. Le dispositif a été effectif du 28 juin au 10 septembre 1993 pendant 75 jours et du 20 mai au 20 août 1994 pendant 93 jours.

#### SYSTÈME D'IRRIGATION

Afin d'assurer l'irrigation des parcelles, une motopompe Monarch (modèle NG 2 1/2 M 9 S-18B), équipée d'un moteur Briggs et Stratton de 18 CV a été utilisée pour alimenter trois gicleurs «checkomatic» de marque Toro. Un système de tuyauterie en matière plastique de type PVC de 7,62 cm de diamètre faisait le lien entre un bassin de réception de 10 m × 20 m et le site d'irrigation. Le bassin de réception, creusé dans la tourbe, était alimenté uniquement par le réseau de drainage artificiel établi pour l'exploitation de la tourbière. Les trois gicleurs étaient installés au centre des trois parcelles principales irriguées. Avec une pression maximale de 6 kg/cm<sup>2</sup> et un rayon d'arrosage d'environ 15 m, chacun des gicleurs pouvait arroser la majeure partie des quatre sous-parcelles qui lui étaient attribuées (sauf les coins externes au cercle). Ce type de gicleur simulait une pluie formée de grosses gouttelettes. Il aurait été préférable d'utiliser des gicleurs brumisateurs, mais la présence de particules de tourbe dans le bassin de réception empêchait leur utilisation. Le système d'irrigation fonctionnait environ deux heures par jour (une heure, matin et soir), lors des journées sans pluie, de la mi-juin à la mi-septembre. Le but du système était de maintenir les diaspores humides pour faciliter et accélérer leur développement. Il ne s'agissait donc pas d'inonder la surface des parcelles, ni de rehausser le niveau de la nappe phréatique. En 1994 le système d'irrigation n'a fonctionné qu'à cinq reprises, à cause des conditions pluvieuses.

#### CHOIX DES ESPÈCES

Dans l'expérience avec dispositifs de couvert protecteur, cinq espèces de sphaignes ont été retenues : *Sphagnum fuscum* et *S. capillifolium* de la section *Acutifolia*, *S. angustifolium* de la section *Cuspidata* et *S. magellanicum* et *S. papillosum* de la section *Palustria*. Dans l'expérience avec irrigation, trois espèces ont été sélectionnées en fonction de leurs exigences écologiques différentes : *S. fuscum*, formant des colonies denses en buttes surélevées, *S. magellanicum*, possédant une amplitude écologique allant des platières humides aux buttes basses et *S. angustifolium*, une espèce de platière, très fréquente dans les zones arbustives des tourbières. Des spécimens de chacune de ces espèces ont été déposés à l'Herbier Louis-Marie de l'Université Laval (QFA).

#### ÉPANDAGE DES DIASPORES

Les sphaignes ont été récoltées en milieu naturel sur une profondeur maximale de 10 cm et transportées sur le

site expérimental dans des sacs de plastique. Des sous-échantillons de 50 tiges avec capitules ont été comptés et pesés à un taux naturel d'humidité. À partir d'une relation poids-nombre d'individus, nous avons préparé le matériel d'introduction pour chaque parcelle (≈ une densité de 250 tiges par mètre carré), afin d'introduire un même nombre de diaspores pour chacune des espèces. La densité naturelle varie en fonction des espèces ; cette valeur correspond donc approximativement à un rapport surface de collecte/surface d'épandage qui varie de 1/50 à 1/150. Par exemple, pour un rapport de 1/100, environ 100 cm<sup>2</sup> de sphaignes (densité naturelle) ont été dispersées sur chaque mètre carré de surface dénudée. Avant la dispersion des sphaignes, les tiges avec capitules ont été coupées au couteau en tronçons de 2 cm dans les expériences avec dispositifs de couvert protecteur, et au hache-paille agricole (dimension allant de 1 mm à 20 mm) dans l'expérience avec irrigation. Les diaspores ont par la suite été épandues manuellement dans chacune des parcelles qui leur avaient été attribuées.

#### ÉVALUATION DE LA REPRISE DES SPHAIGNES

Les capitules régénérés ont été dénombrés dans des quadrats de 30 cm × 30 cm en octobre 1993 et 1994. Un capitule devait avoir au moins trois branches latérales pour être dénombré. Dans la première expérience, deux quadrats par sous-sous-parcelle ont été échantillonnés en diagonale, équidistants avec les deux coins. Dix quadrats disposés au hasard ont été échantillonnés dans chacune des 24 sous-parcelles de l'expérience avec irrigation.

#### PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

##### TENEUR EN EAU DE LA TOURBE (BASE VOLUMÉTRIQUE) ET TEMPÉRATURE DE SURFACE

Afin de mieux évaluer l'impact des différents couverts sur le microclimat à la surface de la tourbe, la teneur en eau de la tourbe de surface a été mesurée à trois reprises au cours de la première année (1993) et à six reprises l'année suivante (1994). Des échantillons mixtes de 150 cm<sup>3</sup> (trois fois 50 cm<sup>3</sup>) de tourbe ont été recueillis à la surface (trois premiers centimètres) des parcelles protégées par les trois types de couvert (polyéthylène, ombrières à 40 % et 60 % d'ombrage) et sur la parcelle sans protection. Le contenu en eau a été obtenu en soustrayant le poids sec (après séchage à 65 °C pendant 48 heures) du poids humide.

La température à la surface de la tourbe sous les différents types de couvert a été mesurée à l'aide de thermocouples (Fenwall Electronics) toutes les 90 minutes, du matin jusqu'à la fin de l'après-midi, lors de la journée du 20 septembre 1994. Cette journée était ensoleillée, sans nuage, mais fraîche.

##### CHIMIE DE L'EAU

Un échantillon d'eau a été recueilli le 14 juillet 1994 dans le bassin de réception où était installée la pompe. Le pH, la conductivité et les contenus en Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, P, Cl<sup>-</sup> ont été mesurés dans les 48 heures suivant la prise d'échantillon sur le terrain.

#### ANALYSES STATISTIQUES

Les données des deux expériences ont été traitées par

analyse de variance en mesures répétées selon un dispositif de plan en tiroir (blocs complets). Les données du nombre de capitules par m<sup>2</sup> ont été transformées ( $\sqrt{x + 0,5}$ ) afin d'améliorer l'homogénéité de la variance. Les analyses de variance ont été réalisées à l'aide de la procédure GLM de SAS. La procédure UNIVARIATE de SAS (SAS Institute Inc., 1988) nous a permis d'évaluer la normalité et l'homogénéité des résidus.

### Résultats

#### EXPÉRIENCES AVEC DISPOSITIFS DE COUVERT PROTECTEUR

##### RECouvreMENTS

Les recouvrements ont eu le même effet sur l'établissement des sphaignes pour les deux types de substrat (Figure 2). Les deux ombrières (40 % et 60 % d'ombrage) ont permis l'établissement et le développement d'un plus grand nombre de sphaignes comparativement à la toile de polyéthylène et à l'absence de protection ( $P \leq 0,0086$ ; Tableau I). Le nombre de capitules s'étant établis sous les deux types d'ombrière variait de 150 à plus de 500/m<sup>2</sup>, toutes espèces confondues, alors que chez les deux autres traitements (surface sans protection et toile de polyéthylène), les valeurs variaient de 10 à 150/m<sup>2</sup>. De plus, la présence d'ombrières a permis, au cours de la deuxième saison de croissance, une multiplication des diaspores déjà établies. Les diaspores des parcelles sans couvert ou situées sous une toile de plastique se sont, quant à elles, à peine maintenues ou ont connu une certaine mortalité (interaction significative entre le recouvrement et l'année ; Tableau I, Figure 2). Par ailleurs, le succès d'établissement des diaspores s'est avéré meilleur sur les substrats lisses que sur les substrats rugueux (Figure 2).

##### ESPÈCES

Les différentes espèces de sphaignes n'ont pas toutes démontré la même capacité à coloniser les substrats de tourbe, et l'effet du type de couvert protecteur n'intervient pas (Tableau I). Le nombre de capitules des espèces des sections *Cuspidata* (*S. angustifolium*) et *Palustria* (*S. magel-*

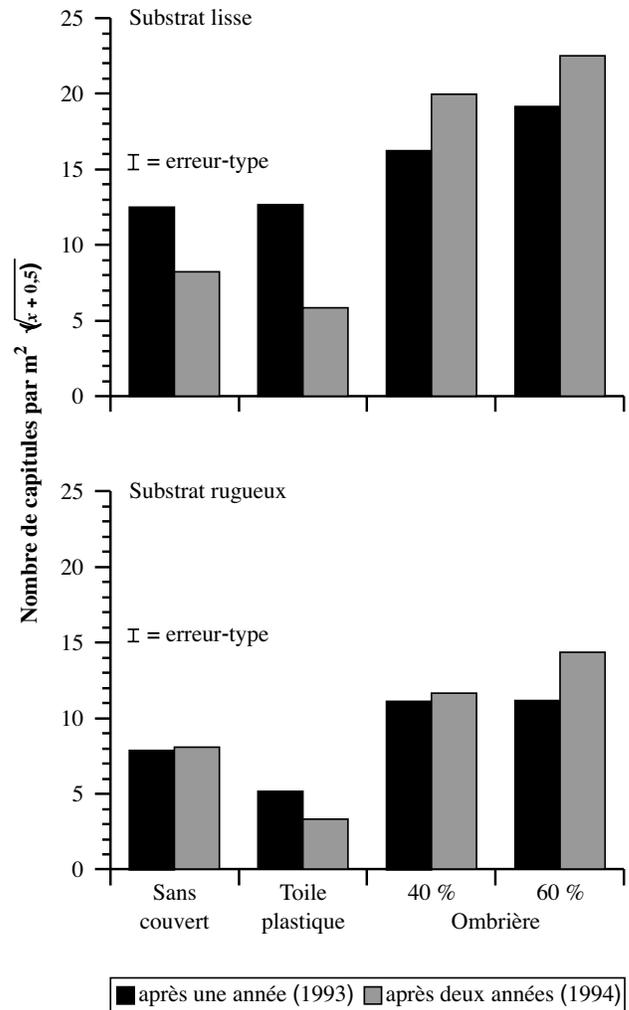


FIGURE 2. Effet de différents couverts protecteurs sur l'établissement des sphaignes et le développement de nouveaux capitules (moyenne de capitules dénombrés  $\pm$  erreur-type) selon le type de substrat, après une et deux saisons de croissance. L'erreur-type est calculée à partir du terme d'erreur de l'analyse de variance.

TABLEAU I. ANOVA en mesures répétées du nombre de capitules de sphaignes par mètre carré (données transformées  $\sqrt{x + 0,5}$ ) dans l'expérience avec dispositifs de couvert protecteur

Source	Degré de liberté	Substrat lisse		Substrat rugueux	
		F	P	F	P
<b>EFFETS PARCELLES PRINCIPALES</b>					
Bloc	2	8,5	0,0176	2,2	0,1962
Couvert	3	71,3	0,0001	10,4	0,0086
Erreur a (bloc $\times$ couvert)	6				
<b>EFFETS SOUS-PARCELLES</b>					
Espèce	5	17,8	0,0001	21,3	0,0001
Espèce $\times$ couvert	15	0,9	0,6205	1,5	0,1632
Erreur b (bloc $\times$ espèce [couvert])	40				
<b>MESURES RÉPÉTÉES À L'INTÉRIEUR DES SOUS-PARCELLES</b>					
Année	1	2,2	0,1477	1,3	0,2642
Année $\times$ couvert	3	14,3	0,0001	4,7	0,0059
Année $\times$ espèce	5	5,2	0,0007	6,9	0,0001
Année $\times$ couvert $\times$ espèce	15	1,5	0,1393	0,2	0,9986
Erreur c	48				

*lanicum* et *S. papillosum*) a augmenté au cours de la deuxième saison par rapport à celui atteint à la fin de la première saison de croissance, alors que celui des espèces de la section *Acutifolia* (*S. fuscum* et *S. capillifolium*) a diminué pendant la même période (Figure 3). L'interaction significative espèce-année des modèles d'analyse de variance illustre cette différence de comportement entre les groupes taxonomiques (Tableau I).

Une certaine recolonisation de la surface de tourbe s'est produite sans réintroduction active des diaspores (jusqu'à 80 capitules/m<sup>2</sup> dans une parcelle témoin; Figure 3). Les nouveaux capitules se sont probablement formés à partir du dépôt organique original dans lequel certains fragments de sphaigne avaient conservé leur capacité de reviviscence ou à partir de diaspores externes introduites par le vent. Il n'a cependant pas été possible d'identifier les espèces ; s'étant régénérés à partir de petits fragments, les individus n'avaient pas encore eu le temps de développer l'anisophyllie caractéristique des sphaignes.

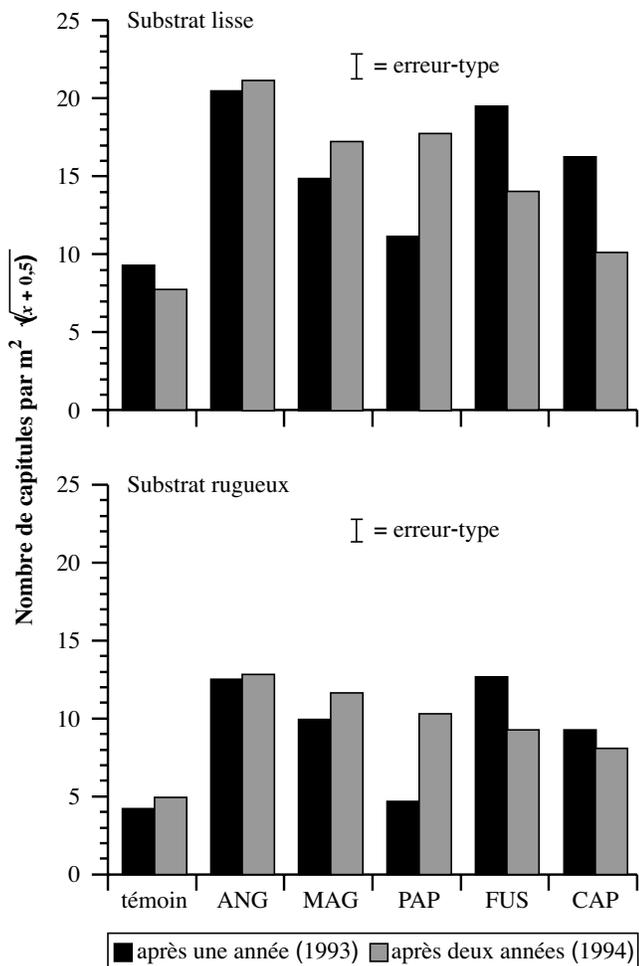


FIGURE 3. Succès d'établissement de cinq espèces de sphaignes et du développement de nouveaux capitules (ANG = *Sphagnum angustifolium*; MAG = *S. magellanicum*; PAP = *S. papillosum*; FUS = *S. fuscum*; CAP = *S. capillifolium*) selon le type de substrat, après une et deux saisons de croissance. Moyenne de capitules dénombrés  $\pm$  erreur-type. L'erreur-type est calculée à partir du terme d'erreur de l'analyse de variance.

#### QUANTITÉ D'EAU DANS LA TOURBE ET TEMPÉRATURE DE SURFACE

La teneur en eau dans la tourbe ( $\text{g/cm}^3$ ) mesurée sous les différents types de couvert protecteur montre que le substrat rugueux est plus sec que le substrat lisse (Figure 4). Par exemple, le 7 juin 1994, la teneur en eau mesurée dans la tourbe du substrat rugueux sous les ombrières à 40 % et à 60 % d'ombrage était inférieure de 0,67  $\text{g/cm}^3$  comparativement aux teneurs du substrat lisse. Même au cours de l'été 1994, qui a été très pluvieux, la différence de la teneur en eau de la tourbe entre les deux substrats s'est maintenue.

Il existe aussi une différence de la quantité d'eau présente sous les différents couverts protecteurs. C'est sur substrat rugueux, sous un couvert de polyéthylène, que la quantité d'eau dans la tourbe est généralement la plus faible. Par exemple, en 1994, la valeur minimale chez ce type de couvert atteignait 0,5  $\text{g/cm}^3$  (6 juillet; Figure 4), alors que chez les autres surfaces, la valeur était de 1,33  $\text{g/cm}^3$ .

En ce qui concerne la température mesurée à la surface de la tourbe, c'est sous le couvert de polyéthylène que les valeurs ont été les plus élevées (Figure 5), et cela pour les

deux types de substrat. Chez le substrat rugueux, la température sous le couvert de polyéthylène a atteint un maximum de 38 °C à 13h30 le 20 septembre 1994. À la même heure, la température à la surface de la parcelle contrôle était légèrement inférieure (34 °C), alors que sous les deux ombrières, elle atteignait environ 20 °C (Figure 5). Chez le substrat lisse, le maximum a aussi été atteint sous le couvert de polyéthylène (35 °C à 13h30), alors que la température à la surface des autres parcelles était d'environ 20 °C. La température à la surface de la tourbe était donc, en moyenne, légèrement plus basse ( $\pm 5$  °C) la tourbe lisse par rapport à la tourbe rugueuse, du moins lors de cette journée d'échantillonnage.

#### EXPÉRIENCE AVEC IRRIGATION

L'irrigation des diaspores réintroduites a favorisé la recolonisation de la tourbe nue par les sphaignes (Tableau II). Dans la zone irriguée, la densité des sphaignes s'étendait de 250 à 675 sphaignes/m<sup>2</sup>, alors que dans la zone non irriguée, elle variait de 50 à 300 sphaignes/m<sup>2</sup> selon les espèces (Figure 6).

#### ESPÈCES

*Sphagnum angustifolium* est l'espèce qui s'est le mieux établie sous l'effet de l'irrigation avec un nombre de capitules de plus de 675 sphaignes/m<sup>2</sup>. Chez *S. fuscum* et *S. magellanicum*, la densité a atteint respectivement 325 et 250 sphaignes/m<sup>2</sup> (Figure 6). Dans les parcelles sans irrigation, le nombre de capitules s'est élevé à 200 sphaignes/m<sup>2</sup>. Ces sphaignes néoformées provenaient vraisemblablement de la régénération de fragments laissés en place ou de diaspores externes à la parcelle expérimentale amenées par le vent. Tout comme pour les expériences avec recouvrement, l'établissement de *S. angustifolium* a progressé au cours de la deuxième saison et le nombre de capitules de *S. fuscum* a diminué (interaction significative

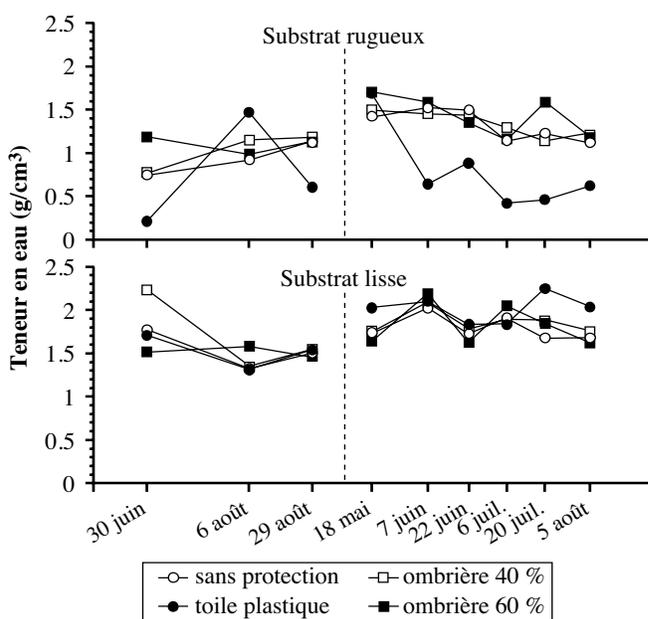


FIGURE 4. Teneur en eau de la tourbe de surface ( $\text{g/cm}^3$ ) mesurée sous les différents couverts protecteurs en 1993 et 1994.

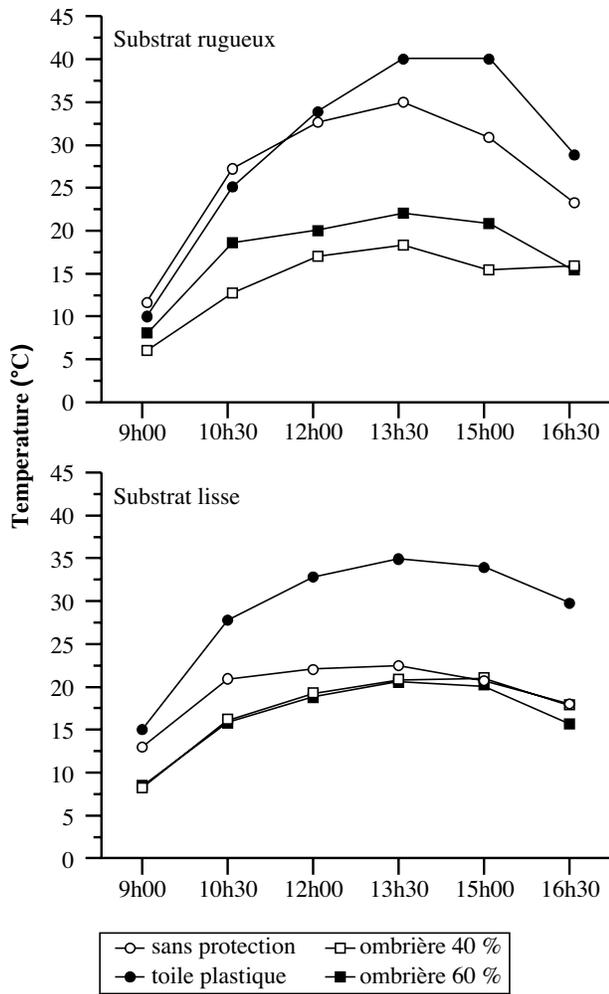


FIGURE 5. Température (°C) à l'interface air-tourbe, mesurée sous les différents couverts protecteurs lors d'une journée ensoleillée mais fraîche (20 septembre 1994).

espèce-année ; Tableau II). Par contre, le nombre de diaspores de *S. magellanicum* a diminué dans les parcelles irriguées lors d'une deuxième saison de croissance, tandis qu'il s'est accru dans les parcelles munies d'un couvert protecteur (Figures 3 et 6).

ANALYSE DE LA CHIMIE DE L'EAU

L'analyse chimique de l'eau libre dans le bassin où était installée la pompe révèle un pH de 5,8 et une conductivité de 27  $\mu$ mhos. L'eau contenait 1,8 mg/L de calcium (Ca<sup>++</sup>), 0,3 mg/L de potassium (K<sup>+</sup>), 0,5 mg/L de magnésium (Mg<sup>++</sup>), 0,58 mg/L de sodium (Na<sup>+</sup>) et moins de 0,009 mg/L de phosphore (P).

Discussion

PROTECTION DES DIASPORES DE SPHAIGNES À L'AIDE D'UN COUVERT

Après deux années d'expérimentation, on constate que les dispositifs de couvert protecteur de type ombrière (fournissant 40 % et 60 % d'ombrage) ont eu un effet favorable sur l'établissement des sphaignes. La teneur en eau de la tourbe était plus humide sous les ombrières que sous le cou-

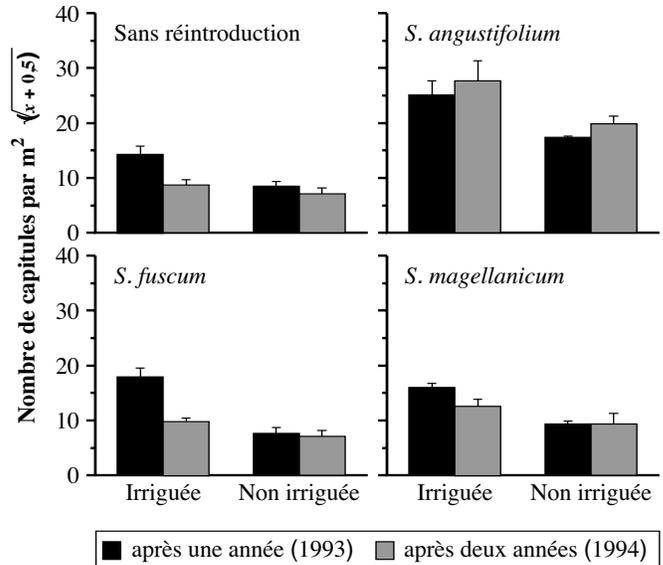


FIGURE 6. Effet de l'irrigation sur l'établissement de trois espèces de sphaignes et le développement de nouveaux capitules après une et deux saisons de croissance. Moyenne de capitules dénombrés  $\pm$  erreur-type. L'erreur-type est calculée à partir du terme d'erreur de l'analyse de variance.

TABLEAU II. ANOVA en mesures répétées du nombre de capitules de sphaignes par mètre carré (données transformées  $\sqrt{(x + 0,5)}$ ) dans l'expérience avec dispositif d'irrigation

Source	Degrés de liberté	F	P
EFFETS PARCELLES PRINCIPALES			
Bloc	2	2,3	0,2990
Irrigation	1	38,9	0,0248
Erreur a (bloc $\times$ irrigation)	2		
EFFETS SOUS-PARCELLES			
Espèce	3	36,9	0,0001
Espèce $\times$ irrigation	3	0,9	0,4869
Erreur b (bloc $\times$ espèce [irrigation])	12		
MESURES RÉPÉTÉES À L'INTÉRIEUR DES SOUS-PARCELLES			
Année	1	15,9	0,0011
Année $\times$ irrigation	1	20,1	0,0004
Année $\times$ espèce	3	12,5	0,0002
Année $\times$ irrigation $\times$ espèce	3	3,3	0,0461
Erreur c	16		

vert perforé de polyéthylène ou que dans les parcelles sans couvert (Figure 4). La température était également plus fraîche, la différence atteignant parfois de 10 °C à 15 °C au moment le plus chaud de la journée (Figure 5). Il est aussi possible que la présence des ombrières ait favorisé l'établissement des sphaignes et le développement de nouveaux capitules en diminuant l'intensité lumineuse, puisque certains chercheurs ont montré que l'excès de lumière peut inhiber la croissance des sphaignes (Harley *et al.*, 1989; Murray, Tenhunen & Nowak, 1993). Ainsi, par leur effet sur le microclimat et les conditions d'humidité du substrat, les ombrières favorisent l'établissement des diaspores de sphaigne. Cet effet peut être apparenté à celui des plantes artificielles utilisées dans les expériences de Salonen (1992). Salonen (1992) a observé qu'un plus grand nombre

d'espèces de plantes vasculaires s'établissent sur la tourbe nue lorsque des dispositifs d'ombrage artificiel (80 % d'ombrage) sont utilisés. Sonesson *et al.* (1980) ont également montré que la croissance de *Sphagnum riparium* pouvait être stimulée par des dispositifs procurant de l'ombrage.

Il est à noter, cependant, que des chercheurs ayant effectué une expérience en serres sur la croissance de *Sphagnum fallax*, en fonction d'un dispositif d'ombrage ou d'un recouvrement de plastique, ont obtenu des résultats différents de ceux de notre expérience au champ (Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995). Sous un couvert d'ombrage en serres, le *S. fallax* a réduit ses accroissements en poids et s'est étioilé. Comme le type de couvert et le pourcentage d'ombrage dans ces expériences n'ont pas été décrits, il est difficile de comparer nos résultats. Quant au recouvrement de plastique, les chercheurs suisses ont noté une amélioration de la croissance de *S. fallax* qu'ils attribuent au maintien d'une humidité relative élevée. Il semble donc que la toile de plastique utilisée dans notre expérience était trop étanche à la pluie, malgré la perforation de la toile visant à procurer un microclimat humide favorable à la croissance des sphaignes. En outre, les températures très élevées (38 °C en septembre) ont probablement nuï aux diaspores.

#### PROTECTION DES DIASPORES DE SPHAIGNES PAR IRRIGATION

Les conditions d'humidité accrues, obtenues par l'irrigation des parcelles, ont sans doute permis la meilleure implantation des sphaignes, qu'elles aient été réintroduites ou non. Sagot & Rochefort (1996) ont démontré que le potentiel de régénération des sphaignes est affecté lorsqu'elles subissent deux jours consécutifs d'assèchement à des températures ambiantes moyennes de 21-22 °C et à une humidité relative moyenne de 58 %. L'expérience avec le système d'irrigation avait pour but de réduire la dessiccation des diaspores réintroduites sur le substrat à restaurer et ainsi accélérer la recolonisation. Cette technique n'a cependant pas donné des résultats aussi intéressants qu'escomptés. Il est possible que ce manque d'efficacité puisse être lié, en partie, à la contrainte du type de gicleurs pouvant être utilisé avec le système d'irrigation. En effet, par leur taille relativement grande, les gouttes produites par les gicleurs ont pu entraîner le déplacement des diaspores et nuire à leur établissement.

Il est peu probable que la qualité de l'eau utilisée lors de l'irrigation ait pu avoir un effet négatif sur la survie et la multiplication des sphaignes, car les valeurs de conductivité et de concentration en ions étaient semblables à ce que l'on trouve dans les tourbières ombrotrophes (Gauthier, 1980; Andrus, 1986; Vitt & Chee, 1990; Wind-Mulder, Rochefort & Vitt, 1996). La seule différence réside en une valeur de pH plus élevée chez l'eau d'irrigation (5,8) ; une valeur qui s'apparente néanmoins à celle de l'eau de pluie. Le pH plus élevé de l'eau d'irrigation a probablement eu peu d'effet sur les espèces réintroduites. En effet, Clymo (1973) a démontré qu'une augmentation expérimentale du pH jusqu'à des conditions non naturelles avait peu d'influence sur la croissance des sphaignes, si elle n'était pas accompagnée d'une augmentation de la concentration en Ca<sup>++</sup>.

Les résultats des deux expériences montrent que le succès

de revégétation est augmenté par l'utilisation de dispositifs de protection. La faible densité initiale des diaspores réintroduites (rapport de 1/100) ne permet pas cependant de revégétaliser efficacement une surface dénudée. On sait maintenant que la reprise de croissance des sphaignes est relativement lente et qu'il faut utiliser au départ des densités plus élevées (Campeau & Rochefort, 1996). Néanmoins, il ne fait aucun doute que des dispositifs de protection seront nécessaires dans tous les projets de restauration de ce type. Les coûts de l'irrigation et des ombrières plastifiées étant élevés, des recouvrements de type paillis végétal pourraient être utilisés comme techniques d'aménagement (Quinty & Rochefort, 1997). La réintroduction préalable de plantes vivantes (éricacées, cypéacées, etc.), sous forme de graines ou de boutures, pourrait aussi créer un habitat propice à la régénération et à la croissance des sphaignes (Ferland & Rochefort, sous presse). D'ailleurs, Grosvernier, Matthey & Buttler (1995) ont conclu qu'il pouvait être avantageux pour les sphaignes de croître en commensalisme avec une plante comme *Eriophorum vaginatum* en procurant un microclimat favorable à leur croissance.

#### COMPORTEMENT DES ESPÈCES DE SPHAIGNE EN PHASE D'ÉTABLISSEMENT

Toutes les espèces de sphaigne ont profité de l'application de dispositifs de protection envers les conditions adverses du milieu à restaurer (Figures 2 et 6). Par contre, les différentes espèces de sphaigne ne montrent pas toutes la même capacité à coloniser et à s'établir sur un substrat de tourbe, d'après leur survie au cours d'une deuxième saison de croissance. Ces différences pourraient être dépendantes des conditions climatiques qui prévalent au cours de la saison de croissance. Par exemple, *S. angustifolium* de la section *Cuspidata* et *S. fuscum* de la section *Acutifolia* montrent des capacités de régénération équivalentes au cours de la première saison (Figure 3). La deuxième saison de croissance, très pluvieuse (Figure 1), ne semble pas avoir favorisé la prolifération des sphaignes de la section *Acutifolia* (Figure 3) qui, en milieu naturel, colonisent les buttes et les platières relativement sèches (Gauthier, 1980; Rydin, 1985; 1993; Andrus, 1986; Gignac & Vitt, 1990; Lindholm & Vasander, 1990). Par contre, *S. angustifolium*, une espèce qui colonise des habitats plutôt humides, s'est mieux propagé en 1994, à l'occasion d'un été plus humide, que les espèces de la section *Acutifolia*. En ce qui concerne les espèces de la section *Palustria*, leur comportement a été plutôt aléatoire : par exemple, *S. papillosum*, qui avait un taux inférieur aux autres espèces en 1993 (Figure 3), s'est multiplié au cours de la saison plus humide de 1994. Par contre, *S. magellanicum*, qui a également profité des pluies de 1994, quoique dans une proportion moindre que *S. papillosum*, a régressé une fois irrigué (Figure 6). Ainsi, les espèces de sphaigne provenant de biotopes relativement secs seraient désavantagées lors d'une saison pluvieuse et humide, comparativement aux espèces de biotopes plus humides. Nous ne savons pas, cependant, comment les différentes espèces s'établissent lors d'une année d'introduction humide. Ainsi, il serait important de réintroduire plusieurs espèces de façon à créer un couvert de sphaignes susceptible de résister aux variations climatiques annuelles et interannuelles.

Le succès d'établissement des sphaignes semble relié à leur tolérance à la sécheresse, tel que décrit dans la littérature. En effet, les espèces qui ont le mieux réussi à se maintenir dans le milieu (Figures 3 et 6), ou à coloniser la tourbe (*S. angustifolium*, *S. magellanicum* et *S. papillosum*) après deux saisons de croissance, sont réputées pour leur plus grande tolérance à la dessiccation par rapport à *S. fuscum* et *S. capillifolium* (Clymo, 1973; Wagner & Titus, 1984; Sagot & Rochefort, 1996). *S. fallax*, une espèce apparentée à *S. angustifolium*, a également été identifiée comme une bonne espèce pionnière dans le processus de paludification des surfaces de tourbe nue, même si la nappe phréatique des tourbières abandonnées n'était pas rehaussée (Grosvernier, Matthey & Buttler, 1997). Ainsi, à la lumière de ces premières expériences et observations de recolonisation, il semble que les espèces des habitats relativement humides, et possédant une plus grande tolérance à la dessiccation que les espèces de buttes ou de milieux plus secs, sont aussi les plus performantes à revégéter une surface de tourbe lorsque aucune intervention de remouillage ou de protection du matériel végétal réintroduit n'est faite.

#### CONSIDÉRATIONS HYDROLOGIQUES ET TOPOGRAPHIQUES PAR RAPPORT À LA RÉINTRODUCTION DES SPHAIGNES

L'établissement des diaspores sur les substrats lisses de la tourbière a connu un meilleur succès que sur les substrats rugueux (Figures 2 et 3). En fait, il se peut que la porosité ou la rugosité de la surface ait peu d'influence dans ce cas-ci et qu'elle masquerait plutôt les effets de la profondeur de la nappe phréatique et de la topographie. En effet, dans le cas du substrat lisse, cette dernière était située plus près de la surface. En serres, un niveau élevé de la nappe phréatique a permis un développement plus rapide des sphaignes qu'un niveau plus bas (Campeau & Rochefort, 1996; Grosvernier, Matthey & Buttler, 1997). En effet, les chercheurs suisses ont évalué l'effet de l'espèce, du niveau de la nappe phréatique et du type de tourbe sur la croissance des sphaignes; ils en ont conclu qu'une fois la variance de l'espèce prise en compte (facteur qui explique 50 % de la variance de croissance), c'est le niveau de la nappe phréatique dans la tourbe qui explique le mieux les écarts de variance (11 %) comparé aux types de tourbe (6 %). Ces dernières expériences, effectuées en serres, appuient donc les résultats obtenus au champ. Par conséquent, les surfaces à restaurer devraient être aménagées de façon à favoriser la présence d'une nappe phréatique le plus près possible de la surface.

Dans le cadre de travaux d'aménagement de restauration des tourbières abandonnées, les résultats de cette étude soulignent l'importance de réintroduire les sphaignes de concert avec une forme de protection contre la dessiccation, dans une optique de revégétalisation rapide d'un couvert muscinal dominant. De plus, nos expériences montrent l'avantage de réintroduire simultanément une certaine diversité d'espèces de sphaigne de façon à augmenter les chances d'établissement d'un couvert muscinal permanent et à conforter son adaptation aux fluctuations du climat. En dernier lieu, notre étude appuie les résultats de recherche de plusieurs autres travaux de restauration, à savoir l'avantage à rehausser la nappe phréatique afin de faciliter le succès d'établissement des sphaignes, même si cette condition, à

elle seule, n'est pas suffisante pour assurer une bonne reprise du couvert muscinal.

#### Remerciements

Nous tenons à remercier S. Campeau pour les conseils en analyse statistique et la lecture critique du manuscrit. S. Boudreau est responsable des présentations graphiques. Pour le bon déroulement des expériences au champ, nous tenons à remercier M. Roy, G. Bérubé et D. Bérubé. Cette recherche a été rendue possible grâce à des subventions du CRSNG (CRSNG-industrie et CRSNG-individuel) attribuées à L. Rochefort. Nous sommes aussi reconnaissants envers A. Buttler et un réviseur anonyme pour la critique constructive qu'ils ont fait du manuscrit.

#### Références

- Andrus, R. E., 1986. Some aspects of *Sphagnum* ecology. *Canadian Journal of Botany*, 64: 416-426.
- Andrus, R. E., D. J. Wagner & J. E. Titus, 1983. Vertical zonation of *Sphagnum* mosses along hummock-hollow gradients. *Canadian Journal of Botany*, 61: 3128-3139.
- Burton, R., 1996. The peat resources of Great Britain (Scotland, England, Wales and Isle of Man). Pages 79-86 in E. Lappalainen (ed.). *Global Peat Resources*. International Peat Society, Jyskä.
- Buteau, P., 1989. Atlas des tourbières du Québec méridional. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction générale de l'exploration géologique, Québec, DV 89-02.
- Campeau, S. & L. Rochefort, 1996. *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: Field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology*, 33: 599-608.
- Clymo, R. S., 1973. The growth of *Sphagnum*: Some effects of environment. *Journal of Ecology*, 61: 849-869.
- Clymo, R. S. & J. G. Duckett, 1986. Regeneration of *Sphagnum*. *New Phytologist*, 102: 589-614.
- Clymo, R. S. & P. M. Hayward, 1982. The ecology of *Sphagnum*. Pages 229-289 in A. J. E. Smith (ed.). *Bryophyte Ecology*. Chapman & Hall, London.
- Cronberg, N., 1991. Reproductive biology of *Sphagnum*. *Lindbergia*, 17: 69-82.
- Damman, A. W., 1979. Geographic patterns in peatland development in eastern North America. Pages 42-57 in International Peat Society (ed.). *Proceedings of the International Symposium of Classification of Peat and Peatlands*, Hyytiälä.
- Damman, A. W. & J. J. Dowhan, 1981. Vegetation and habitat conditions in Western Head Bog, a southern Nova Scotian plateau bog. *Canadian Journal of Botany*, 59: 1343-1359.
- Dubé, P. A., J. E. Chevrette & P. Lamb, 1982. Atlas agroclimatique du Québec méridional. Département de phytologie, Université Laval, Québec.
- Elling, A. E. & M. D. Knighton, 1984. *Sphagnum* moss recovery after harvest in a Minnesota bog. *Journal of Soil, Water and Conservation*, 39: 209-211.
- Environnement Canada, 1993. Normales climatiques au Canada, 1961-1990. Service de l'environnement atmosphérique, Ottawa, Ontario.
- Famous, N. C., M. Spencer & H. Nilsson, 1991. Revegetation patterns in harvested peatlands in central and eastern North America. Pages 48-66 in *Proceedings of the International Peat Symposium*. Peat and Peatlands: The Resource and its Utilization. Duluth, Minnesota.
- Ferland, C. & L. Rochefort, (sous presse). *Restoration techniques*

- for *Sphagnum* dominated peatlands. Canadian Journal of Botany.
- Gauthier, R., 1980. La végétation des tourbières et les sphaignes du parc des Laurentides, Québec. Thèse Ph. D., Université Laval, Québec.
- Gignac, L. D. & D. H. Vitt, 1990. Habitat limitations of *Sphagnum* along climatic, chemical, and physical gradients in mires of western Canada. The Bryologist, 93: 7-22.
- Gignac, L. D., D. H. Vitt, S. C. Zoltai & S. E. Bayley, 1991. Bryophyte response surfaces along climatic, chemical, and physical gradients in peatlands of western Canada. Nova Hedwigia, 53: 27-71.
- Grosvernier, P. H., Y. Matthey & A. Buttler, 1995. Microclimate and physical properties of peat: New clues to the understanding of bog regeneration processes. Pages 435-450 in B. D. Wheeler, S. C. Shaw, W. J. Fojt & R. A. Robertson (ed.). Restoration of Temperate Wetlands. John Wiley & Sons, Chichester.
- Grosvernier, P. H., Y. Matthey & A. Buttler, 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. Journal of Applied Ecology, 34: 471-483.
- Harley, P. C., J. D. Tenhunen, K. J. Murray & J. Beyers, 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.
- Horton, D. G., D. H. Vitt & N. G. Slack, 1979. Habitats of circum-boreal-subarctic sphagna: I. A quantitative analysis and review of species in the Caribou mountains, northern Alberta. Canadian Journal of Botany, 57: 2283-2317.
- Houde, A., 1978. Atlas climatologique du Québec : Température, précipitation. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Gouvernement du Québec, Service de la météorologie, Québec.
- Ireland, R. R., C. D. Bird, G. R. Brassard, W. B. Schofield & D. H. Vitt, 1980. Checklist of the mosses of Canada. Musées nationaux du Canada, Publications de botanique, n° 8, Ottawa, Ontario.
- Keys, D., 1992. Canadian peat harvesting and the environment. North American Wetlands Conservation Council (Canada). Issues paper no 1992-3, Ottawa, Ontario.
- Lane, D. M., 1977. Extent of vegetative reproduction in eleven species of *Sphagnum* from northern Michigan. The Michigan Botanist, 16: 83-89.
- Lavoie, C. & L. Rochefort, 1996. The natural revegetation of a harvested peatland in southern Quebec: A spatial and dendroecological analysis. Écoscience, 3: 101-111.
- Li, Y. & D. H. Vitt, 1995. The dynamics of moss establishment: Temporal responses to a moisture gradient. Journal of Bryology, 18: 677-687.
- Lindholm, T. & H. Vasander, 1990. Production of eight species of *Sphagnum* at Suuriso mire, southern Finland. Annales Botanicae Fennici, 27: 145-157.
- Lynch-Stewart, P., 1992. Aucune perte nette - Mise en oeuvre d'objectifs «aucune perte nette» pour la conservation des terres humides au Canada. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada), Communication no. 1992-2, Ottawa, Ontario.
- 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.
- Money, R. P., 1995. Re-establishment of a *Sphagnum*-dominated flora on cut-over lowland raised bogs. Pages 405-422 in B. D. Wheeler, S. C. Shaw, W. J. Fojt & R. A. Robertson (ed.). Restoration of Temperate Wetlands. John Wiley & Sons, Chichester.
- Murray, K. J., J. D. Tenhunen & R. S. Nowak, 1993. Photoinhibition as a control on photosynthesis and production of *Sphagnum* mosses. Oecologia, 96: 200-207.
- Poschod, P., 1992. Development of vegetation in peat-mined areas in some bogs in the foothills of the Alps. Pages 287-290 in O. M. Bragg, P. D. Hulme, H. A. P. Ingram & R. A. Robertson (ed.). Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment. Department of Biological Sciences, Dundee.
- Quinty, F. & L. Rochefort, 1997. Plant reintroduction on a harvested peat bog. Pages 133-145 in C. C. Trettin, M. F. Jurghensen, D. F. Grigal, M. R. Gale & J. K. Jeglum (ed.). Proceedings of the Ecological and Management of Northern Forested Wetlands, Lewis Publishers, Chelsea.
- Rochefort, L., R. Gauthier & D. LeQuére, 1995. *Sphagnum* regeneration: Toward an optimisation of bog restoration. Pages 423-434 in B. D. Wheeler, S. C. Shaw, W. J. Fojt & R. A. Robertson (ed.). Restoration of Temperate Wetlands. John Wiley & Sons, Chichester.
- Rydin, H., 1985. Effect of water level on desiccation of *Sphagnum* in relation to surrounding sphagna. Oikos, 45: 374-379.
- Rydin, H., 1993. Interspecific competition between *Sphagnum* mosses on a raised bog. Oikos, 66: 413-423.
- Sagot, C. & L. Rochefort, 1996. Tolérance des sphaignes à la dessiccation. Cryptogamie, Bryologie et 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.
- SAS Institute Inc., 1988. SAS/STAT User's Guide. Release 6.03 edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Simard, A., 1974. Les tourbières de la partie habitée des comtés de Roberval, Lac St-Jean, Dubuc et Chicoutimi. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Gouvernement du Québec, Québec.
- Slack, N. G., 1982. Bryophytes in relation to ecological niche theory. Journal of Hattori Botanical Laboratory, 52: 199-217.
- Slack, N. G., 1984. A new look at bryophyte community analysis: Field and statistical methods. Journal of Hattori Botanical Laboratory, 55: 113-132.
- Slack, N. G., 1990. Bryophytes and ecological niche theory. Botanical Journal of Linnean Society, 104: 187-213.
- Sobotka, D., 1976. Regeneration and vegetative propagation of *Sphagnum palustre* as factor of population stability. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 54: 357-368.
- Sonesson, M., S. Persson, K. Basilier & T.-A. Stenström, 1980. Growth of *Sphagnum riparium* Ångstr. in relation to some environmental factors in the Stordalen mire. Ecology of a Subarctic Mire. Ecological Bulletin, 30: 191-207.
- Steffens, P., 1996. Mires and peat resources in Germany. Pages 75-78 in E. Lappalainen (ed.). Global Peat Resources. International Peat Society, Jyskä.
- Vitt, D. H. & W.-L. Chee, 1990. The relationships of vegetation to surface water chemistry and peat chemistry in fens of Alberta, Canada. Vegetatio, 89: 87-106.
- Vitt, D. H. & N. G. Slack, 1984. Niche diversification of *Sphagnum* relative to environmental factors in northern Minnesota peatlands. Canadian Journal of Botany, 62: 1409-1430.
- Vitt, D. H., H. Crum & J. A. Snider, 1975. The vertical zonation of *Sphagnum* species in hummock-hollow complexes in northern

- Michigan. *The Michigan Botanist*, 14: 190-200.
- Vitt, D. H., D. G. Horton, N. G. Slack & N. Malmer, 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.
- Wagner, D. J. & J. E. Titus, 1984. Comparative desiccation tolerance of two *Sphagnum* mosses. *Oecologia*, 62: 182-187.
- Wilcox, D. A. & R. E. Andrus, 1987. The role of *Sphagnum fimbriatum* in secondary succession in a road salt impacted bog. *Canadian Journal of Botany*, 65: 2270-2275.
- Wind-Mulder, H. L., L. Rochefort & D. H. Vitt 1996. Water and peat chemistry comparisons of natural and post-harvested peatlands across Canada and their relevance to peatland restoration. *Ecological Engineering*, 7: 161-181.