

## INFORMATION TO USERS

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

**The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.** Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps. Each original is also photographed in one exposure and is included in reduced form at the back of the book.

Photographs included in the original manuscript have been reproduced xerographically in this copy. Higher quality 6" x 9" black and white photographic prints are available for any photographs or illustrations appearing in this copy for an additional charge. Contact UMI directly to order.

# UMI

A Bell & Howell Information Company  
300 North Zeeb Road, Ann Arbor MI 48106-1346 USA  
313/761-4700 800/521-0600



JEAN-LUC BUGNON

**PERSPECTIVES DE RESTAURATION DES TOURBIÈRES DANS  
L'EST DU QUÉBEC:  
RÉINTRODUCTION DES SPHAIGNES SUR DES TOURBIÈRES EXTRÊMEMENT SÈCHES AYANT  
ÉTÉ EXPLOITÉES PAR ASPIRATION ET ABANDONNÉES ET,  
EFFETS DE LA PRÉSENCE DES PLANTES VASCULAIRES SUR LA CROISSANCE DES SPHAIGNES,  
SUR D'ANCIENS SITES D'EXPLOITATION DE LA TOURBE PAR LA COUPE DE BLOCS.**

mémoire

présenté

à la Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation

de l'Université Laval

pour l'obtention

du grade de maître en science (M.Sc.)

Département de Phytologie

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION

UNIVERSITÉ LAVAL

Décembre 1997



National Library  
of Canada

Acquisitions and  
Bibliographic Services

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Acquisitions et  
services bibliographiques

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file* *Votre référence*

*Our file* *Notre référence*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

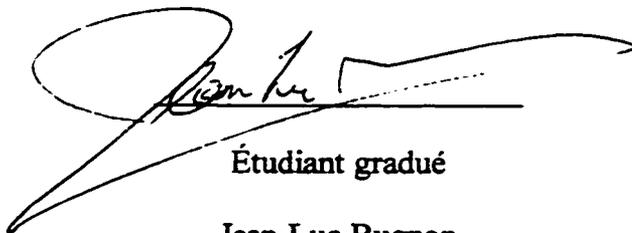
0-612-25519-0

**Canada**



## RÉSUMÉ

L'exploitation des tourbières provoque des modifications hydrologiques et écologiques majeures dans l'intégrité de cet écosystème. Cette étude est inscrite dans un vaste projet de recherche sur la restauration des tourbières au Québec après exploitation. Une expérience *in situ* a permis, par un reprofilage des planches d'exploitations en forme de V, d'améliorer localement les conditions d'humidité. Le reprofilage a perfectionné la méthode de réintroduction des diaspores de sphaignes sur des sites exploités par aspiration où les conditions d'humidité sont défavorables à la réintroduction des sphaignes. Une seconde expérience de restauration a été effectuée sur des sites où une exploitation par la coupe de blocs a été pratiquée. Ces sites, abandonnés depuis plus de 30 ans, possèdent déjà une revégétation naturelle partielle constitué d'un couvert de sphaignes accompagné d'une forte densité de plantes vasculaires. Cette expérience s'intéresse à la relation plantes vasculaires - sphaignes et son effet sur les variables microclimatiques et la disponibilité en eau pour la croissance de la sphaigne. Cette expérience n'a pas permis de tirer des conclusions claires après seulement une année de croissance.



Étudiant gradué  
Jean-Luc Bugnon



Directrice  
Line Rochefort Ph.D.

## AVANT-PROPOS

La biodiversité c'est...  
Les volées d'oiseaux tournoyant dans le ciel bleu,  
Les fleurs ondulant dans la brise de la montagne,  
Les milliers de diatomées scintillant dans la mer,  
Les gènes de la vie mourants et renaissants,  
Et les liens invisibles unissant tous les êtres,  
En une seule et immense famille.

Essai de traduction d'un poème de Don E. McAllister, 29 juin 1995.  
Tiré de La Biodiversité Mondiale 5(4):14

Pour Marie-France  
à qui je dois de m'être rendu aussi loin et  
à ma fille Florence à qui, j'espère,  
l'avenir réserve un monde fleuri et de grandes choses.

## TABLE DES MATIÈRES

page

<b>RÉSUMÉ</b> .....	iii
<b>AVANT-PROPOS</b> .....	iv
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	v
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	x
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	xi
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE 1</b> .....	4
<b>I. REVUE DE LITTÉRATURE</b> .....	4
<b>1.0 DÉFINITIONS</b> .....	5
1.1 Tourbière.....	5
1.2 Restauration des habitats.....	6
<b>2.0 UTILISATION DES TOURBIÈRES ET DE LA TOURBE, D’HIER À AUJOURD’HUI</b> .....	8
2.1 Période pré-moderne.....	8
2.2 Période moderne.....	8
<b>3.0 EXPLOITATION DES TOURBIÈRES</b> .....	10
3.1 Type d'exploitation des tourbières.....	10
3.1.1 Exploitation par la coupe de blocs.....	11
3.1.2 Méthode d'extraction par aspiration.....	12

## TABLE DES MARIÈRES (SUITTE)

3.2 État de la tourbière après l'exploitation .....	12
3.2.1 Extraction par la coupe de blocs.....	13
3.2.2 Extraction par aspiration .....	14
<b>4.0 RESTAURATION DES TOURBIÈRES .....</b>	<b>15</b>
4.1 Introduction.....	15
4.1 Restauration hydrique .....	16
4.1.1 Blocage des canaux de drainage .....	16
4.1.2 Création de bassin d'eau libre .....	17
4.2 Restauration de la végétation .....	18
<b>II. BUT, OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES .....</b>	<b>19</b>
<b>CHAPITRE 2 .....</b>	<b>22</b>
<i>FIELD EXPERIMENT OF SPHAGNUM REINTRODUCTION ON A DRY ABANDONED PEATLAND, IN EASTERN CANADA.....</i>	<i>22</i>
<i>(RÉINTRODUCTION DE SPHAIGNES DANS UNE TOURBIÈRE ABANDONNÉE EXTRÊMEMENT SÈCHE, DE L'EST DU QUÉBEC).....</i>	<i>22</i>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>24</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>25</b>
<b>1.0 INTRODUCTION.....</b>	<b>26</b>
<b>2.0 EXPERIMENTAL DESIGN.....</b>	<b>28</b>
2.1 Study site.....	28
2.2 Experimental design.....	29
2.3 Creation of moisture conditions .....	29

## TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

2.3.1 Evaluation of substrate moisture conditions.....	30
2.4 Plant establishment performance .....	31
<b>3.0 RESULTS AND DISCUSSION .....</b>	<b>31</b>
3.1 Hydrological and climatic conditions of the 1995 growing season. ....	31
3.2 Creation of moisture conditions .....	33
3.2.1 Effects of profiling on the water table.....	33
3.2.2 Effects of profiling on the peat surface moisture contents .....	34
3.3 <i>Sphagnum</i> establishment success.....	36
<b>4.0 CONCLUSION.....</b>	<b>39</b>
<b>.5.0 ACKNOWLEDGEMENTS .....</b>	<b>39</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>40</b>
<b>CHAPITRE 3 .....</b>	<b>45</b>
<b>EFFETS DE LA RÉDUCTION DES PLANTES VASCULAIRES SUR LA CROISSANCE DES SPHAIGNES SUR D'ANCIENS SITES D'EXPLOITATION DE LA TOURBE PAR LA COUPE DE BLOCS, DANS UNE PERSPECTIVE DE RESTAURATION DES TOURBIÈRES DANS L'EST DU QUÉBEC.....</b>	<b>45</b>
<b>EFFETS DE LA RÉDUCTION DES PLANTES VASCULAIRES SUR LA CROISSANCE DES SPHAIGNES SUR D'ANCIENS SITES D'EXPLOITATION DE LA TOURBE PAR LA COUPE DE BLOCS, DANS UNE PERSPECTIVE DE RESTAURATION DES TOURBIÈRES DANS L'EST DU QUÉBEC.....</b>	<b>46</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>47</b>
<b>1.0 INTRODUCTION .....</b>	<b>48</b>

## TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

1.1 Influence des plantes vasculaires sur la croissance des sphaignes .....	49
<b>2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES .....</b>	<b>52</b>
2.1 Localisation du site d'étude.....	52
2.2 Dispositif expérimental.....	53
2.3 Traitement statistique.....	56
2.4 Récolte des données.....	57
2.4.1 Variables environnementales .....	57
2.4.2 Contenu en eau des colonies de sphaignes .....	57
2.4.3 Croissance des sphaignes.....	58
<b>3.0 RÉSULTATS .....</b>	<b>60</b>
3.1 Effets de la présence des plantes vasculaires, et de la mise en place de couverts protecteurs sur les conditions microclimatiques. ....	60
3.2 Effets de la suppression des plantes vasculaires et de la mise en place de couverts protecteurs sur la croissance de la sphaigne. ....	61
3.2.1 Croissance en longueur de la sphaigne.....	61
3.2.2 Croissance en superficie .....	62
3.2.3 Contenu en eau des colonies de sphaignes .....	62
<b>4.0 DISCUSSION .....</b>	<b>69</b>
4.1 Croissance en longueur des sphaignes .....	69
4.2 Croissance en superficie des colonies de sphaignes.....	71
<b>4.0 CONCLUSION.....</b>	<b>73</b>
<b>RÉFÉRENCES CITÉES.....</b>	<b>74</b>
<b>CHAPITRE 4 .....</b>	<b>79</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>79</b>

**TABLE DES MATIÈRES (SUITE)**

<b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>80</b>
<b>RÉFÉRENCES CITÉES.....</b>	<b>82</b>

**LISTE DES TABLEAUX**

	page
Tableau 3.1: Contrastes <i>a priori</i> pour les variables environnementales en fonction des différents traitements.....	64
Tableau 3.2: Contrastes <i>a priori</i> pour les mesures de contenu en eau et de la croissance en longueur et en superficie des colonies de sphaignes.....	66
Tableau 3.3: Croissance moyenne des sphaignes de Rivière-du-Loup et celles rapportées dans la littérature.....	71

## LISTE DES FIGURES

	page
Figure 2.1: Experimental reprofiling of vacuum post-harvested peat fields.....	30
Figure 2.2: Climatic data for Rivière-du-Loup for the period May to September (1995).....	32
Figure 2.3: Average water table of each treatment.....	33
Figure 2.4: Average moisture content of surface peat of the re-profiled field treatments.....	35
Figure 2.5: Average number of capitula ( $m^{-2}$ ) for the re-profiling treatments.....	37
Figure 2.6: Average number of capitula ( $m^{-2}$ ) along the moisture gradient represented by the distance ( $m^{-1}$ ) of the sample point from the middle of the field.....	38
Figure 3.1: Schématisation des dispositifs expérimentaux présentant les variables mesurées pour la croissance des sphaignes et pour le contenu en eau des colonies.....	55

## LISTE DES FIGURES (SUITE)

	page
Figure 3.2: Schéma explicatif de la disposition des diagonales pour la mesure de la superficie des colonies.....	59
Figure 3.3: Variables microclimatiques (moyenne + erreur-type) à la surface du sol (A: température, B: humidité relative et C: quantité de lumière) selon les différents traitements de coupe et à 2 m du sol.....	63
Figure 3.4: Croissance en longueur (mm) des colonies de sphaignes (moyenne + erreur-type) en fonction des traitements de coupe.....	65
Figure 3.5: Croissance en superficie (mm) des colonies de sphaignes (moyenne + erreur-type) en fonction des traitements de coupe.....	67
Figure 3.6: Contenu en eau (%) des colonies de sphaignes (moyenne + erreur-type) en fonction des traitements de coupe.....	68

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les tourbières ont longtemps été considérées comme des endroits incultes, royaume des mouches et des moustiques. Alderman (1965) les décrivait d'ailleurs comme « une lèpre sillonnant l'ensemble du Canada..., elles avalent les routes, les chemins de fer, les aéroports, les bâtiments, toutes traces de l'humanité, en été elles regorgent de mouches noires et de moustiques et elles ont une odeur de fosse septique ». Mais en réalité, à l'aube d'un siècle nouveau, l'économie de cet écosystème consiste au Canada en une industrie générant un chiffre d'affaires de plus de 180 millions de dollars pour l'année 1995 et en une industrie connexe de 45 millions de dollars (Price 1996). Outre la dimension économique, les tourbières sont des écosystèmes couvrant 12% du territoire canadien (NWWG 1987) où se sont établies des plantes rares et des espèces particulières. D'utilisation diverse au Canada, la tourbe est récoltée essentiellement pour des applications horticoles. Dans bien des pays, cette matière fibreuse est aussi ramassée pour la combustion, pour ses constituants chimiques et pour ses propriétés absorbantes (Turner 1993).

L'exploitation des tourbières a des conséquences importantes sur l'intégrité de l'écosystème. Wheeler et Shaw (1995) identifient deux effets majeurs de la récolte de la tourbe sur les tourbières: la destruction de l'intégrité hydrologique de la tourbière et une fragmentation de l'habitat. Les modifications hydrologiques de la tourbière provoquent un assèchement de la tourbe de surface ce qui augmente la décomposition de la tourbe qui, à son tour, réduit la capacité d'emmagasiner de l'eau dans la tourbe (Price 1996). La réduction de la disponibilité de l'eau empêche un retour naturel de la végétation typique des tourbières et peut favoriser l'invasion de plantes non désirables. Famous *et al.* (1991), suite à un inventaire exhaustif des tourbières abandonnées, ont observé que la revégétation est étroitement liée aux conditions hydriques de la tourbière. Il est de plus plausible que la fragmentation de l'habitat diminue le

potentiel de régénération naturelle de l'écosystème en diminuant la proximité de la source des graines et des propagules des espèces végétales typiques des tourbières. Plusieurs études ont été entreprises pour réintroduire les sphaignes (plantes-clés responsables de la formation de la tourbe) sur des surfaces de tourbe à nu exploitées par aspiration (Rocheffort *et al.* 1995, Bastien 1996, Campeau et Rocheffort 1996, Ferland 1996, LaRose *et al.* sous presses, Quinty et Rocheffort 1997, Rocheffort et Campeau 1997). Les résultats sont fort prometteur pour le rétablissement d'un couvert végétal typique des tourbières sur des substrats de tourbe humide à mésique. Aucune étude, cependant, ne s'est attardée aux sites extrêmement secs ou aux sites exploités par la coupe de bloc.

Inscrit dans un vaste projet de recherche sur la restauration des tourbières après exploitation au Québec, cette étude vise donc dans un premier temps à améliorer la méthode de réintroduction des diaspores de sphaignes mise au point par le laboratoire d'écologie végétale de l'Université Laval (Rocheffort et Campeau 1997) pour des sites exploités par aspiration devenus extrêmement secs. Cette expérience exploratoire reprend les grands principes de restauration des tourbières déjà mis aux points dans la littérature (Wheeler et Shaw 1995) et applique une nouvelle méthode de préparation du terrain pour faciliter la réimplantation et la survie des diaspores de sphaignes. Dans un second temps, l'étude s'attarde pour une première fois à la restauration des sites plus anciens où une exploitation par coupe par blocs a été effectuée et où il existe déjà une revégétation naturelle d'îlots des sphaignes. Encore une fois exploratoire, cette expérience s'intéresse à l'effet de la coupe des plantes vasculaires sur les conditions microclimatiques pour favoriser la croissance des colonies de sphaignes et ainsi favoriser leur envahissement des superficies sans sphaigne.

Ce mémoire est divisée en deux parties précédées par une revue de littérature. La première partie écrite en anglais porte le titre de *Field experiments of Sphagnum reintroduction on a dry abandoned peatland, in eastern Canada*. Cette section sera soumise au journal *Wetlands* dans les mois qui suivront. La seconde partie s'intitule **Effets de la présence des plantes**

**vasculaires sur la croissance des sphaignes dans une perspective de restauration des tourbières dans l'est du Québec.** Ce mémoire se termine par une conclusion générale traitant des buts et objectifs atteint dans ce mémoire.

## **CHAPITRE 1**

### **I. REVUE DE LITTÉRATURE**

## 1.0 DÉFINITIONS

### 1.1 Tourbière

Smith (1990) a défini les tourbières comme des endroits où la production de matière organique est supérieure à la respiration et la décomposition de cette matière produite. Au fur et à mesure que la matière organique (la tourbe) s'accumule, l'influence du substrat minéral sur la disponibilité des minéraux pour la croissance des végétaux devient réduite voire même inexistante. La diminution de l'influence minérale provoque des modifications de la composition de la flore dominée par les mousses brunes (Amblystégiacées) et les graminoides vers une flore dominée par les sphaignes et les éricacées. Néanmoins, il est très difficile de décrire un écosystème entier en trois phrases. En réalité, l'établissement et la définition d'une tourbière sont bien plus complexes que la définition fournie par Smith (1990).

La grande difficulté dans la définition d'une tourbière réside en fait dans la position de l'observateur. En effet, du point de vue des géologues, une tourbière est un dépôt minier de tourbe. C'est le résultat de l'accumulation de matière organique suite à la décomposition anaérobique de la matière végétale produite à des endroits gorgés d'eau. La tourbe serait le stade initial de la formation du charbon; un jeune charbon (Caron 1983). Du point de vue de l'utilisation des sols, les pédologues décrivent les tourbières ou plus spécifiquement la tourbe comme une masse poreuse, noire ou brune, de structure fibreuse ou continue et constituée des substances humiques provenant de la décomposition partielle de la matière organique en milieux inondés (Chamayou et Legros 1989). À ce titre, les tourbières sont des milieux humides pouvant contenir près de 97% d'eau et 2% de matière sèche (Heathwaite *et al.* 1993).

Par comparaison, le lait de vache contient plus de matière sèche par volume que la tourbe (90% d'eau, Alais et Linden 1987). L'écologiste Gore (1983) explique qu'il existe deux grands types de tourbières qui se distinguent essentiellement selon l'origine de l'eau. Dans le premier type de tourbière, les *bogs* ou tourbières ombrotrophes, l'eau est d'origine atmosphérique, qui vient strictement des précipitations, tandis que dans le deuxième type de tourbières, les *fens* ou tourbières minérotrophes, l'eau est d'origine minérale, c'est-à-dire que par circulation à travers le sol minéral avant de parvenir à la tourbière l'eau est enrichie en éléments minéraux. Gore (1983) mentionne quatre façons de classer les *fens* et les *bogs*, soit en fonction de la topographie du milieu, de l'origine de l'eau de la tourbière, en fonction de la présence et l'absence de certaines espèces végétales ou finalement, par la structure de la végétation.

Ces écosystèmes sont, de plus, largement associés à l'hémisphère nord du globe tout particulièrement aux milieux boréaux (Gore 1983). Dans la présente étude, seules les tourbières de type *Bogs* ont fait l'objet d'expérimentation puisque la majeure partie de l'extraction de la tourbe se fait sur des tourbières ombrotrophes (*bogs*).

## 1.2 Restauration des habitats

Dans la littérature, il existe une certaine confusion quant à la signification des mots anglais *restoration* (restauration) et *reclamation* (réaménagement). En effet, certains auteurs utilisent le mot *reclamation* pour décrire une action rendant un habitat apte à maintenir une diversité et une densité d'organismes similaires à celles qui existaient avant la perturbation. Cependant, Wheeler et Shaw (1995) expliquent clairement que ce mot portant à confusion est relié exclusivement à restauration. Wheeler et Shaw (1995) expliquent qu'il est préférable de parler de *rehabilitation* ou *renaturation* (réaménagement) s'il est fait référence à la construction d'un

habitat n'ayant aucun lien direct avec l'habitat qui existait avant la perturbation. Par exemple, dans le cas d'une tourbière exploitée et transformée en culture agricole, il serait mieux de parler de réaménagement plutôt que de restauration. Néanmoins, certains auteurs persistent à parler de restauration des habitats sans toutefois atteindre l'objectif ultime. En effet, Bradshaw (1987) mentionne qu'il existe huit niveaux de restauration des habitats dépendamment du niveau visé:

- 1° Stabilisation de la perturbation; stabilisation du sol.
- 2° Contrôle de la pollution.
- 3° Amélioration visuelle de l'habitat.
- 4° Amélioration de l'habitat pour les utilisateurs.
- 5° Rétablissement une production végétale et animale.
- 6° Atteinte de la diversité biologique d'avant la perturbation.
- 7° Rétablissement des structures végétales.
- 8° Rétablissement des fonctions de l'écosystème.

L'auteur mentionne cependant que pour parler de restauration complète de l'écosystème, il faut atteindre les derniers niveaux, donc rétablir les structures végétales et ainsi rétablir les fonctions de l'écosystème. Toujours selon Bradshaw (1987), avant d'entreprendre toute action de restauration, il est essentiel de comprendre préalablement ce qui fait défaut dans l'écosystème. Par la suite, il faut savoir comment rétablir adéquatement les composantes défectueuses. De plus, les intervenants devront prendre en considération s'il s'agit d'une succession primaire (directement sur le substrat minéral d'origine) ou d'une succession secondaire où la perturbation a laissé sur place des parties importantes de sol intact ou légèrement modifié.

## **2.0 UTILISATION DES TOURBIÈRES ET DE LA TOURBE, D'HIER À AUJOURD'HUI**

### **2.1 Période pré-moderne**

Selon les écrits historiques, il semble que les tourbières aient toujours fait l'objet de modifications anthropiques. Casparie (1993) mentionne qu'aux Pays-Bas, les premières traces d'interventions humaines observées dans les tourbières se situent environ à 1350 ans avant Jésus-Christ. Les habitants de l'époque, en manque de bois par suite de la déforestation pour l'agriculture, utilisaient le bois des tourbières pour fondre le fer et le bronze. Par la suite, la même région montre des traces d'agriculture en milieu tourbeux entre 800 et 500 ans A.J. Dans la région de Rome, sous l'empire Romain, des tourbières ont aussi été drainées pour l'agriculture (Paavilainen et Päivänen 1995). Les habitants de l'époque auraient brûlé la végétation mais selon Casparie (1993), les récoltes ne devaient pas être très bonnes puisque la tourbe était encore trop humide pour permettre une agriculture intensive. L'auteur mentionne de plus, la présence de chemins fabriqués de troncs de saules environ 200 ans A.J. Mais ces perturbations étaient cependant peu importantes comparativement à celles effectuées depuis le 16<sup>e</sup> siècle. Dans la région des Pays-Bas par exemple, la tourbière de Bourtanger est drainée pour diverses raisons depuis quatre siècles. Cependant, durant le dernier siècle, l'effort d'exploitation n'a aucune commune mesure avec les perturbations moyenâgeuses.

### **2.2 Période moderne**

En fait, les tourbières font l'objet de nombreuses utilisations depuis l'avènement de l'ère industrielle. En effet, les tourbières sont drainées pour y pratiquer en autres, l'agriculture,

l'agro-foresterie et pour les dépouiller de leur matériau constitutif: la tourbe. L'utilisation de ce produit est multiple. Il servira selon les temps et les pays de combustible, de produit aux vertus thérapeutiques ou d'amendement des sols en horticulture. L'Irlande utilise six millions de tonnes de tourbe pour produire 16% de son énergie (Turner 1993). Paavilainen et Päivänen (1995) expliquent que la tourbe est extraite depuis le premier siècle de notre ère pour être brûlée mais, selon les auteurs, ce n'est que durant le 17<sup>e</sup> et le 18<sup>e</sup> siècle que l'utilisation de la tourbe comme combustible a pris son essor.

Turner (1993) mentionne plusieurs utilisations de la tourbe pour ses propriétés physiques. Ainsi la tourbe serait utilisée par l'industrie agro-alimentaire comme support à la culture de levures, au cours du processus de maltage de l'orge pour la fabrication du Whisky écossais, ce qui, selon les experts, procure le bouquet et l'arôme particuliers à cet alcool. Cependant, l'auteur explique que la grande popularité de la tourbe provient surtout de ses propriétés absorbantes phénoménales. Certaines études signalent que l'armée de Napoléon aurait même déjà utilisé la mousse de sphaignes comme matériel absorbant pour les blessures lors de ses campagnes militaires. D'ailleurs, certains avancent même que la mousse de sphaignes aurait été employée comme pansement durant l'âge de Bronze. De nos jours, la tourbe et la mousse de sphaignes sont couramment utilisées dans l'industrie pharmaceutique. En effet, une serviette hygiénique féminine dont le matériel absorbant est composé en totalité de mousse de sphaigne est maintenant distribuée dans plus de 40 pays à partir du Canada. La tourbe, pour sa part, est elle aussi employée dans les biofiltres pour l'épuration des eaux usées domestiques ou industrielles. La tourbe occupe aussi une place prépondérante dans le domaine de l'horticulture. Turner (1993) explique que la tourbe s'avère un excellent milieu de croissance pour des mycorhizes. Mais toujours selon l'auteur, la tourbe est principalement utilisée en mélange avec la terre selon diverses proportions, comme milieu de culture en horticulture pour ses caractéristiques physiques. Un mélange adéquat confère au sol une combinaison idéale de

porosité et de rétention de l'humidité. De plus, sa grande stabilité, son pH acide et l'absence de pathogène en font un milieu de choix pour diverses applications horticoles. Enfin, une fois que le matériel a perdu ses propriétés recherchées, il est toujours possible de le composter. Un matériel parfait quoi!

### **3.0 EXPLOITATION DES TOURBIÈRES**

#### **3.1 Type d'exploitation des tourbières**

Avant de s'attarder aux méthodes d'exploitation des tourbières, il est essentiel de mentionner qu'à cause de l'humidité excessive de ces milieux, toute exploitation doit obligatoirement débiter par un drainage profond. De plus, l'enlèvement de la couche végétale active est aussi un pré-requis à l'exploitation minière ou agricole (Wheeler et Shaw 1995). Ce drainage provoque des modifications hydriques importantes, tel un abaissement de la nappe phréatique qui a comme conséquence une augmentation de l'épaisseur de la zone aérobie (Paavilainen et Päivänen 1995). En général, les tourbières sont drainées par niveau. Ce procédé s'avère nécessaire car un drainage trop profond en cours d'exploitation, provoque une décomposition trop rapide de la tourbe qui modifie considérablement les propriétés physiques recherchées dans ce matériau. L'industrie procède donc par étapes pour le drainage. La tourbière est tout d'abord drainée sur une profondeur de 1 m. La tourbe récemment drainée est ensuite récoltée. Lorsque les conditions du terrain ne sont plus adéquates pour la récolte, le réseau de drainage est refait et ainsi de suite.

Bien qu'il existe plusieurs types d'exploitation des tourbières, ce chapitre s'intéressera uniquement aux deux types d'exploitation les plus largement répandus au Québec, soient la méthode de récolte par la coupe de blocs et la méthode de récolte par aspiration.

### **3.1.1 Exploitation par la coupe de blocs**

La méthode d'exploitation des tourbières par la coupe de blocs de tourbe est une méthode ancienne qui était largement employée avant le début des années 70. En effet, bien avant l'arrivée des machines à vapeur, l'extraction de la tourbe se faisait à l'aide de pelles. Se basant sur l'usage de la pelle, la première machine à récolter la tourbe en blocs est inventée par un dénommé Streng en 1908 (Göttlich *et al.* 1995). La méthode consiste à couper des tranchées dans la tourbe et à déposer les extrudats sur les surfaces adjacentes. Une fois déposée, la tourbe s'assèche lentement et après un an, elle peut être récoltée pour ensuite être ensachée (Wheeler et Shaw 1995). Généralement, selon ces auteurs, cette méthode a comme conséquence de laisser en place de grandes surfaces comportant une topographie de terre-pleins et de tranchées profondes de 1 m à 2 m (Göttlich *et al.* 1995). Il est à noter que les terre-pleins sont très souvent secs tandis que les tranchées sont plus humides (Wheeler et Shaw 1995).

De nos jours, cette méthode est peu utilisée au Québec, exception faite de quelques sites situés par exemple à Sainte-Marguerite-Marie au Lac Saint-Jean ou à Saint-Fabien dans le Bas-St-Laurent. Cette méthode répond à des besoins spécifiques mais est très coûteuse. La méthode de l'aspirateur a en effet rapidement supplanté la technique par la coupe de blocs au début des années 1970.

### **3.1.2 Méthode d'extraction par aspiration**

Les premières machines à récolter la tourbe par aspiration apparaissent dès l'année 1848. Cependant, ce n'est qu'en 1926 que le russe Rogoff développe le premier aspirateur à tourbe (Gottlich *et al.* 1995). Contrairement à la méthode de la coupe en blocs, l'aspiration récolte environ 1 cm de tourbe à chaque passage (15 à 20 par année) (Gottlich *et al.* 1995). Pour arriver à récolter la tourbe sur de grandes surfaces, les tourbières sont drainées à l'aide de canaux généralement espacés de 15 à 30 m. Les superficies délimitées par les canaux appelées planches d'exploitation sont profilées de telle sorte que le centre de la planche est légèrement bombé. Ce profilage améliore le drainage de surface en entraînant l'eau vers les canaux (Wheeler et Shaw 1995). L'industrie a ensuite recours à un hersage de surface des planches pour réduire le contenu en eau à près de 60%. Par la suite, un aspirateur géant circule pour récolter seulement la tourbe sèche, partie la plus volatile. En général, un cycle complet de hersage et d'aspiration dure trois jours. Évidemment, la durée du cycle est dépendante des conditions météorologiques (Wheeler et Shaw 1995). L'extraction de la tourbe peut s'effectuer sur plusieurs mètres d'épaisseurs et est effective tant que la tourbe conserve les propriétés physiques désirées.

### **3.2 État de la tourbière après l'exploitation.**

L'extraction de la tourbe a pour conséquence d'abaisser la nappe phréatique au fur et à mesure que l'industrie améliore son réseau de drainage (Gottlich *et al.* 1995). Wheeler et Shaw (1995) ainsi que Schouwenaars (1993) expliquent que le drainage de la tourbière modifie les caractéristiques physiques de la tourbe en diminuant la capacité de stockage de l'eau ainsi que la perméabilité de la tourbe. De plus, le passage répété de la machinerie cause une compaction

de la tourbe qui en réduit la porosité et, par le fait même, la capacité d'emmagasiner de l'eau (Meharg *et al.* 1992). Certains auteurs expliquent que le drainage des tourbières à des fins de foresterie peut aussi entraîner une érosion de la tourbe par l'eau et le vent (Vompersky *et al.* 1992). Une vaste étude menée en Amérique du Nord portant sur les facteurs influençant la revégétation naturelle des tourbières après exploitation a démontré que de vastes surfaces de tourbières peuvent prendre plusieurs années, voire même plusieurs décennies, avant de retrouver un couvert végétal acceptable (Famous *et al.* 1991). Les auteurs expliquent qu'il existe des différences majeures au niveau de la perturbation et de la vitesse de revégétation selon le type d'extraction appliquée.

### **3.2.1 Extraction par la coupe de blocs**

La méthode de la coupe de blocs met en place une topographie très particulière. En effet, selon Wheeler et Shaw (1995), la topographie des tourbières exploitées de cette façon se caractérise par une succession de tranchées relativement humides séparées par des terre-pleins très secs. Comparativement aux autres méthodes d'extraction, celle de la coupe de blocs comporte certains avantages au niveau de la revégétation dans le cadre de retour rapide des espèces. Famous *et al.* (1991) expliquent que cette méthode perturbe seulement une section de la tourbière et qu'elle est rarement employée sur de grandes surfaces en même temps. Ils mentionnent de plus que le rétablissement des sphaignes s'effectue généralement aux endroits où les tranchées sont mal drainées. Cette observation a été vérifiée par Lavoie et Rochefort (1996) qui ont constaté que les tranchées caractérisées par une nappe phréatique près de la surface présentent une végétation composée de sphaignes tandis que les tranchées plus sèches possèdent un couvert végétal composé principalement d'éricacées. En général, les tourbières abandonnées après exploitation par blocs sont recolonisées par un fort couvert d'éricacées

accompagné d'une très faible couverture de sphaignes (Rochefort et Lavoie, données non publiées et observations personnelles).

Le succès de revégétation des tourbières exploitées par la coupe de blocs est largement attribuable aux caractéristiques intrinsèques de la méthode d'exploitation. En effet, lors de l'enlèvement de la couche végétale de surface, cette dernière est disposée aux endroits abandonnées après exploitation, c'est-à-dire, au fond des tranchées situées à proximité. La recolonisation peut donc s'effectuer plus rapidement puisqu'une grande quantité de propagules est déjà présente sur place. Ce procédé court-circuite le processus d'apport de graines et des propagules, qui peut être limitante, notamment lorsque la source est éloigné du site (Famous *et al.* 1991, Lavoie et Rochefort 1996, Wheeler et Shaw 1995).

### 3.2.2 Extraction par aspiration

Contrairement à la méthode de la coupe de blocs, celle par l'aspiration laisse après exploitation de larges superficies dénudées, sans relief et extrêmement sèches (Wheeler et Shaw 1995). En Europe, ces habitats seront, selon les auteurs, fort probablement envahis par des plantes non désirables (mauvaises herbes). Sur ce point, Salonen (1994) fait mention de la présence d'*Epilobium angustifolium* L. dans des parcelles expérimentales de revégétation des tourbières. Ces plantes ne sont jamais présentes dans les tourbières naturelles. En général, cette plante apparaît dans les successions secondaires après feux en forêt boréale (Victorin 1964). Si d'autres études ont malgré tout permis l'observation de plantes caractéristiques des tourbières, la diversité floristique de ces endroits perturbés fait largement penser à des monocultures. Lavoie et Rochefort (1996) mentionnent la recolonisation d'une tourbière préparée pour l'aspiration, dominée par *Betula populifolia* Marsh. D'autres endroits peuvent être colonisés pratiquement exclusivement par *Eriophorum spissum* Fern. (observations personnelles).

Famous *et al.* (1991) expliquent que les superficies laissées à nu par l'exploitation par aspiration sont très souvent sujettes à l'érosion par le vent et l'eau et subissent un soulèvement par le gel et la formation d'une croûte hydrophobe. De plus, le profil bombé de la planche d'exploitation fait en sorte que les conditions environnementales sont extrêmement sèches et non propices à la réintroduction des sphaignes.

## **4.0 RESTAURATION DES TOURBIÈRES**

### **4.1 Introduction**

La restauration des tourbières implique plusieurs étapes et est considérée comme un processus à très long terme. En effet, Eggelsmann (1990) explique qu'il existe trois phases dans la restauration d'une tourbière:

1° la restauration hydrique (remouillage).

2° la renaturation (revégétation)

3° la régénération (retour des espèces accumulatrice de tourbe)

La première phase est, semble-t-il, relativement courte et s'étend sur quelques années seulement. L'auteur mentionne que des travaux de restauration hydrique d'une tourbière en Allemagne ont pris trois ans pour obtenir une profondeur adéquate de la nappe phréatique qui se situe à moins de 30 cm de la surface (Schouwenaars 1995). La deuxième phase, la renaturation, est caractérisée par le retour d'une végétation non typique des tourbières. Cette

phase devrait selon Eggelsmann (1990) prendre quelques décennies. Finalement, la dernière phase, celle de la régénération, est de l'ordre de l'échelle géologique. En effet, c'est l'étape de la formation de la tourbe par les espèces caractéristiques des tourbières. Sachant qu'en moyenne et dans des conditions climatiques idéales, l'accumulation annuelle n'est que de 0,5 à 1,5 mm, cette phase devrait donc prendre plusieurs centaines d'années voir même des millénaires selon les milieux.

Il en ressort donc deux phases principales pour la restauration des tourbières, soient en premier lieu une restauration des conditions environnementales et en second lieu, une étape de réimplantation et de diversification floristique de la végétation turfigène des tourbières.

#### **4.1 Restauration hydrique**

##### **4.1.1 Blocage des canaux de drainage**

Puisque la première étape dans l'exploitation des tourbières consiste à établir un système très important de canaux de drainage, la première étape de la restauration de la tourbière implique logiquement le blocage de ce réseau de drainage. Price (1996) suggère que le blocage des canaux de drainage n'est pas efficace pour contre balancer les conséquences néfastes du drainage. Pour que le blocage soit efficace, il a été démontré que le remblai devrait être effectué à l'aide de la tourbe prélevée en profondeur, c'est-à-dire la tourbe la plus humique possible (Schouwenaars 1992, Roderfeld 1993). Il semble, de plus, que les canaux n'auraient pas avantage à être remblayés complètement sur toute leur longueur puisque certains auteurs suggèrent que la création de bassins de réserve d'eau serait une méthode plus efficace pour minimiser les fluctuations de la nappe phréatique (Schouwenaars 1992, Roderfeld 1993).

#### 4.1.2 Création de bassin d'eau libre

Le blocage des canaux de drainage peut être suffisant pour remouiller la tourbière. Cette opération est cependant fréquemment inefficace pour stabiliser les fluctuations de la nappe phréatique et ainsi favoriser le retour des sphaignes (Schouwenaars 1995). Il est essentiel de considérer la conductivité hydrique de la tourbe dans le choix du degré de remouillage à réaliser. Si la tourbe est trop décomposée, il est fort possible que la couche supérieure de tourbe ne puisse avoir accès à l'eau de la nappe phréatique. Il est suggéré, pour pallier à ce manque, de construire des digues pour favoriser une inondation superficielle de la surface à restaurer (Eggelsmann 1990, Schouwenaars 1995). De plus, Schouwenaars (1995) suggère la création de mares ou de bassins contenant une bonne quantité d'eau libre. L'auteur explique que durant les périodes sèches, le niveau de l'eau de ces mares sera plus élevé que celui de la nappe phréatique dans la tourbe adjacente. Cette différence de niveau favorisera la redistribution d'une certaine quantité d'eau vers les zones plus sèches. Néanmoins, Schouwenaars (1993) explique que les bassins ne doivent pas présenter un diamètre supérieur à 20 m puisque, au-delà de ces dimensions, le risque de création de vague est trop élevé. Ces vagues pourraient nuire à la croissance des sphaignes. Plusieurs expériences ont été effectuées en ce sens. Joosten (1992) a tenté de réintroduire la sphaigne à l'aide de tapis flottants artificiels sur lesquels des fragments de sphaignes étaient déposés. L'insuccès de la réimplantation des sphaignes a poussé l'auteur à conclure qu'il pourrait être dû à l'action des vagues. Il termine en disant qu'après plusieurs années de recherche et beaucoup d'argent investi, les résultats demeurent encore tout à fait mitigés. L'idée a été reprise au Québec par LaRose *et al.* (sous presse) où des bassins d'eau libre ont été produits en imitant des canaux de drainage sans exutoire. L'expérience a été concluante puisqu'il a été observé que la capacité de réserve en eau de la tourbe est augmentée et que les fragments de sphaignes augmentent en nombre après un été de croissance seulement.

## 4.2 Restauration de la végétation

Une fois qu'une restauration hydrique est effectuée, soit par le blocage des canaux ou par la création de bassins d'eau libre, il est temps de préparer le retour de la végétation. Joosten (1992) explique que la simple restauration hydrique peut favoriser un retour des sphaignes. Cependant, cette végétation peut prendre un certain temps avant d'apparaître. Eggelsmann (1990) ajoute pour sa part que la revégétation des tourbières abandonnées s'étend généralement sur plusieurs décennies. Finalement, la simple restauration hydrique de la tourbière est souvent insuffisante pour favoriser le retour des sphaignes Quinty et Rochefort (1997) et Rochefort et Campeau (1997). Il s'avère donc nécessaire d'agir le plus rapidement possible pour réintroduire la végétation typique des tourbières, notamment lors de l'utilisation de fragments de sphaigne.

L'utilisation du potentiel de régénération des sphaignes est présenté comme une méthode très prometteuse pour la réintroduction des sphaignes sur la tourbe à nu (Campeau et Rochefort 1996). Les premiers résultats faisant état du potentiel de division dichotomique des fragments de sphaignes sont présentés par Poschlod et Pfadenhauer (1989). Rochefort *et al.* (1995) ainsi que Money (1995) ont démontré qu'il est possible de réintroduire les sphaignes sur de la tourbe à nu à partir de fragments (diaspores) de sphaignes. Ces expériences ont montré que le succès de régénération est étroitement lié à une nappe phréatique élevée. Dans la même lignée, une seconde expérience menée par Campeau et Rochefort (1996) indique que le potentiel de régénération des fragments de sphaignes diminue avec la profondeur de la colonne de sphaignes où est prélevé le matériel. Les auteurs mentionnent que les dix premiers cm de la colonne de sphaignes possèdent le meilleur potentiel de régénération et qu'il diminue progressivement avec la profondeur. Pour leurs parts, Quinty et Rochefort (1997) ont appliqué des protections

physiques sur les diaspores après leur réintroduction. Cette étude a révélé qu'un recouvrement de paille améliore le succès d'établissement des diaspores de sphaignes.

## **II. BUT, OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES**

Tel que présentée dans la revue de littérature, l'exploitation des tourbières provoque des modifications considérables au niveau de l'hydrologie, de la structure de la tourbe et de la composition floristique et faunique de cet écosystème humide (Wheeler et Shaw 1995, Schouwenaars 1993, Roderfeld 1993, Famous *et al.* 1991, Eggelsmann 1990). Ces modifications sont à l'origine même de l'absence de recolonisation spontanée par les sphaignes après exploitation des tourbières (Lavoie et Rochefort 1996, Salonen 1994). Rochefort *et al.* (1995) ont démontré qu'il est possible d'accélérer le processus du retour des sphaignes par une réintroduction forcée à l'aide de diaspores épanchées sur de la tourbe à nu et ce, même si les conditions hydriques minimales mentionnées par Schouwenaars (1988) ne sont pas atteintes, soient une profondeur de la nappe phréatique inférieure à 40 cm en période de croissance végétale et une diminution des variations de hauteur de la nappe phréatique.

Basée sur les résultats des études antérieures (Rochefort *et al.* 1995, Campeau et Rochefort 1996, Quinty et Rochefort 1997, Rochefort et Campeau 1997), la présente étude s'inscrit dans un vaste projet de restauration des tourbières au Québec et a pour objet de restaurer des sites qui sont demeurés extrêmement secs après la fin des activités d'exploitation. Des essais de restauration ont ainsi été entrepris sur deux sites ayant fait l'objet d'exploitation, soit par aspiration ou soit par la coupe de blocs. Ce projet de maîtrise se divise en deux parties distinctes.

Le but de la première étude est de faciliter la réintroduction des sphaignes dans les tourbières résiduelles où les conditions hydriques extrêmement sèches ne favorisent pas la revégétation rapide par les sphaignes tel qu'observé par Campeau et Rochefort (1996). Par le reprofilage en forme de V de la topographie bombée des planches d'exploitation, l'objectif de cette expérience est de favoriser la création de zones humides afin de faciliter la survie des diaspores de sphaignes lors de leurs réintroductions. De plus, l'ajout de bande de plastiques sur les parties élevées des planches devrait accroître l'efficacité du profilage en V en réduisant les pertes en eau liées à l'évaporation et diriger le ruissellement des précipitations vers le centre du profil en V. L'hypothèse de recherche est que le profilage en V ainsi que les bandes de plastiques vont augmenter le contenu en eau de la tourbe de surface de la partie basse des planches ce qui se traduira par un succès accru de l'implantation des sphaignes comparativement à celui des sites à profil bombé.

La seconde partie de cette étude se propose de mesurer l'effet de la présence des plantes vasculaires sur la croissance des sphaignes sur d'anciens sites d'exploitation de tourbe par la coupe de blocs. Le but de cette expérience est de favoriser la croissance et l'étalement des colonies de sphaignes installées sous un couvert bien établi de plantes vasculaires composé en majorité d'arbustes, éricacées qui semblent limiter le retour massif des sphaignes, groupe très important dans la composition floristique des tourbières. Par la coupe des plantes vasculaires et l'ajout d'un couvert protecteur, cette expérience vise à vérifier si la présence des arbres et arbustes provoque un ralentissement de la croissance ou empêche l'étalement des colonies de sphaignes ou les deux à la fois. Les hypothèses de recherches s'énoncent donc comme suit: 1° La coupe des plantes vasculaires va réduire la quantité de litière produite et augmenter le niveau d'ensoleillement des colonies de sphaignes établies ce qui provoquera une augmentation de la croissance de la sphaigne comparativement aux colonies compétitionnant avec les plantes vasculaires. 2° Par la création de conditions microclimatiques plus favorables à la croissance

des sphaignes, les colonies avec un couvert protecteur naturel ou artificiel présenteront une croissance supérieure à celles sans protection.

## **CHAPITRE 2**

### ***FIELD EXPERIMENT OF SPHAGNUM REINTRODUCTION ON A DRY ABANDONED PEATLAND, IN EASTERN CANADA***

**(RÉINTRODUCTION DE SPHAIGNES DANS UNE TOURBIÈRE ABANDONNÉE EXTRÊMEMENT  
SÈCHE, DE L'EST DU QUÉBEC)**

**Field experiment of *Sphagnum* reintroduction on a dry abandoned peatland, in eastern  
Canada**

**Jean-Luc Bugnon<sup>1</sup>, Line Rochefort<sup>1</sup> and Jonathan Price<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Université Laval**  
Département de phytologie  
Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation  
Ste-Foy (Québec) Canada G1K 7P4

**<sup>2</sup> University of Waterloo**  
Department of Geography  
Wetlands Research Center  
Waterloo (Ontario) Canada N2L 3G1

**Please address all correspondence to:**

**Line Rochefort**

**FAX: 418-656-7856**

**E-mail: [Line.Rochefort@plg.ulaval.ca](mailto:Line.Rochefort@plg.ulaval.ca)**

**tel: 418-656-2131 ext. 2583**

*(Article soumis et accepté pour la revue Wetlands, le 16 avril 1997)*

**décembre, 1997**

**UNIVERSITÉ LAVAL**

## RÉSUMÉ

Jusqu'à tout récemment, la restauration des tourbières en milieu tempéré froid s'est concentrée essentiellement sur le remouillage des surfaces abandonnées. Cependant, il est démontré que la simple restauration hydrique des tourbières ne suffit pas à elle seule pour assurer un retour des sphaignes qui sont les principales plantes accumulatrices de tourbe. Récemment, une nouvelle approche qui consiste à épandre des diaspores de sphaigne sur des surfaces de tourbe à nu et à les protéger à l'aide d'un paillis laisse entrevoir des résultats de revégétation forts prometteurs.

L'étude vise à améliorer les techniques de réintroduction des sphaignes là où les conditions d'humidité du substrat sont inadéquates, c'est à dire trop sèches pour une bonne revégétation par les sphaignes. L'objectif est d'améliorer les conditions locales d'humidité de la tourbe par un reprofilage des planches d'exploitation bombées en forme de V et, par la suite, d'épandre les sphaignes dans le creux du V.

Le reprofilage des planches d'exploitation en V a favorisé la reprise des sphaignes comparativement aux sites témoins. Le profilage en V de la planche combiné à l'installation de bandes de plastiques dans la partie haute des deux côtés de la planche a amélioré le succès d'établissement des sphaignes par une concentration plus efficace des précipitations vers le centre de la planche.

## ABSTRACT

1. Early attempts at peatland restoration aimed mostly at rewetting the area. Rewetting alone has proven inadequate to ensure good regeneration of peatland mosses. It is important to reintroduce mosses from the genus *Sphagnum* as they are the main peat forming plants in ombrotrophic peatlands. Recently, a new approach, which consists of actively reintroducing *Sphagnum* fragments (diaspores) by scattering diaspores on bare peat surfaces and covering the newly reintroduced material with a straw mulch, is showing great promises.
2. The present study aims at refining the restoration techniques to reintroduce *Sphagnum* where the harsh surface conditions of cutover peatlands are too dry for natural *Sphagnum* establishment. The objective is to increase local moisture conditions of the peat by reprofiling the surface in a V shape and scattering *Sphagnum* diaspores in the bottom of the V.
3. Reprofiling fields increased *Sphagnum* establishment compared to control sites. The addition of two plastic sheets on the edge of the field in order to reduce evaporation of the substrate and channel precipitation towards the middle of the field, combined with reprofiling, further increased the establishment success of the peat forming mosses.

## 1.0 INTRODUCTION

Recently, peatland restoration has taken its place in the growing awareness for protecting and restoring wetland habitats. Peatland restoration efforts are mainly deployed on raised bogs, because they are preferred for peat extraction. Pioneers in peatland restoration have mostly concentrated their efforts on restoring the water logged conditions of peatlands by damming former drainage ditches building embankments, creating water reservoir, etc (Wheeler and Shaw 1995, Roderfeld 1993, Meade 1992, Eggelsmann 1988, Schouwenaars 1988, Nick 1984). Natural revegetation has often been monitored after rewetting but the re-establishment of a *Sphagnum* dominated peat accumulating system was rarely observed (Poschold 1992). Several studies have demonstrated that years after peat harvesting has ceased, the revegetation that occurs naturally (if there is one) does not have the attributes of a natural bog (Lavoie and Rochefort 1996, Famous *et al.* 1991, Salonen 1987). Until recently, the concept of peatland restoration has relied mostly on active water management practices but little on plant reintroduction (Wheeler and Shaw 1995). As natural regeneration of the moss layer in peat-harvested sites does not occur readily (at least in the time range of 25 years; Famous *et al.* 1991), attempts to actively reintroduce *Sphagnum* is warranted. *Sphagna* have a great power of regeneration, they are able to reproduce vegetatively from almost any distinct part of the plant (e.g. leaf, branch, stem fragment; Poschold and Pfofenhauer 1989, Rochefort *et al.* 1995). Subsequent studies showed that a moss cover can be re-establish by scattering such *Sphagnum* parts (diaspores) onto a peat surface. But the moss establishment is much better if a protecting cover such as a mulch of straw is applied on top of the diaspores (Quinty and Rochefort 1997, Rochefort and Campeau 1997). In a different approach, *Sphagnum* establishment success can also be improved by reintroducing *Sphagna* in association with shelter plants (Ferland 1996). These improved methods of plant reintroduction are aimed at reducing evaporation from

*Sphagnum* diaspores and the peat substrate to create favourable humid growing conditions at the air-peat interface. In a similar way, irrigation systems have been tested to increase humidity at the diaspore level (Bastien 1996). Irrigation favored *Sphagnum* establishment but to a lesser extent than the two previous methods. The impact of water droplets on the peat substrate appears to disadvantage this method by displacing and/or burying the newly introduced *Sphagnum* moss diaspores.

Generally, *Sphagnum* regeneration/restoration success is related to the water table depth below the peat surface (Campeau and Rochefort 1996, Bastien 1996, Rochefort *et al.* 1995, Money 1995). The hydrologist Schouwenaars (1988), suggested that the water table should be no more than 40 cm below the peat surface if good *Sphagnum* regeneration is to be attained. However, Price (1996) indicated that soil moisture and soil tension conditions are more relevant for *Sphagnum* establishment than the water table position. This is partly confirmed by Quinty and Rochefort (1997), who succeeded in re-establishing a *Sphagnum* cover when the water table fluctuated between -50 cm to -70 cm over several summers. Success here was attributed to the presence of a mulch which increased surface soil moisture. The long term viability of the newly formed moss layer, however remains to be seen.

In this study, we attempted to reintroduce common peat-accumulating species on a very dry abandoned peatland where former drainage ditches have all been filled. Knowing that the only input of water to a bog is rain, we need to find ways to concentrate the rain water into local zones where *Sphagnum* diaspore could be reintroduced. In the peat industry, the fields are always shaped in a convex form to allow good drainage when peat is harvested by vacuum. We hypothesized that, if the convex form was inverted to produce a V shape, like a funnel, the peat substrate in the center of the field would become relatively more humid than the surrounding areas. Furthermore, higher humidity of the peat substrate in the middle of the field

could be attained if evaporation from the peat was reduced. This reduction can be achieved by adding an evaporation barrier (plastic sheets) on the two upper sides of the reprofiled fields. This barrier will reduce evaporation and concentrate runoff from the plastic sheets toward the middle of the field.

## 2.0 EXPERIMENTAL DESIGN

### 2.1 Study site

The experiment was conducted at the St-Modeste peatland near Rivière-du-Loup, Québec, Canada (48°51'42"N 69°27'12"W). Mean January and July temperature is -12.1°C and 17.8°C respectively with mean total annual precipitation of 924 mm of which 672 mm fall as rain (Environment Canada 1993). The peatland is located in the low boreal wetland zone and can be classified as a raised bog (NWWG 1987). The site was harvested for horticultural peat moss. An area of 16 fields (30 m wide and 350 m long) were exploited for approximately 25 years and then abandoned in 1987. The thickness of the residual organic layer is over 1 meter deep. Drainage ditches were filled in 1992. Eight years after harvesting operations have ceased, the vegetation cover is still very poor. Bare peat is colonized only by a few shrubs (*Vaccinium sp.*, *Kalmia angustifolia* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench) and a few *Betula alleghaniensis* Britton and *B. papyrifera* Marsh., which all together represent less than a 1% cover of the total area.

## 2.2 Experimental design

The experiment was carried out in a factorial split-plot design. Nine experimental units of 8 m x 8 m were delimited in the middle of the post-harvested fields and clustered in three blocks. The blocks were scattered throughout the experimental area. On each block, two experimental units were reprofiled in a concave form (see details below) and one flattened to be used as a control. The treatments were effective from early May 1995 and continued until the end of September for a total 181 growing days. The *Sphagnum* moss material to be reintroduced was collected also in early May in nearby natural sites. The material was collected by hand to a depth of 10 cm, which constitutes the most viable material (Campeau and Rochefort 1996). Each experimental unit of 8 m x 8 m received an area of 8 m<sup>2</sup> of a mixed living material composed of *Sphagnum angustifolium* (C.Jens. ex Russ.) C.Jens., *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw., *S. magellanicum* Brid., *S. fuscum* (Schimp.) Klinggr., *S. fallax* (Klinggr.) Klinggr., *S. pulchrum* (Lindb. ex Braithw.) Warust. and *S. riparium* Ångstr. The reintroduced *Sphagnum* mosses were covered with a straw mulch to reduce evapotranspiration. One bale of straw was used for each main plot representing a density of 1500 kg/ha, as recommended by Quinty and Rochefort (1997).

## 2.3 Creation of moisture conditions

To create a peat substrate with better local moisture conditions, the exploited fields were reshaped with the help of a bulldozer to invert the convex form, which would normally allow good drainage during harvesting activities, into a V shape. After reprofiling the field, the height difference from the edge to the middle of the field was approximately 1 m, representing a local slope of 0.03%. To further increase humidity of the peat, a second treatment consisted of adding two polyethylene sheets of 10 m long and 5 m wide on the external edge of the V,

parallel to the ditch relicts. Each treatment was compared to a control site that was only flattened to reproduce the bulldozer passing effect (Figure 2.1).

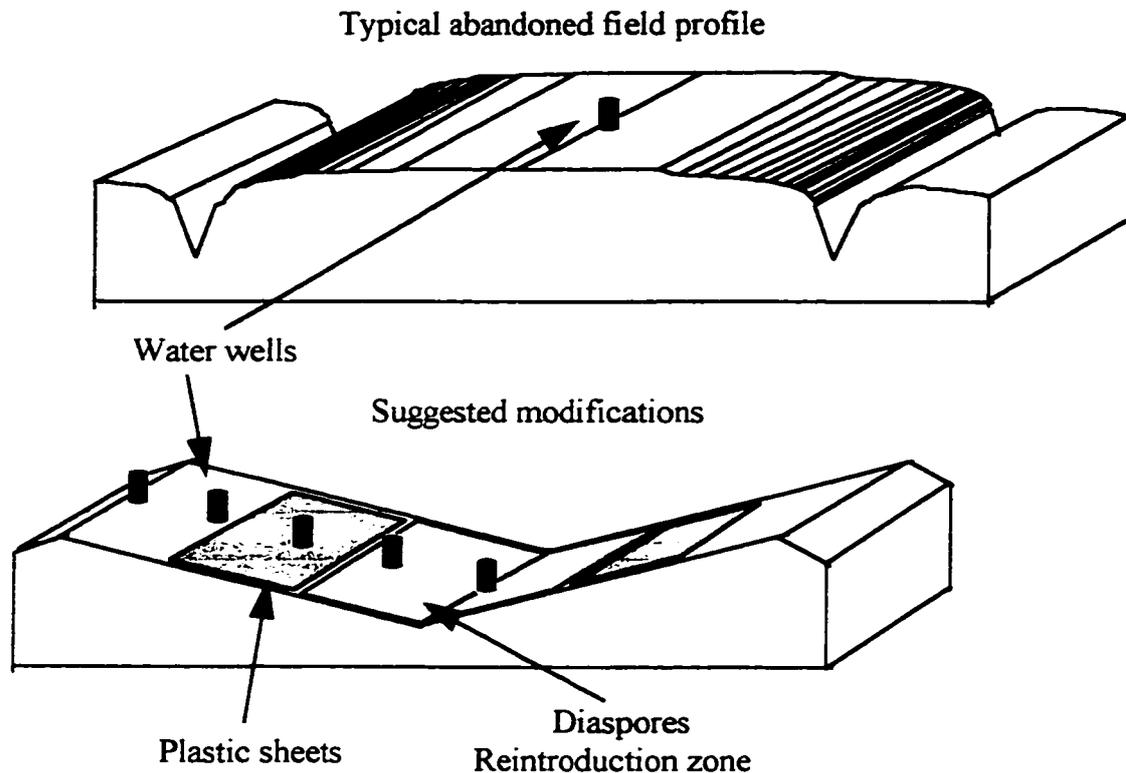


Figure 2.1: Experimental reprofiling of vacuum post-harvested peat fields.

### 2.3.1 Evaluation of substrate moisture conditions

Water table depth was measured in dip wells oriented perpendicular to the ditch relicts (Figure 2.1). At the control site, only one dip well was used, assuming that the water table followed the plane topography.

Volumetric soil moisture was measured at three locations in each experimental unit on three separate occasions, two days following a rain event. Samples were oven dried at 65°C for five days to determine the volumetric moisture content. To minimize heterogeneity of variance of the moisture content data, an arcsin transformation ( $\arcsin(\sqrt{(x/100)})$ ) was done on the original data.

#### **2.4 Plant establishment performance**

To evaluate plant establishment performance 240 quadrats (20 cm x 20 cm) were placed on six equidistant lines along the humidity gradients for each experimental unit. In each quadrat, every capitulum (the head of the *Sphagnum* shoot) was counted. To reduce variance heterogeneity, the data were square root transformed ( $\sqrt{(n+0,5)}$ ). Statistical analysis were made with the GLM procedure of SAS (SAS Institute 1988). A Waller-Duncan comparison test was applied to determine the difference in the levels factor (Steel and Torie 1980). ANCOVA analysis was done by SYSTAT Software, 5.02 (Systat Inc. 1991).

### **3.0 RESULTS AND DISCUSSION**

#### **3.1 Hydrological and climatic conditions of the 1995 growing season.**

Because of its intrinsic topography, St-Modeste bog remained very dry and bare in 1995. Therefore, it was a good experimental site to attempt to solve the problem of restoring particularly dry abandoned peatlands. For instance, the water table in seven dip wells out of eight never reached 60 cm to the peat surface from July to October 1995, with a particular well where the water level remained 93 cm and lower below the peat surface (Le Quéré,

unpublished data). As well, the 1995 season was very dry, with total rainfall during the growing season (May to October) of 309 mm compared to the normal 447 mm (Figure 2.2).

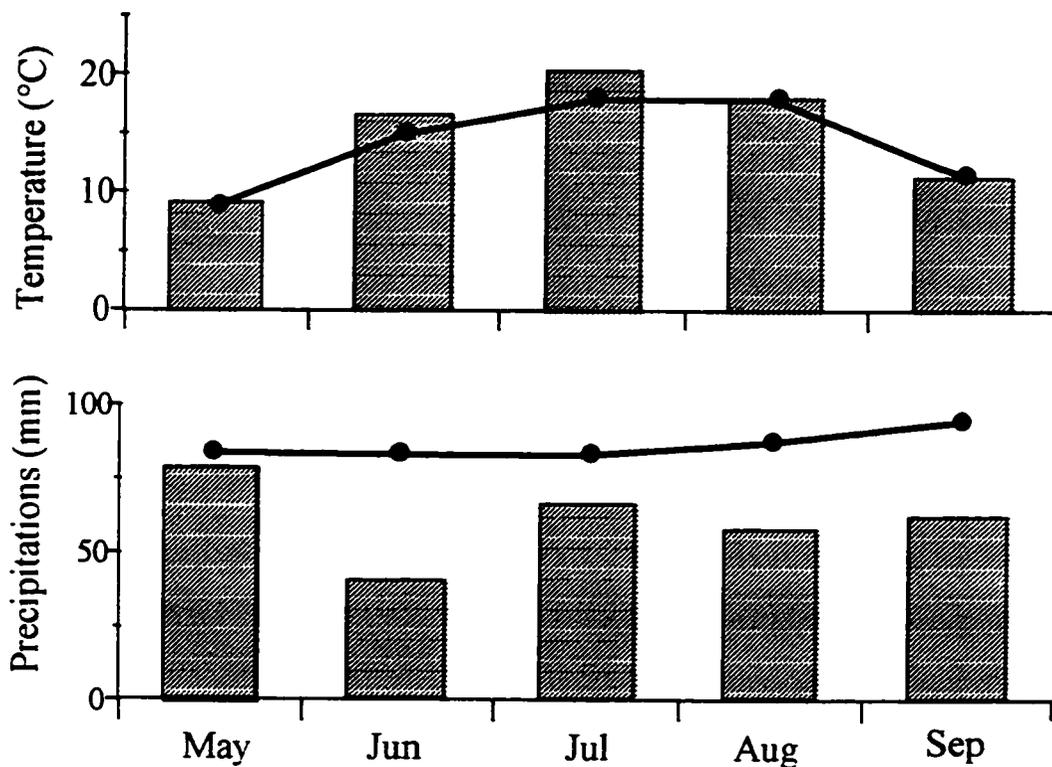


Figure 2.2: Climatic data for Rivière-du-Loup for the period May to September. Thirty year normals (1961-1990) compared to the 1995 season. Lines represent normal for 1961 to 1990 (Environnement Canada 1993) and scatter, means for 1995 (Ministère de l'Environnement et Faune du Québec 1995).

## 3.2 Creation of moisture conditions

### 3.2.1 Effects of profiling on the water table

A markedly higher water table position resulted from reprofiling the surface of the field for the zone where the *Sphagnum* are reintroduced (Figure 2.3). The average water table depth at the control site was -80 cm, compared to an average of -50 cm and -60 cm in the central zones of the profiled field with and without plastic sheets, respectively. It is evident that simply reprofiling the surface directed subsurface flow toward the center of the field. The buffering effect of the adjacent fields may have contributed to the fact that the edge of the field did not suffer from the water deficit (i.e. the water table is not lower).

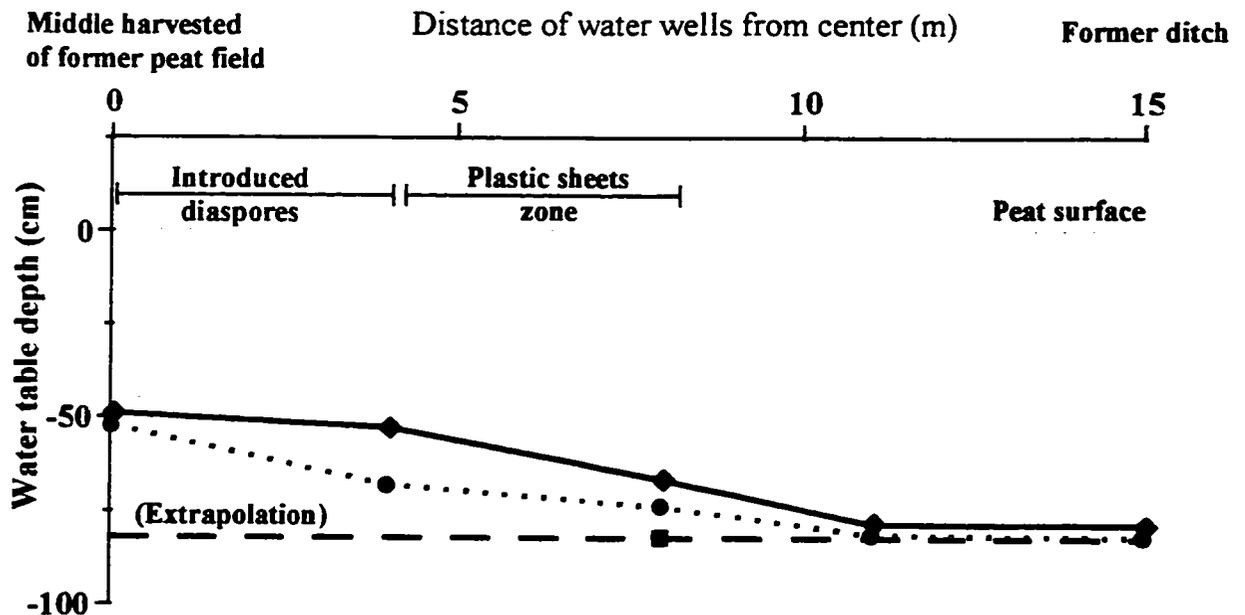


Figure 2.3: Average water table of each treatment. Diamond: profiled, with plastic sheets, Circle: profiled only and Square: horizontal profile.

The plastic sheets had a two-fold effect: 1) reduction of the evaporative losses from the covered portion, and 2) direct surface flow toward the center. Based on the water table profile, the plastic sheets helped to raise the water on a wider portion of the field than profiling alone. This may significantly increase the area compatible with *Sphagnum* regeneration (Heathwaite 1995). Since blocking the drainage ditches is often insufficient to restore proper hydrological conditions conducive to recolonisation by *Sphagnum* mosses (Schouwenaars 1995, Wheeler and Shaw 1995, Joosten 1992, Vasander *et al.* 1992), profiling seems to partly palliate the problem of raising the water table.

### **3.2.2 Effects of profiling on the peat surface moisture contents**

There is a significant difference between the volumetric soil moisture measured averaging 83%, 80% and 73%, for profiled with plastic sheets treatment, profiled only and horizontal profile treatment respectively (Figure 2.4).

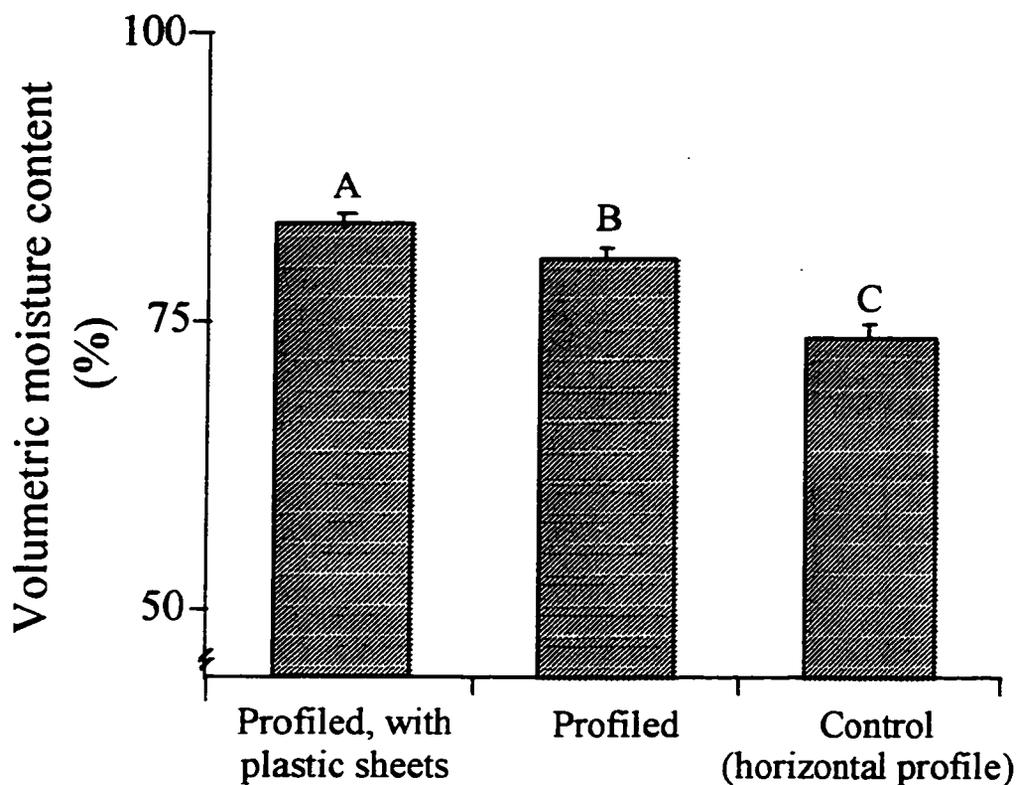


Figure 2.4: Average moisture content of surface peat of the re-profiled field treatments. One-way ANOVA  $F=61.95$ ;  $P>0.001$ ; Waller-Duncan comparison tests are represented by different letters ( $\alpha=0.05$ ).

These moisture contents are relatively high compared to those reported by Price (1996) for cutover peat, where saturation occurred at about 85%. These moisture contents were relatively high compared to those reported by Price (1996) for cutover peat. In the data reported by Price (1996) saturation occurred at about 85% volumetric soil moisture. He suggested that moisture contents in this range do not impose soil water tension limitations to *Sphagnum* diaspores. While there was a general relationship between water table depth and soil moisture

exhibited by this data, he found that the nature of this relationship varied widely for peat of different bulk density.

### 3.3 *Sphagnum* establishment success

*Sphagnum* survival was directly related to the higher soil moisture conditions and higher water table induced by re-profiling the fields (Figure 2.5 and 2.6). *Sphagnum* establishment was higher when plastic sheets were used in combination with profiling compared to the control site (Figure 2.5) ( $F=63.6$ ;  $P<0,001$ ). The fact that *Sphagnum* establishment success is relative to the moisture gradients in abandoned peatlands was also reported by Money (1995). Rochefort *et al.* (1995) and Campeau and Rochefort (1996) further demonstrated, in a greenhouse setting, that *Sphagnum* regrowth increased with high water table. Evidence of the relationship between soil moisture and *Sphagnum* re-establishment is provided in Figure 2.6. This figure presents the relationship between the number of capitula and their position relative to the center of the V shape. The number of capitula increased toward the center of the profiled fields, especially in the presence of the plastic sheets. Again, the number of capitula increased with the moisture content of the peat.

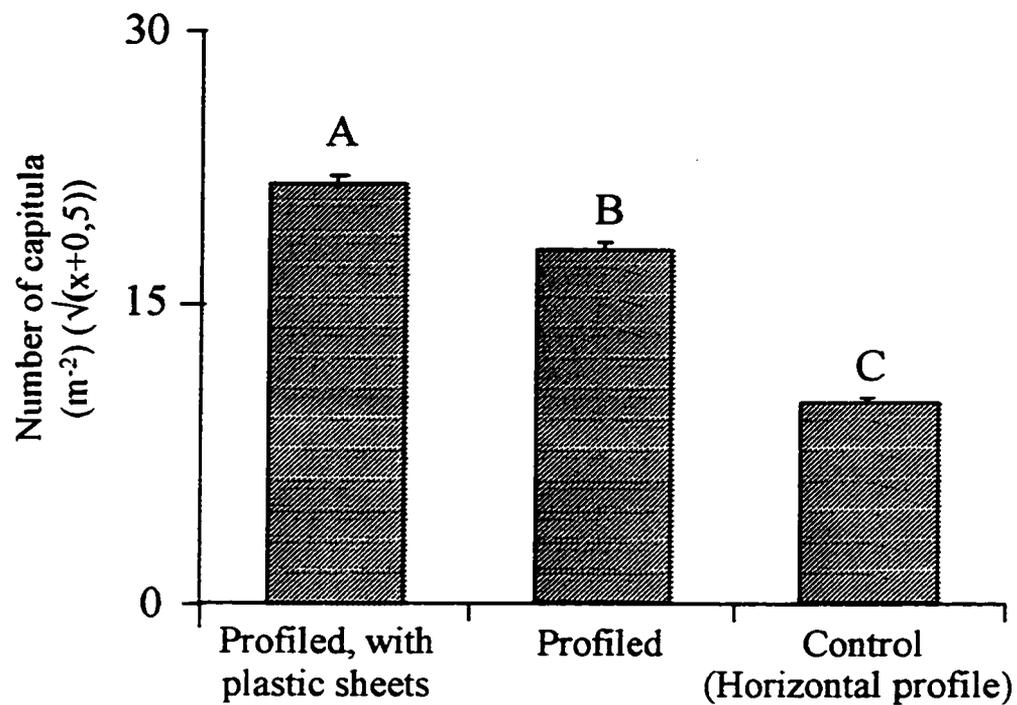


Figure 2.5: Average number of capitula (m<sup>-2</sup>) for the re-profiling treatments. One-way ANOVA F=63.6; P<0.001; Waller-Duncan comparison tests are represented by different letters (alpha=0.05).

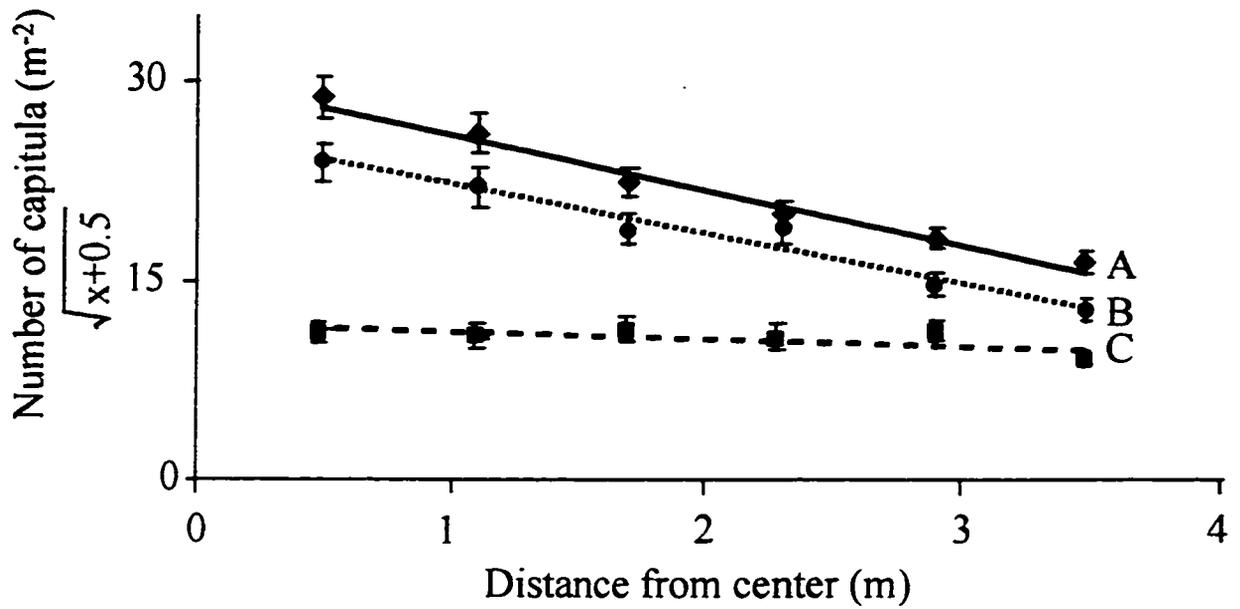


Figure 2.6: Average number of capitula ( $\text{m}^{-2}$ ) along the moisture gradient represented by the distance ( $\text{m}^{-1}$ ) of the sample point from the middle of the field. Diamond: profiled, with plastic sheets, Circle: profiled only, square: horizontal profile. Ancova analysis results are represented by different letters ( $\alpha=0.05$ ).

#### 4.0 CONCLUSION

This experiment shows that it is possible to improve local moisture conditions on a cutover peatland. Re-profiling abandoned peat fields to invert the crowned slope, funnelled rain water into the central section of the field where diaspores were reintroduced, and raised the water table plus the soil moisture. The addition of two plastic sheets on the edge of the re-profiled field further increased the water table plus soil moisture. The re-profiling technique increased the establishment success of *Sphagnum* diaspores compare to horizontal profile. Since blocking the drainage ditches is often insufficient to restore proper hydrological conditions conducive to recolonisation of *Sphagnum* mosses, profiling seems to partly compensate the problem of raising the water table.

#### .5.0 ACKNOWLEDGEMENTS

This study has been financially supported by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (grant OGP0138097 to LR) and grants from projects of exchange at the University level (Ontario-Québec) and Coopération Québec-Provinces canadiennes to JP and LR.. Tourbière Premier CDN of Rivière-du-Loup made our work possible by providing unlimited access to the experimental site and by preparing the re-profiling works. We would like to thank Dominique Le Quéré of Tourbière Premier CDN for her presence and her technical support, Suzanne Campeau for her advise on statistical and experimental design. Finally, we would like to thank Julien Beaulieu, Sophie Bouchard, Marie-Noelle Croteau and Nathalie Poirier who aided in the progress of this experiment.

## REFERENCES

- Bastien, D. 1996. Établissement et croissance des sphaignes dans une tourbière exploitée et abandonnée. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy, Québec.
- Campeau, S. and L. Rochefort. 1996. *Sphagnum* regeneration on a bare peat surfaces: Field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology* 33:599-608.
- Eggelsmann, R.R.F. 1988. Rewetting for protection and renaturation/regeneration of peatland after or without peat winning. p.251-260. *In* Proceedings VIII International Peat Congress, Section III, St-Petersbourg, Russia.
- Environnement Canada. 1993. Canadian climat normals 1961-1990: Québec. Atmospheric Environment Service, Ottawa, Canada.
- Famous, N.C., M. Spencer and H. Nilsson. 1991. Revegetation patterns in harvested peatlands in central and eastern North America. p.48-66. *In* Proceedings of the International Peat Symposium, Duluth, Minnesota. U.S.A.
- Ferland, C. 1996. Approche de restauration d'une tourbière ombrotrophe du Nouveau-Brunswick à la suite de son exploitation. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy, Québec.

- Heathwaite, L. 1995. Problems in the hydrological management of cutover raised mires, with special reference of Thornes Moors, South Yorkshire. p.315-329. *In* B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (eds) Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.
- Joosten, J.H.J. 1992. Bog regeneration in the Netherlands: A review. p.367-373. *In* O.M. Braggs, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (eds) Ecosystems and man: An impact assessment. Dundee, U.K.
- Lavoie, C. and L. Rochefort. 1996. The natural revegetation of a harvested peatland in southern Québec: A spatial and dendroecological analysis. *Écoscience* 3(1):101-111.
- Le Quéré, D. 1995. Unpublished data. Personal's communications.
- 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. p.405-422. *In* B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (eds) Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.

- (NWWG) National Wetlands Working Group. 1987. Wetlands of Canada. Canada Committee on Ecological Land Classification, Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ecological land classification Series No.24. Ottawa. Canada.
- Nick, K.-J. 1984. Measures and changes of success for the regeneration of bogs after the complete industrial cutting of peat. p.331-338. *In* Proceedings VII International Peat Congress vol.1. Dublin, Ireland.
- Poschold, P. 1992. Development of vegetation in peat-mined areas in some bogs in the foothills of the Alps. p.287-290. *In* O.M. Braggs, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (eds) Ecosystems and man: An impact assessment. Dundee, U.K.
- Poschold, P. and J. Pfadenhaeur. 1989. Regeneration of vegetative parts of peat mosses - A comparative study of nine *Sphagnum* species. *Telma* 19:77-88.
- Price, J.S. 1996. Hydrology and microclimate of a partly restored cutover bog, Québec. *Hydrological Processes*, *in press*.
- Quinty, F. and L. Rochefort. 1997. Plant reintroduction on a harvested peat bog. p.133-146. *In* Trettin, C.C., M.F. Jurgensen, D.F. Grigal, M.R. Gale et J.K. Jeglum (eds) Northern forested wetlands: ecology and management. Lewis Publishers. New York. U.S.A.

- Rochefort, L., R. Gauthier and D. Le Quéré. 1995. *Sphagnum* regeneration - Toward an optimisation of bog restoration. p.423-434. In B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (eds) Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.
- Roderfeld, H. 1993. Raised bog regeneration after peat harvesting in North-West Germany. *Suo* 44(2):43-51.
- Salonen, V. 1987. Revegetation of an area of Mustasuo-mire after clearing for peat harvesting. *Suo* 38(1):1-3.
- SAS Institut. 1988. SAS/STAT User's guide, version 6, 4<sup>th</sup> edition. Vol. 2, GLM-VARCOMP, SAS Institut Inc., SAS Circle, Box 8000, Cary, NC 27512-8000.
- Schouwenaars, J.M. 1988. The impact of water management upon groundwater fluctuations in a disturbed bog relict. *Agricultural Water Management* 14:439-449.
- Schouwenaars, J.M. 1995. The selection of internal and external water management options for bog restoration. p.331-346, In B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (eds) Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, LTD., New York. U.S.A.

Steel, R.G.D. and J.H. Torie. 1980. Principles and procedures of statistics. - A biometrical approach, 2nd edition. McGraw-Hill. New York. U.S.A.

Systat Software Inc. 1991. Systat, version 5.02. Copyright, 1991, Systat Inc.

Vasander, H., A. Leivo and T. Tanninen. 1992. Rehabilitation of a drained peatland in the Seitsemien national park in southern Finland. p.381-387. In O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (eds) Ecosystems and man: An impact assessment. Dundee, U.K.

Wheeler, B.D. and S.C. Shaw. 1995. Restoration of damaged peatlands. Departement of the Environment. University of Sheffield, London. U.K.

### **CHAPITRE 3**

**EFFETS DE LA RÉDUCTION DES PLANTES VASCULAIRES SUR LA  
CROISSANCE DES SPHAINES SUR D'ANCIENS SITES D'EXPLOITATION DE  
LA TOURBE PAR LA COUPE DE BLOCS, DANS UNE PERSPECTIVE DE  
RESTAURATION DES TOURBIÈRES DANS L'EST DU QUÉBEC.**

**EFFETS DE LA RÉDUCTION DES PLANTES VASCULAIRES SUR LA  
CROISSANCE DES SPHAIGNES SUR D'ANCIENS SITES D'EXPLOITATION DE  
LA TOURBE PAR LA COUPE DE BLOCS, DANS UNE PERSPECTIVE DE  
RESTAURATION DES TOURBIÈRES DANS L'EST DU QUÉBEC.**

**Jean-Luc Bugnon**

**UNIVERSITÉ LAVAL**

**DÉPARTEMENT DE PHYTOLOGIE**

**Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation**

**Ste-Foy (Québec) Canada G1K 7P4**

**Université Laval**

## RÉSUMÉ

L'étude de la restauration des tourbières a seulement débuté dans les années 1990 au Canada. À ce jour, la restauration des tourbières s'est attardée aux sites exploités par aspiration. Aucune étude québécoise ne s'est vraiment intéressée à la restauration des tourbières qui ont été exploitées par la méthode de la coupe de blocs. Dans un objectif de recolonisation plus rapide par les sphaignes dans ce type de tourbières abandonnées, la suppression de la partie aérienne des plantes vasculaires a été identifiée comme une solution possible pour accélérer le processus d'envahissement des sphaignes déjà établies en colonies restreintes.

La coupe des plantes vasculaires a provoqué une augmentation significative de la quantité de lumière reçue, ainsi que de la température de l'air au sol tout en diminuant l'humidité relative. Cependant, après une année de croissance, les divers traitements de coupe et de protection n'ont pas eu l'effet de stimulation escompté. Plus encore, le traitement de coupe sans couvert protecteur a eu un effet négatif sur la croissance des sphaignes.

## 1.0 INTRODUCTION

Avec l'arrivée de l'ère de la mécanisation dans l'industrie de la tourbe, la récolte artisanale de la tourbe à la main est remplacée par des méthodes plus efficaces qui se pratiquent sur de très grandes surfaces planes. L'abandon des tourbières à la fin de l'exploitation du dépôt de tourbe est un phénomène plus courant depuis quelques années. Ce problème d'actualité est cependant loin d'être nouveau puisque des tourbières ont été abandonnées, dans l'est de l'Amérique du Nord, déjà depuis le 19<sup>e</sup> siècle selon Famous *et al.* (1991). Ces derniers expliquent que les tourbières ayant fait l'objet d'exploitation par la coupe de blocs se revégètent facilement après plusieurs années d'abandon, soit une durée moyenne de 30 ans. Celles abandonnées beaucoup plus récemment après extraction par aspiration semblent, selon les auteurs, se revégéter plus lentement. Les auteurs n'ont cependant pas caractérisé les différents types de revégétation.

La revégétation d'une tourbière peut très bien s'effectuer de façon anarchique par des plantes peu communes aux tourbières ou, inversement, par une végétation typique avec, par exemple les sphaignes (Lavoie et Rochefort 1996, Salonon 1994, observations personnelles). L'exploitation des tourbières par la coupe de blocs laisse une topographie caractéristique de terre-pleins et de tranchées (Heathwaite 1993) avec un dénivelé moyen d'un mètre entre les deux. Au Québec, parmi les tourbières abandonnées suite à leur exploitation par la coupe de blocs, seulement 0,1% des terre-pleins et 17,5% des tranchées présentent un couvert de sphaignes supérieur à 50% de recouvrement (Rochefort et Lavoie données non publiées). Cependant, ces terre-pleins et tranchées sont très souvent abondamment colonisés par une épaisse et dense couverture d'éricacées et d'autres arbustes. Cette abondante végétation arbustive illustre que les tourbières exploitées par la coupe de blocs se revégètent bien par les plantes vasculaires. D'ailleurs ces tourbières sont classées par Famous *et al.* (1991) comme

adéquatement revégétées. Il semble cependant que les sphaignes ne peuvent envahir aussi facilement ce type de tourbières. Or, dans un objectif de réhabilitation de la tourbière vers un système accumulateur de tourbe, il est essentiel que les sphaignes fassent partie intégrante de la végétation.

Au Québec, la restauration des tourbières s'est essentiellement attardée aux sites exploités par aspiration (Bastien 1996, Campeau et Rochefort 1996, Ferland 1996, Quinty et Rochefort 1997). Aucune étude québécoise cependant ne s'est vraiment intéressée à la restauration des tourbières exploitées par cette méthode de la coupe de blocs. Dans l'objectif de restauration des tourbières exploitées par cette méthode, la présente étude vise à vérifier s'il est possible d'accélérer le processus d'envahissement des sphaignes déjà établies en colonies restreintes sous le couvert des plantes vasculaires.

### **1.1 Influence des plantes vasculaires sur la croissance des sphaignes**

En milieu naturel, il est généralement admis que les sphaignes agissent directement sur les plantes vasculaires. La situation inverse dans laquelle les plantes vasculaires agissent sur les sphaignes est tout aussi vraie (Malmer *et al.* 1994). Cependant, il existe des différences importantes au niveau des conditions environnementales des tourbières naturelles comparées à celles rencontrées dans les tourbières abandonnées. Mais, est-il justifié de penser que cette relation entre les plantes vasculaires et les sphaignes est différente dans le cas des tourbières abandonnées?

Les tourbières naturelles présentent des caractéristiques d'humidité nettement plus favorables à la croissance des sphaignes que les tourbières exploitées (Maas et Poschlod 1991). Sachant

que l'exploitation des tourbières modifie considérablement à la baisse leur régime hydrique (Price 1996), une nappe phréatique basse peut avoir de graves conséquences sur les sphaignes en réduisant leur croissance (Rydin et McDonald 1985a, Li *et al.* 1992, Campeau et Rochefort 1996). Schouwenaars (1993) explique qu'en Hollande, les éricacées et les herbacées ont envahi les tourbières abandonnées. Ces plantes peuvent aller puiser l'eau plus profondément que les sphaignes puisqu'elles possèdent un système racinaire contrairement aux bryophytes qui en sont dépourvus. Elles réduisent donc l'eau disponible aux sphaignes par évapotranspiration tel qu'observé par Harley *et al.* (1989). L'augmentation de l'évapotranspiration contribue de plus à accroître les fluctuations de la nappe phréatique. Ces fluctuations accélèrent la décomposition de la tourbe et réduisent par le fait même la capacité d'emmagasinage en eau de la tourbe. Cette dernière est une variable importante dans un objectif de restauration visant le rétablissement d'un couvert de sphaignes (Schouwenaars 1993, 1995, LaRose *et al. sous presses*). Malmer *et al.* (1994), tout en faisant référence uniquement aux tourbières naturelles, signalent que durant les périodes sèches, les sphaignes montrent une croissance réduite comparativement à celle des plantes vasculaires. Ainsi, les plantes vasculaires possèdent un avantage sérieux sur les sphaignes pour envahir les milieux perturbés plutôt xériques que sont les tourbières abandonnées.

Une fois installées, les plantes vasculaires peuvent empêcher la recolonisation du site par les sphaignes ou en favoriser le retour, dépendamment de la densité du couvert végétal. Malmer *et al.* (1994) expliquent qu'un couvert trop dense de plantes vasculaires peut réduire la croissance des sphaignes en raison de la diminution de la luminosité. En effet, un couvert de plantes interceptant au-delà de 50% des rayons lumineux peut diminuer l'efficacité de la photosynthèse des sphaignes et, conséquemment, réduire leur croissance (Hayward et Clymo 1983). Malmer *et al.* (1994) expliquent aussi qu'un couvert végétal peut tout de même s'avérer un facteur stimulant la croissance des sphaignes si les conditions d'ombre ne dépassent pas 50%

d'interception des radiations solaires par les plantes vasculaires. Les plantes vasculaires peuvent aussi soustraire les sphaignes à la photoinhibition en leur procurant une protection contre les températures élevées et les radiations solaires excessives (Murray *et al.* 1989, Murray *et al.* 1993).

Ainsi, un couvert de plantes vasculaires de densité moyenne peut présenter à la fois des effets bénéfiques et néfastes pour la croissance des sphaignes. L'aménagement d'une tourbière abandonnée doit donc prendre en considération ces deux facteurs soient: la disponibilité en eau pour les sphaignes et une protection contre les effets néfastes des rayons lumineux. Dans un objectif de recolonisation plus rapide par les sphaignes des tourbières exploitées par la coupe de blocs et abandonnées, la suppression des tiges aériennes des plantes vasculaires a été identifiée comme une solution possible (Schouwenaars 1988). Il est cependant essentiel de mentionner que cette étude ne vise aucunement à déterminer si les plantes vasculaires sont à l'origine d'une trop grande évapotranspiration puisque aucune mesure n'a été prise en ce sens. Cet essai d'aménagement vise plutôt à vérifier si le couvert des plantes vasculaires représente un frein à la recolonisation des sphaignes dans les tourbières abandonnées, préalablement exploitées par la coupe de blocs. Cette expérience teste l'effet de la réduction du couvert des plantes vasculaires par une coupe au ras du sol. De plus, le dispositif expérimental examine l'effet de deux types de couverts protecteurs sur la croissance des sphaignes, soit un couvert naturel et deux couverts artificiels. La coupe des plantes vasculaires couplée à un couvert protecteur devraient favoriser la croissance en longueur et en superficie des colonies de sphaignes comparativement à celle des colonies situées sous le couvert des plantes vasculaires. L'addition d'un couvert protecteur naturel ou artificiel doit, pour sa part, protéger les colonies de sphaignes contre la dessiccation dues aux températures élevées et contre les rayons solaires directs et par le fait même favoriser la croissance en longueur et en superficie de ces colonies comparativement à celle des colonies de sphaignes qui ne sont pas protégées.

## 2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 Localisation du site d'étude

Le site d'étude, la tourbière de Rivière-du-Loup, est localisé dans le comté de Kamouraska, Québec, Canada (48° 51' 42 "N 69° 27' 12" O). Plus spécifiquement, l'expérience était située à quelques centaines de mètres au sud du siège social de Tourbières Premiers CDN Inc. Les températures moyennes pour le mois de janvier et juillet sont respectivement -12,1°C et 17,8°C avec des précipitations totales de 924 mm dont 672 mm tombent en pluie (Environnement Canada 1993). Selon le Groupe de Travail National sur les Terres Humides (NWWG 1987), la tourbière de Rivière-du-Loup fait partie des terres humides de la forêt boréale basse et est considérée comme une tourbière bombée.

Le site à l'étude a été abandonné dans les années 1970. Depuis, une recolonisation importante est visible. La végétation présente est surtout composée des plantes vasculaires suivantes typiques des tourbières de l'est du Canada: *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., *Rhododendron canadensis* (L.) Torr., *Kalmia angustifolia* L., *Ledum groenlandicum* Retzius et *Picea mariana* (Mill.) BSP. Ces cinq espèces couvrent de larges étendues de la tourbière et représentent en superficie la majorité de la couverture végétale arborescente et arbustive. La coupe de blocs de tourbe a produit la topographie typique décrite par Göttlich *et al.* (1995) ainsi que par Lavoie et Rochefort (1996).

Les sphaignes sont regroupées en colonies espacées et couvrent moins de 5% des tranchées, là où il est possible d'observer la nappe phréatique près de la surface. Elles sont par contre absentes des terre-pleins. Les surfaces restantes des tranchées et des terre-pleins sont

couvertes en partie par des mousses de milieux secs comme *Polytrichum strictum* Menz. ex Brid. Les colonies de sphaignes, composées majoritairement de *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr., *S. capillifolium* (Ehrh) Hedw. et *S. magellanicum* Brid., sont situées sous la dense couverture d'éricacées. Ces colonies ont l'apparence de cône allongé, c'est-à-dire que les sphaignes poussent surtout en hauteur au travers du treillis formé par les branches d'éricacées et ne semblent s'étendre que très peu. Elles ont donc l'apparence d'un hummock sans en être réellement un. Entre les colonies se trouvent des mousses de milieux secs et des surfaces de tourbe à nu.

## 2.2 Dispositif expérimental

L'expérience était composée de cinq traitements appliqués à trois blocs. Dans le premier traitement, les plantes vasculaires sont coupées et les débris de coupe sont enlevés alors que dans le second traitement, les débris sont épandus sur la parcelle. Le premier traitement (CSD) a comme objectif de soumettre les colonies de sphaignes aux conditions directes de l'environnement sans aucune influence des plantes vasculaires tandis que pour le second traitement (CDé), la disposition des débris de coupe doit en principe soustraire les colonies de sphaignes aux effets de l'évapotranspiration des plantes vasculaires tout en les protégeant en partie des rayons solaires. En effet, la disposition des débris de coupe réduit les radiations solaires et crée une couche limite plus épaisse. Cependant, la décomposition de ces débris pourrait apporter des éléments nutritifs favorables à la croissance de la sphaigne. Les troisième (COB) et quatrième (COH) traitements sont composés respectivement d'une ombrière disposée soit près du sol, soit à un mètre du sol en plus d'avoir subi une coupe des plantes vasculaires comme pour les traitements précédents. Ces couverts artificiels permettent la transmission de 40% de la lumière incidente. De plus, la disposition d'une ombrière empêche l'apport d'éléments nutritifs par la décomposition des débris de coupe. Ces traitements reproduisent de

plus les conditions d'humidité et d'ensoleillement retrouvées sous les débris de coupe à l'exception du quatrième traitement où l'ombrière, disposée à un mètre du sol, favorise une circulation de l'air plus efficace et réduit la couche limite. Le dernier traitement (PVa) concerne les parcelles vierges où aucune modification n'a été apportée au couvert végétal (Figure 3.1).

La coupe des plantes vasculaires s'est faite jusqu'au niveau du sol à l'aide d'une débroussailleuse. Une coupe de finition à l'aide d'un sécateur à main est effectuée pour éliminer toutes les tiges ayant échappé à la débroussailleuse. Une deuxième coupe, cette fois à l'aide d'un sécateur à main seulement, a été effectuée en juillet 1995 pour retirer les nouvelles tiges ayant poussé durant l'été, ces dernières étant très nombreuses.

Le choix des parcelles s'est effectué comme suit: trois tranchées ont été sélectionnées pour leur uniformité au niveau de la végétation et de l'humidité du milieu dans un secteur homogène où l'histoire de l'exploitation était similaire. Dans chacune des tranchées, un quadrillage systématique a été disposé délimitant ainsi 250 parcelles de 1 m par 4 m par tranchée. Dans chacune des parcelles, le nombre et les dimensions des colonies de sphaignes ont été relevés. Il a été ainsi possible d'établir un registre exact du nombre de parcelles comportant uniquement des petites colonies (inférieures à 15 cm de diamètre), uniquement des colonies de dimensions moyennes (entre 15 et 50 cm de diamètre) et des parcelles ayant un mélange de grandes (supérieures à 50 cm de diamètre), moyennes et de petites colonies. Les parcelles ont ensuite été choisies au hasard parmi le registre du quadrillage systématique des trois tranchées puis disposées en trois blocs selon la dimension des colonies. Un premier bloc a été constitué de parcelles ne contenant pas plus de 4 petites colonies, un second bloc constitué de parcelles ne possédant pas plus de 3 colonies de moyennes dimensions et un troisième bloc constitué de parcelles renfermant une grande colonie, 1 à 2 colonies moyennes et de 1 à 4 colonies de petites

dimensions. L'expérience comprenait donc cinq traitements, chacun répété trois fois (trois blocs) pour obtenir un total de 15 unités expérimentales. Un second dispositif, totalement identique au premier, a aussi été mis en place dans les trois mêmes tranchées. Il était destiné à la mesure du contenu en eau des colonies de sphaignes qui s'avère être une manipulation destructive. Ainsi, 15 unités expérimentales étaient strictement réservées à la mesure de la croissance des sphaignes tandis que 15 autres unités étaient consacrées au prélèvement des échantillons de colonies de sphaignes pour la mesure du contenu en eau (Figure 3.1). Le dispositif a été effectif du 1<sup>er</sup> mai au 13 octobre 1995 pour un total de 166 jours de croissance.

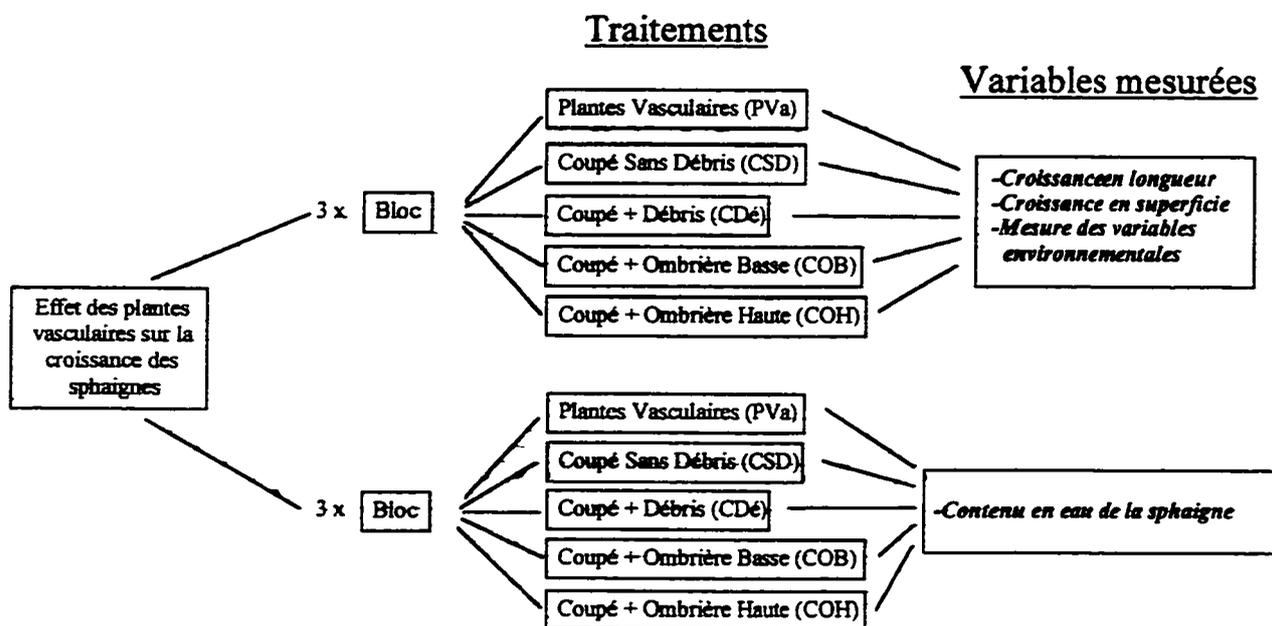


Figure 3.1: Schématisation du dispositif expérimental présentant les traitements et les variables mesurées.

### 2.3 Traitement statistique

La comparaison des traitements est effectuée à l'aide de contrastes *a priori* pour toutes les variables mesurées. Ces contrastes sont construits comme suit:

- *Parcelles vierges (PVa) versus traitement de coupe des plantes vasculaires et de protection.* Ce contraste vise à vérifier si la coupe des plantes vasculaires favorise la croissance des colonies de sphaignes comparativement aux colonies poussant naturellement dans les tourbières exploitées par la coupe de blocs et abandonnées.
- *Coupe des plantes vasculaires sans les débris de coupe (CSD) versus coupes des plantes vasculaires avec protections.* Ce contraste tente de vérifier si les colonies de sphaignes possèdent la capacité de croître si elles sont directement soumises aux variations de température et de rayonnement solaire du milieu ambiant comparé aux colonies poussant sous les protections naturelle et artificielles.
- *Coupes des plantes vasculaires avec disposition des débris de coupe (CDé) versus coupe des plantes vasculaires avec disposition d'ombrières.* Ce contraste se veut une comparaison de la croissance des colonies sous les débris de coupe des plantes vasculaires versus la croissance des colonies de sphaignes sous les ombrières haute et basse.
- *Coupe des plantes vasculaires avec une ombrière basse (COB) versus coupe des plantes vasculaires avec une ombrière haute (COH).* Ce contraste compare

l'efficacité de la disposition de l'ombrières basse sur la croissance des colonies de sphaignes à celles sous l'ombrière haute.

## **2.4 Récolte des données**

### **2.4.1 Variables environnementales**

Les variables environnementales ont été mesurées à trois reprises au cours de la période d'expérimentation, soit en juillet, août et septembre. La température en °C et l'humidité relative au sol ont été mesurées à l'aide d'un appareil Humidity/Temp. Meter Kleton modèle K. La quantité de lumière reçue au sol en  $\mu\text{E}$  (quantité de quanta reçue) a été mesurée à l'aide d'un appareil Li-COR modèle Li 185 B avec une sonde Li-COR modèle Quantum. Ces lectures ont été faites en triplicata à quelques minutes d'intervalle à l'intérieur de chacune des unités expérimentales. Deux lectures ont été réalisées à l'aide des sondes reposant sur le substrat de tourbe et la troisième sur une colonie de sphaignes. De plus, la mesure des mêmes variables en triplica a été effectuée à deux mètres du sol afin de comparer les conditions microclimatiques des unités expérimentales aux conditions du milieu ambiant hors des unités. La moyenne des trois lectures est utilisée pour les traitements statistiques.

### **2.4.2 Contenu en eau des colonies de sphaignes**

Le contenu en eau de la sphaigne a été mesuré à l'aide d'échantillons prélevés manuellement et d'un volume constant d'environ un décimètre cube. Le poids de l'échantillon humide a été mesuré puis l'échantillon séché durant cinq jours à 65°C. Une fois sec, l'échantillon était pesé

de nouveau. Par la différence entre les poids humide et sec, le pourcentage du contenu en eau a ainsi été calculé. Puisque l'opération était destructive pour l'intégrité de la colonie de sphaignes, seulement un échantillon a été prélevé par unité expérimentale dans une colonie choisie au hasard parmi les colonies existantes. De plus, une colonie ne pouvait être échantillonnée plus d'une fois durant toute l'expérience puisque le prélèvement d'un échantillon pouvait influencer le contenu en eau de la colonie. L'échantillonnage a été effectué en même temps que les mesures de température, d'humidité et de luminosité.

### 2.4.3 Croissance des sphaignes

#### *Croissance en longueur*

La croissance en longueur des sphaignes a été mesurée à l'aide de tiges coudées tel que décrit par Clymo (1970). En général, cinq tiges étaient utilisées pour les petites colonies, 10 pour les moyennes et plus de 20 pour les grandes colonies.

#### *Accroissement des colonies*

La superficie des colonies de sphaignes a été mesurée au début et à la fin de la période d'expérimentation grâce au découpage de chacune des colonies en triangle, généralement 8, parfois plus dans le cas des grandes colonies. Quatre premiers triangles sont d'abord délimités par une paire de lignes perpendiculaires disposées dans le sens de la longueur et de la largeur de la colonie. Chacun de ces quatre triangles est ensuite divisé en deux par une autre paire de lignes perpendiculaires chacun format un angle de  $45^\circ$  avec les lignes adjacentes disposées précédemment. Dans les plus grandes colonies, les triangles situés de part et d'autre de la

longueur sont de nouveau divisés en deux à l'aide de lignes formant des angles égaux ( $22,5^\circ$ ) avec les lignes adjacentes (Figure 3.2).

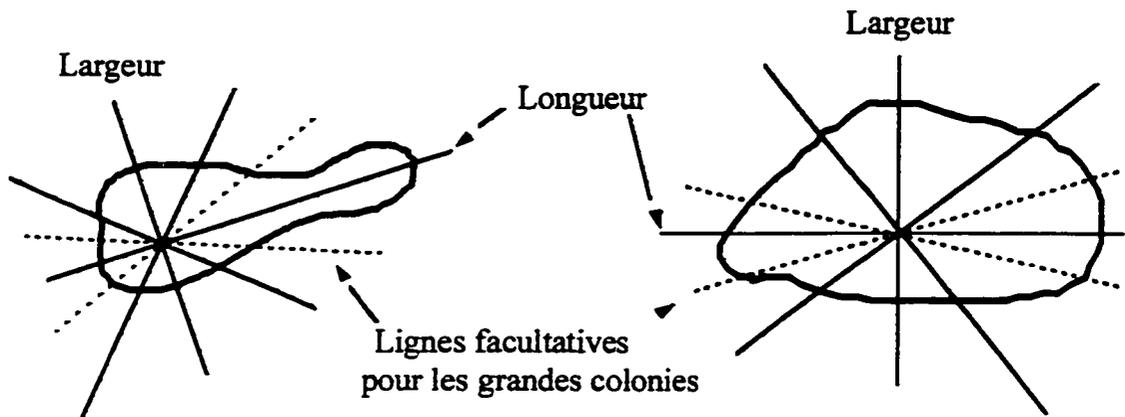
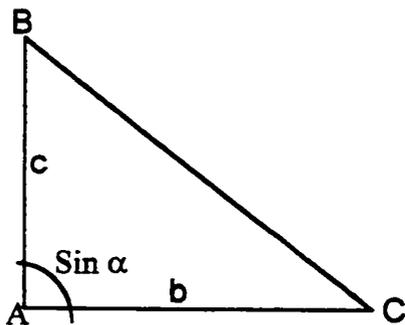


Figure 3.2: Schéma du découpage en triangles des colonies de sphaignes pour la mesure de leur superficie.

La superficie de la colonie est obtenue par la somme des surfaces des triangles. La surface d'un triangle est calculée par trigonométrie. La formule utilisée s'énonce comme suit:



$$\text{Aire du triangle } \triangle ABC = 0,5 * c * ( b * \sin \alpha )$$

où  $\triangle ABC$ : surface du triangle  
 c: distance entre A et B  
 b: distance entre A et C  
 $\sin \alpha$ : sinus de l'angle A

### 3.0 RÉSULTATS

#### 3.1 Effets de la présence des plantes vasculaires, et de la mise en place de couverts protecteurs sur les conditions microclimatiques.

Sous les éricacées (PVa), l'humidité relative et la température sont identiques à celles observées sous les différents couverts protecteurs ainsi que dans le traitement sans débris de coupe

(CSD). Par contre, la quantité de radiation solaire reçue est plus faible sous les éricacées (PVa) que dans l'ensemble des autres traitements (Tableau 3.1). En ce qui concerne les conditions microclimatiques du traitement sans couvert protecteur (CSD), la quantité de lumière et la température sont beaucoup plus élevées que sous les débris et les ombrières tandis que l'humidité relative est plus basse. De façon générale, la comparaison entre les différents couverts protecteurs révèle des résultats similaires, exception faite de l'humidité relative sous les deux ombrières. En effet, l'ombrière haute (COH) produit un microclimat plus humide que l'ombrière basse (COB).

### **3.2 Effets de la suppression des plantes vasculaires et de la mise en place de couverts protecteurs sur la croissance de la sphaigne.**

#### **3.2.1 Croissance en longueur de la sphaigne**

La croissance de la sphaigne est semblable dans les parcelles vierges (PVa) avec les éricacées à celle observée sous les divers traitements de coupe et de protections. Cependant, le traitement de coupe sans couvert protecteur (CSD) a provoqué une baisse de la croissance comparativement aux traitements avec protections naturelle ou artificielles. La croissance annuelle en longueur des ces colonies sans protection est en effet d'un millimètre comparativement à une moyenne de plus de 16 mm sous les traitements de protection naturelle (CDé) et artificielles (COB et COH) pour une période de croissance de 166 jours (Figure 3.4 et Tableau 3.2).

### **3.2.2 Croissance en superficie**

Après une saison de croissance, les colonies de sphaignes ne présentent pas de différence de croissance en superficie et ce, qu'elles se situent sous les plantes vasculaires (PVa), sous le couvert protecteur des débris de coupe (CDé) ou d'ombrières (COB et COH) ou encore sans protection (CSD) (Figure 3.5 et Tableau 3.2).

### **3.2.3 Contenu en eau des colonies de sphaignes**

Il apparaît que le contenu en eau des colonies de sphaignes est plus élevé pour les colonies sous les éricacées (PVa) que sous les autres traitements (Figure 3.6 et Tableau 3.2). En ce qui concerne le contenu en eau des colonies sans protection (CSD), ces dernières présentent un contenu en eau moins élevé que les colonies protégées. Il n'existe pas de différence significative entre les contenus en eau des colonies protégées soit par les débris de coupe (CDé) ou par les ombrières. Finalement, le contenu en eau des colonies sous l'ombrière haute (COH) est plus élevé que celui des colonies sous l'ombrière basse (COB).

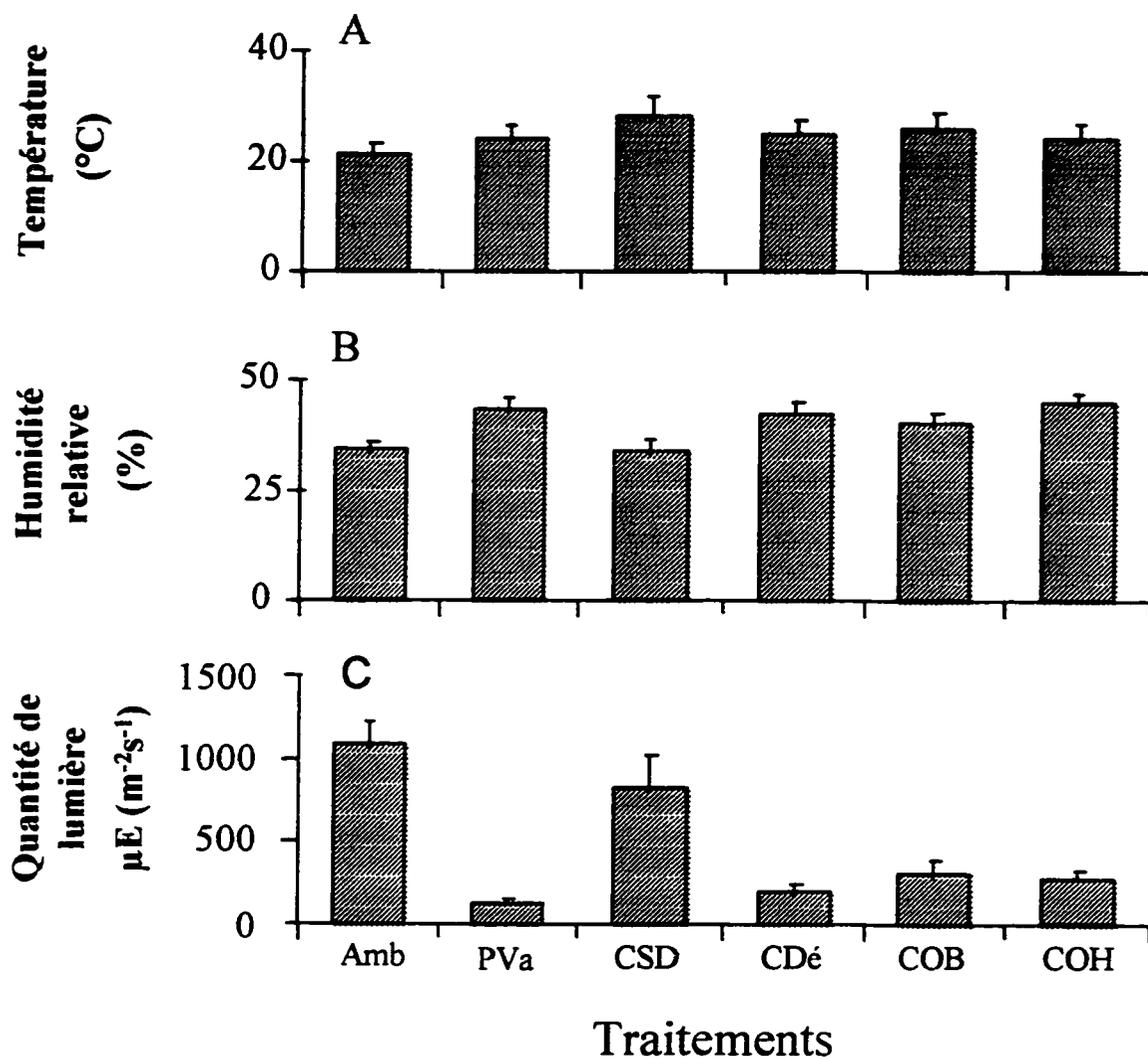


Figure 3.3: Variables microclimatiques (moyenne + erreur-type) à la surface du sol (A: température, B: humidité relative et C: quantité de lumière) selon les différents traitements ainsi qu'à deux mètres du sol (Légende: *Amb*: variables mesurées à 2 m du sol; *PVa*: couvert de plantes vasculaires; *CSD*: coupe des plantes vasculaires et enlèvement des débris; *CDé*: coupe des plantes vasculaires avec couvert protecteur des débris de coupe; *COB*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière basse; *COH*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière haute)

Tableau 3.1: Contrastes *a priori* (valeur du F) pour les variables environnementales en fonction des différents traitements (Légende: *Amb*: variables mesurées à 2 m du sol; *PVa*: couvert de plantes vasculaires; *CSD*: coupe des plantes vasculaires avec enlèvement des débris; *CDé*: coupe des plantes vasculaires avec couvert protecteur des débris de coupe; *COB*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière basse; *COH*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière haute).

Contrastes <i>a priori</i>	Valeur du F		
	Température	Humidité relative	Quantité de photons
Amb vs PVa, CSD, CDé, COB, COH	21,404***	19,448**	297,476***
1-PVa vs CSD, CDé, COB, COH	3,707	3,841	40,018***
2-CSD vs CDé, COB, COH	11,165**	29,666***	154,340***
3-CDé vs COB, COH	0,036	0,027	3,883
4-COB vs COH	2,081	5,965*	0,275

\* significatif  $P < 0,05$  \*\* significatif  $P < 0,01$  \*\*\* significatif  $P < 0,001$

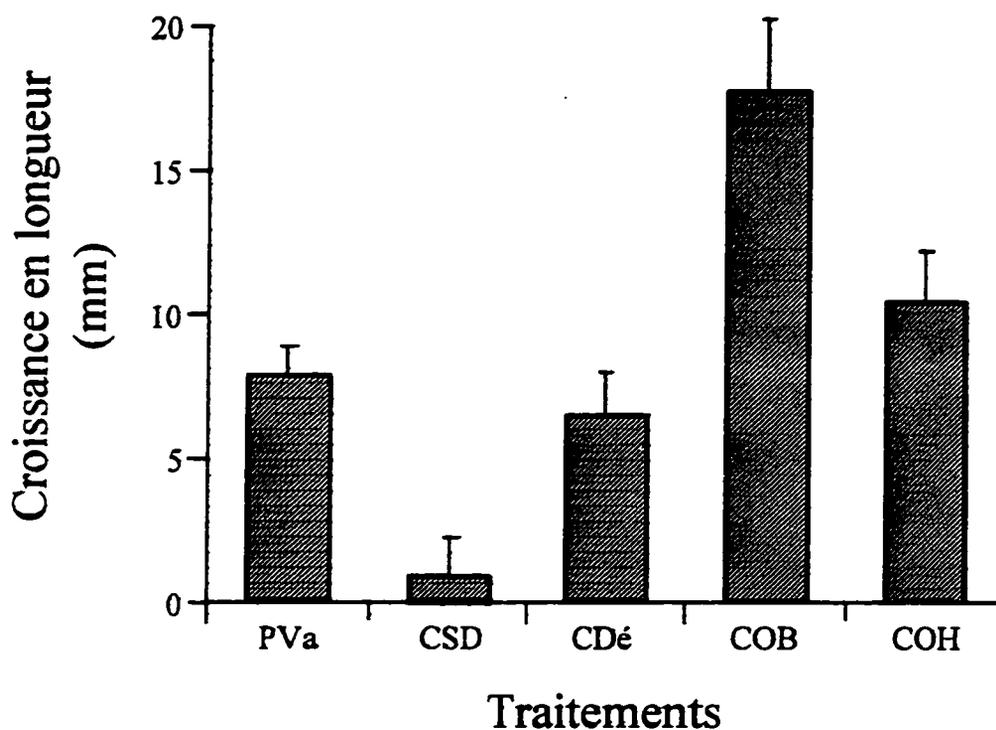


Figure 3.4: Croissance en longueur (mm) des colonies de sphaignes (moyenne + erreur-type) en fonction des traitements (Légende: *PVa*: couvert de plantes vasculaires; *CSD*: coupe des plantes vasculaires et enlèvement des débris; *CDé*: coupe des plantes vasculaires avec couvert protecteur des débris de coupe; *COB*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière basse; *COH*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière haute).

Tableau 3.2: Contrastes *a priori* (valeur du F) pour les mesures de contenu en eau et de la croissance en longueur et en superficie des colonies de sphaignes. (Légende: *PVa*: couvert de plantes vasculaires; *CSD*: coupe des plantes vasculaires et enlèvement des débris; *CDé*: coupe des plantes vasculaires avec couvert protecteur des débris de coupe; *COB*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière basse; *COH*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière haute).

Contraste <i>a priori</i>	Valeur du F		
	Croissance des sphaignes		Contenu en eau des sphaignes
	en longueur des individus	en superficie des colonies	
PVa vs CSD, CDé, COB, COH	0,001	2,743	7,236*
CSD vs CDé, COB, COH	15,531**	0,526	32,948***
CDé vs COB, COH	4,530	0,001	2,104
COB vs COH	2,610	0,014	5,853*

\* significatif  $P < 0,05$  \*\* significatif  $P < 0,01$  \*\*\* significatif  $P < 0,001$

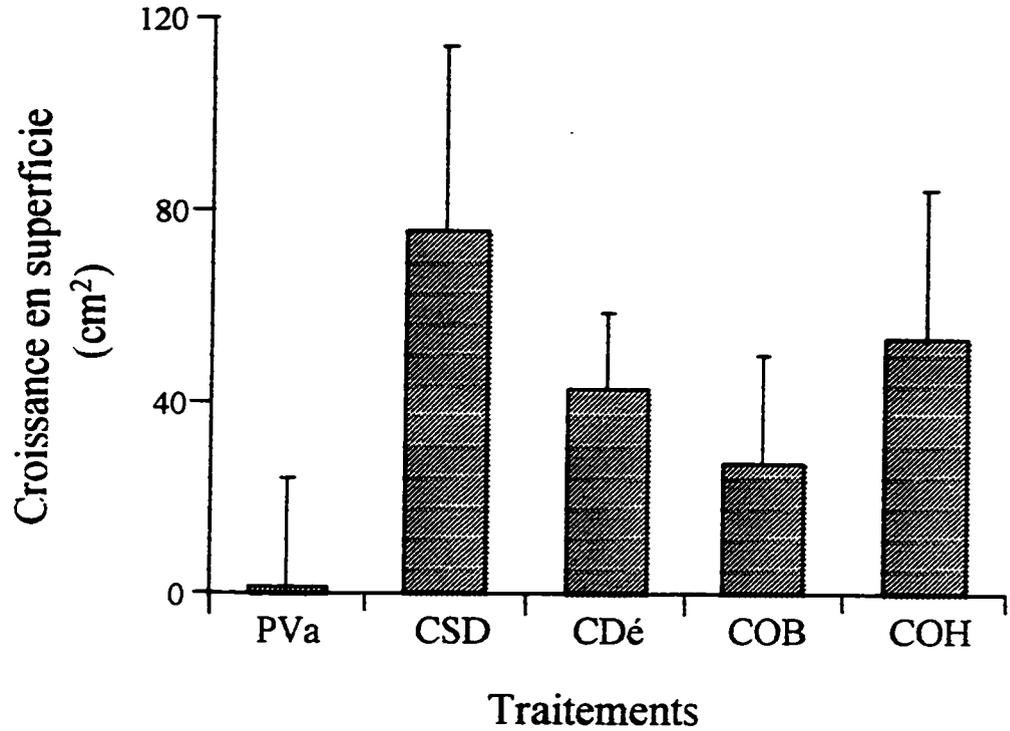


Figure 3.5: Croissance en superficie (mm) des colonies de sphaignes (moyenne + erreur-type) en fonction des traitements (Légende: *PVa*: couvert de plantes vasculaires; *CSD*: coupe des plantes vasculaires et enlèvement des débris; *CDé*: coupe des plantes vasculaires avec couvert protecteur des débris de coupe; *COB*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière basse; *COH*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière haute).

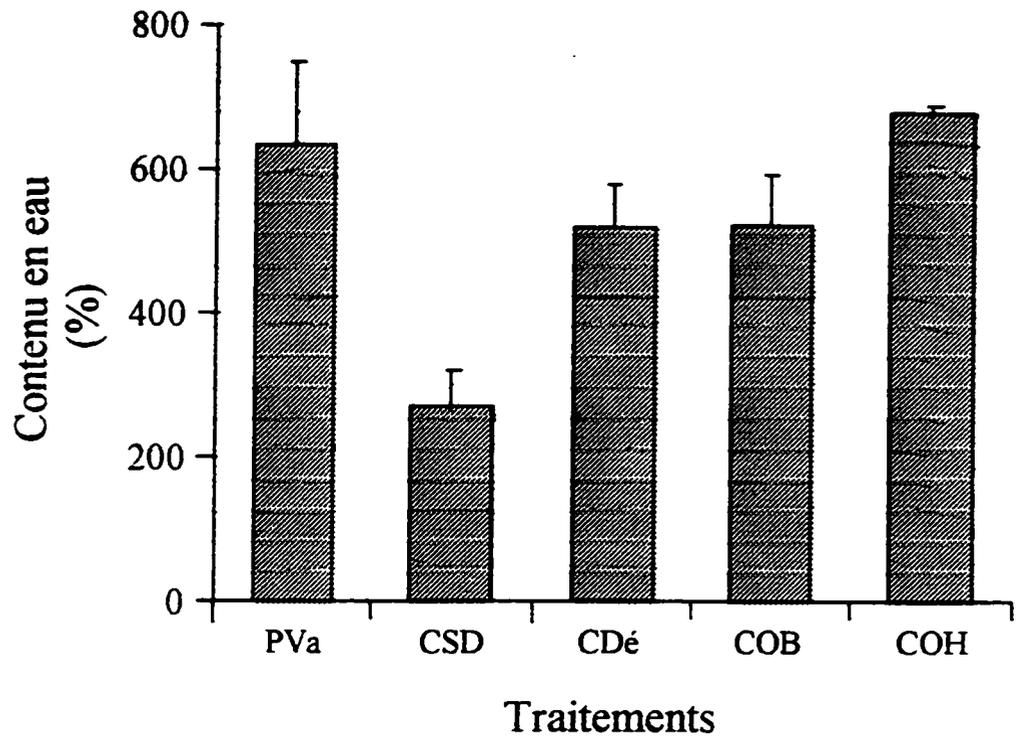


Figure 3.6: Contenu en eau (%) des colonies de sphaignes (moyenne + erreur-type) en fonction des traitements (Légende: *PVa*: couvert de plantes vasculaires; *CSD*: coupe des plantes vasculaires et enlèvement des débris; *CDé*: coupe des plantes vasculaires avec couvert protecteur des débris de coupe; *COB*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière basse; *COH*: coupe des plantes vasculaires avec ombrière haute).

## 4.0 DISCUSSION

En observant les résultats, aucune conclusion claire ne peut être tirée quant à l'effet de la suppression des tiges aériennes des plantes vasculaires sur la recolonisation des sphaignes dans les tourbières exploitées par la coupe de blocs et abandonnées. Cependant les résultats permettent d'émettre quelques hypothèses et porter un regard nouveau sur cette problématique.

### 4.1 Croissance en longueur des sphaignes

Aucune différence significative pour la croissance des sphaignes n'est observée entre les colonies sous le couvert des plantes vasculaires et celles dans les parcelles sans plantes vasculaires. Cependant, le traitement sans couvert protecteur (CSD) a provoqué une diminution significative de la croissance en longueur des sphaignes comparée à celle observée sous les trois types de traitements. Cette observation peut s'expliquer par la diminution de l'humidité relative ainsi que par une augmentation de la température et de la quantité de lumière reçue. Un parallèle peut être fait avec la littérature consultée pour expliquer cette faible croissance en longueur. En effet, Sagot et Rochefort (1996) ont observé, en plats de Pétri, une diminution importante du pouvoir de régénération des fragments de sphaignes suite à une dessiccation et ce à une humidité relative de 60%. De plus, Harley *et al.* (1989) expliquent que chez trois espèces de sphaignes, le point de saturation de photosynthèse est atteint à  $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Murray *et al.* (1993) rapportent aussi qu'une exposition de  $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  durant deux jours est suffisante pour diminuer significativement la croissance des sphaignes pendant 14 jours. Il va sans dire que pour les parcelles sans protection, l'humidité relative à près de 30% et la quantité de rayons solaires reçues par ces parcelles ( $860 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) sont supérieures aux

limites citées précédemment. Ces limites largement dépassées peuvent expliquer la diminution significative du contenu en eau (275%) des colonies de sphaignes sans protection. En effet, un faible contenu en eau chez les sphaignes est souvent identifié comme un facteur de ralentissement de la croissance chez ces plantes (Murray *et al.* 1989, Malmer *et al.* 1994, Rydin et McDonald 1985b). Le contenu en eau optimal observé pour 100% de photosynthèse est selon ces auteurs de 600% (Rydin et McDonald 1985b).

Pour les autres traitements soit de couverts protecteurs (naturel ou artificiels), les quantités de  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  sont bien en dessous des limites mentionnées par Harley *et al.* (1989) ainsi que par Murray *et al.* (1993), se situant à près de  $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Cependant, l'humidité relative est une fois encore sous le 60% ( $\cong 45\%$ ) signalé par Sagot et Rochefort (1996). Malgré cette faible humidité relative, la croissance moyenne en longueur des trois traitements avec protections ( $\cong 12 \text{ mm}\cdot\text{an}^{-1}$ ) est comparable aux valeurs observées dans la littérature consultée (Tableau 3.3). De plus en observant le contenu en eau des colonies de sphaignes, ce pourcentage est légèrement inférieur ou supérieur à 600% tel que mentionné par Rydin et McDonald (1985b). Il semble, qu'à la lumière de ces résultats, la croissance en longueur des sphaignes enregistrée sous les couverts protecteurs soit tout de même encourageant.

Malheureusement, il semble que le choix du test statistique (contraste *a priori*) n'a pas permis de distinguer les différences fines entre les traitements. En effet, en observant les figures 3.4 et 3.6 la croissance en longueur ainsi que le contenu en eau des colonies du traitement CSD a certainement biaisé la comparaison entre les parcelles avec plantes vasculaires et celles sans plante vasculaire.

Tableau 3.3: Croissances moyennes des sphaignes de Rivière-du-Loup et celles signalées dans la littérature.

Espèces de sphaignes	Croissance (mm•an <sup>-1</sup> )	Localité	Source
Mélange de <i>S. capillifolium</i> , <i>S. fuscum</i> et <i>S. magellanicum</i>	12,0	Bas St-Laurent (Québec)	Cette expérience; moyenne sous le couvert protecteur naturel et artificiel
<i>S. fuscum</i>	11,5	Finlande	Pakarinen (1978)
<i>S. fuscum</i> <i>S. magellanicum</i>	10,0 21,0	Ontario Nord-ouest	Rochefort <i>et al.</i> (1990)
<i>S. capillifolium</i>	13,0	Écosse	Hulme et Blyth (1982)
<i>S. fuscum</i> (année humide) <i>S. fuscum</i> (année sèche)	8,2 4,7	Europe	Luken, 1985 tiré de Rydin, 1993

#### 4.2 Croissance en superficie des colonies de sphaignes.

Le but ultime de cette expérience était de favoriser un envahissement des sphaignes dans les tourbières exploitées par la coupe de blocs. Il importe donc de vérifier si l'accroissement des colonies de sphaignes est plus important sous les éricacées que sous les couverts protecteurs. Cet aspect n'a jamais fait à notre connaissance l'objet d'étude puisque la plupart des ouvrages consultés font référence uniquement aux milieux naturels. De plus, dans la littérature traitant de la réintroduction de la sphaigne dans un but de restauration des tourbières, les terrains d'expérimentation sont exclusivement situés sur des surfaces exploitées par aspiration. Enfin,

ces travaux visaient essentiellement à mesurer les variations du nombre de régénérants de sphaignes (Campeau et Rochefort 1996, Quinty et Rochefort 1997, Rochefort et Campeau 1997).

Après une année de croissance, les colonies de sphaignes ne présentent pas de différence de croissance en superficie indépendamment, qu'elles soient présentes sous les plantes vasculaires, sous le couvert protecteur des débris de coupe ou d'ombrières ou encore sans protection (Figure 3.5 et tableau 3.2). Ces résultats peuvent s'expliquer de deux façon. En premier lieu, il est possible que les traitements n'aient pas encore eu le temps d'agir sur la croissance en superficie des colonies. En second lieu, il est possible que la méthode utilisée soit inefficace à mesurer l'étalement des colonies. En effet, certaines colonies présentaient des croissances négatives en superficies. L'erreur acceptée pour la prise des données était de 5 mm. Cette erreur apporte possiblement des lacunes dans la mesure des dimensions de la colonie et elle peut être trop élevée pour détecter la croissance des colonies. Cette erreur doit être multipliée, rappelons-le, par le nombre de diagonales utilisées et ensuite élevée au carré puisque l'on parle ici de superficie et non de mesure linéaire.

#### 4.0 CONCLUSION

Après une année de croissance, l'objectif de vérifier si la présence des plantes vasculaires, telles les éricacées, peut être un frein à la recolonisation des sphaignes suite à l'exploitation d'une tourbière par la coupe de blocs n'a pas été atteint. Nos travaux ont toutefois démontré que la coupe des plantes vasculaires s'avère être une opération néfaste en terme d'aménagement si les colonies de sphaignes sont directement soumises aux variations de température et d'ensoleillement du milieu ambiant. De plus, il n'a pas été démontré qu'à court terme les aménagements suggérés soient propices à la restauration de ce type de tourbières abandonnées. Toutefois, la croissance des sphaignes observée dans les parcelles avec protections naturelle et artificielles est comparable aux croissances en milieu naturel rapportées dans la littérature.

Finalement, le choix du test statistique est probablement à l'origine d'un biais dans la comparaison entre les traitements. De plus, des travaux sur une période plus longue (quelques années) seraient certainement plus indiqués pour l'atteinte des objectifs d'une telle expérience.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Bastien, D. 1996. Établissement et croissance des sphaignes dans une tourbière exploitée et abandonnée. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy, Québec.
- Campeau, S. et L. Rochefort. 1996. *Sphagnum* regeneration on a bare peat surfaces: Field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology* 33:599-608.
- Clymo, R.S. 1970. The growth of *Sphagnum*: methods of measurement. *Journal of Ecology* 58:13-49.
- Environnement Canada. 1993. Canadian climates normals 1961-1990: Québec. Atmospheric Environment Service, Ottawa. Ontario.
- Famous, N.C., M. Spencer et H. Nilsson. 1991. Revegetation patterns in harvested peatlands in central and eastern North America. p.48-66. *Dans Proceedings of the International Peat Symposium, Duluth. Minnesota. U.S.A.*
- Ferland, C. 1996. Approche de restauration d'une tourbière ombrotrophe du Nouveau Brunswick à la suite de son exploitation. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy, Québec.

- Göttlich, K.H., K.-H. Richard, H. Kuntze, R. Eggelsmann, J. Günther, D. Eichelsdörfer et G. Briemle. 1995. Mire Utilisation. p.325-415. Dans A.L. Heathwaite (éd.) Mires: Process, exploitation and conservation. John Wiley & Sons, New York. U.S.A.
- Harley, P.C., J.D. Tenhunen, K.J. Murray et 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.
- Hayward, P.M. et R.S. Clymo. 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.
- Heathwaite, A.L. 1993. Mires: Process, exploitation and conservation. John Wiley & Sons, Toronto. Canada.
- Hulme, P.D. et A.W. Blyth. 1982. The annual growth period of some *Sphagnum* species on the Silver National Nature Reserve, south-west Scotland. *Journal of Bryology* 12:287-291.
- LaRose, S., J.S. Price et L. Rochefort. sous presses. Rewetting of cutover peatland: hydrological assesment. *Wetlands accepté en janvier 1997*.
- Lavoie, C. et L. Rochefort. 1996. The natural revegetation of a harvested peatland in southern Québec: A spatial and dendroecological analysis. *Écoscience* 3(1):101-111.

- Li, Y., J. M. Glime et C. Liao. 1992. Responses of two interactions *Sphagnum* species to water level. *Journal of Bryology* 17:59-70.
- Maas, D. et P. Poschlod. 1991. Restoration of exploited peat areas in raised bogs: technical management and vegetation development. p.379-386. *Dans* O. Ravara (éd) *Terrestrial and aquatic ecosystems, perturbation and recovery*. Ellis Horwood. Chichester. U.K.
- Malmer, N., B.M. Svensson et B. Wallen. 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., P.C. Harley, J. Beyers, H. Walz et J.D. Tenhunen. 1989. Water content effects on photosynthesis response of *Sphagnum* mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia* 79:244-250.
- Murray, K.J., J.D. Tenhunen et R.S. Nowak. 1993. Photoinhibition as a control on photosynthesis and production of *Sphagnum* mosses. *Oecologia* 96:200-207.
- (NWWG) National Wetlands Working Group. 1987. *Wetlands of Canada*. Canada Committee on Ecological Land Classification, Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ecological land classification Seris No.24. Ottawa. Canada.
- Pakarinen, P. 1978. Production and nutrien ecology of three *Sphagnum* species in southern Finnish raised bogs. *Annales Botanici Fennici* 15:12-26.

- Price, J.S. 1996. Hydrology and microclimate of a partly restored cutover bog, Québec. *Hydrological Processes* 10:1263-1272.
- Quinty, F. et L. Rochefort. 1997. Plant reintroduction on a harvested peat bog. p.133-146. *Dans* Trettin, C.C., M.F. Jurgensen, D.F. Grigal, M.R. Gale et J.K. Jeglum (éds) *Northern forested wetlands: ecology and management*. Lewis Publishers. New York. U.S.A.
- Rochefort, L., D.H. Vitt et S.E. Bayley. 1990. Growth, production, and decomposition dynamics of *Sphagnum* under natural and experimentally acidified conditions. *Ecology* 71(5):1986-2000.
- Rochefort, L. et S. Campeau. 1997. Rehabilitation work on post-harvested Bogs in South Eastern Canada. p.287-294. *Dans* L. Parkyn, R.E. Stoneman et H.A.P. Ingram (éds) *Conserving Peatlands*, CAB International, Wallingford, U.K.
- Rydin, H. et J.S. McDonald. 1985a. Tolerance of *Sphagnum* to water level. *Journal of Bryology* 13:571-578.
- Rydin H. et J.S. McDonald. 1985b. Photosynthesis in *Sphagnum* at different water contents. *Journal of Bryology* 13:579-584.
- Rydin, H. 1993. Mechanisms of interactions among *Sphagnum* species along water-level gradients. *Advances in Bryology* 5:153-185.

- Sagot, C. et L. Rochefort. 1996. Tolérance des sphaignes à la dessiccation. *Cryptogamie, Bryologie et Lichénologie* 17(3):171-183.
- Salonen, V. 1994. Revegetation of harvested peat surfaces in relation to substrate quality. *Journal of Vegetation Science* 5:403-408.
- Schouwenaars, J.M. 1988. The impact of water management upon groundwater fluctuations in a disturbed bog relict. *Agricultural Water Management* 14:439-449.
- Schouwenaars, J.M. 1993. Hydrological differences between bogs and bog-relicts and consequences for bog restoration. *Hydrobiologia* 265:217-224.
- Schouwenaars, J.M. 1995. The selection of internal and external water management options for bog restoration. p.331-346. *Dans* B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (éds) *Restoration of temperate wetlands*. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.

## **CHAPITRE 4**

### **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'extraction de la tourbe représente une industrie importante dans le paysage québécois, surtout dans l'est du Québec. Cependant, cette activité économique laisse des traces majeures dans cet écosystème. La végétation peut facilement prendre plusieurs décennies avant de pouvoir recoloniser le substrat de tourbe à nu. Il est de plus probable que l'écosystème ne reprendra jamais ses fonctions initiales et qu'aucune accumulation de tourbe ne sera visible. Pour ces raisons, plusieurs études ont porté sur les méthodes visant la restauration des tourbières après exploitation, autant en Europe qu'en Amérique du Nord.

Inscrite dans un vaste projet pan-québécois de restauration des tourbières, cette étude vise à amorcer la restauration de sites ayant fait l'objet de deux types d'exploitation soient par aspiration et par la coupe de blocs. Pour l'extraction de la tourbe par aspiration, la première expérience voulait faciliter la réintroduction des sphaignes dans les tourbières résiduelles où des conditions de sécheresse extrêmement prononcées ne favorisent pas la revégétation rapide par les sphaignes. Pour l'extraction de la tourbe par la coupe de blocs, méthode largement délaissée dans les années 1970, les travaux de recherches voulaient favoriser la croissance et l'étalement des colonies de sphaignes là où existe déjà une végétation de plantes vasculaires bien établie, composée majoritairement d'éricacées.

Les travaux menés sur les sites exploités par aspiration ont montré qu'il est possible d'améliorer les conditions locales d'humidité par un reprofilage en V des planches d'exploitation. De plus, par l'ajout de bandes de plastiques, les conditions locales d'humidité se voient encore améliorées. Ces améliorations se sont traduites par une amorce de

recolonisation des sphaignes plus importante sur les sites profilés en V que sur les sites témoins.

Il a été observé que la coupe des plantes vasculaires sans aucune protection modifie considérablement les conditions microclimatiques comparativement aux conditions sous une protection supplémentaire. Ces modifications se traduisent par une augmentation des rayons lumineux et de la température au sol et par une diminution de l'humidité relative au niveau des colonies de sphaignes. Après une année d'expérimentation, cette étude n'a pas permis de tirer des conclusions claires sur les aménagements propices pour favoriser une recolonisation par les sphaignes ou un étalement des colonies de sphaignes déjà existantes. Cependant seule une diminution de croissance en longueur des sphaignes a été observée pour les colonies n'ayant aucune protection physique ce qui laisse croire que la coupe des plantes vasculaires sans aucune protection pour les colonies de sphaignes n'est pas un aménagement souhaitable.

Pour terminer, cette étude a permis l'acquisition de connaissances scientifiques pour améliorer les méthodes déjà existantes de restauration des tourbières exploitées par aspiration. Cette nouvelle méthode est fort prometteuse pour l'industrie de la tourbe où les conditions du site après exploitation sont extrêmement sèches. De plus, pour une des premières fois, il a été possible de s'attarder à la problématique de restauration d'anciens sites abandonnés de tourbières exploitées par la coupe de blocs. Il demeure cependant que le problème reste entier pour ce type d'exploitation puisque les résultats n'ont pas permis de suggérer des méthodes efficaces et fiables pour la restauration des sites exploités par la coupe de blocs. Des études ultérieures s'avèrent nécessaires pour cerner exactement les raisons de l'envahissement des plantes vasculaires sur ces sites. Ceci pourrait nous permettre de comprendre pourquoi les sphaignes sont dans l'impossibilité de coloniser ces sites.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Alais, C. et G. Linden. 1987. Abrégé de biochimie alimentaire. Masson & Décarie. Paris, France, 224 p.
- Alderman, T. 1965. It's a nuisance, Imperial Oil Revue 49(3):6-10.
- Bastien, D. 1996. Établissement et croissance des sphaignes dans une tourbière exploitée et abandonnée. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy, Québec.
- Bradshaw, A.D. 1987. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. p.53-74. Dans W.R. Jordan III, M.E. Glipin et J.D. Aber (éds) Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research. Cambridge University Press. New York. U.S.A.
- Campeau, S. et L. Rochefort. 1996. *Sphagnum* regeneration on a bare peat surfaces: Field and greenhouse experiments. Journal of Applied Ecology 33:599-608.
- Caron, H. 1983. Revue mondiale et canadienne des ressources de la biomasse tourbe et, politiques d'utilisation énergétique; Inventaire des tourbière au Québec. Direction des programmes d'énergie nouvelles. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec, Canada, DIT-83-001, Projet 7-1872.

- Casparie, W.A. 1993. The Bourtanger Moor: endurance and vulnerability of a raised bog system. *Hydrobiologia* 265:203-215.
- Chamayou, H. et J.-P. Legros. 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Presses Universitaires de France, Paris, France.
- Clymo, R.S. 1970. The growth of *Sphagnum*: methods of measurement. *Journal of Ecology* 58:13-49.
- Eggelsmann, R.R.F. 1988. Rewetting for protection and renaturation/regeneration of peatland after or without peat winning. p.251-260. *Dans Proceedings VIII International Peat Congress, Section III, St-Petersbourg, Russie.*
- Eggelsmann, R.R.F. 1990. Protection et restauration des tourbières hautes dégradées. *Dans Actes du Colloque «Gérer la nature», Travail de Conservation de la Nature 15(1):65-92.*
- Environnement Canada. 1993. Canadian climats normals 1961-1990: Québec. Atmospheric Environment Service, Ottawa. Ontario.
- Famous, N.C., M. Spencer et H. Nilsson. 1991. Revegetation patterns in harvested peatlands in central and eastern North America. p.48-66. *Dans Proceedings of the International Peat Symposium, Duluth, Minnesota. U.S.A.*

- Ferland, C. 1996. Approche de restauration d'une tourbière ombrotrophe du Nouveau Brunswick à la suite de son exploitation. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy, Québec.
- Gore, A.J.P. 1983. Introduction. p.1-34. Dans A.J.P. Gore (éd) Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor: Ecosystems of the world 4A. Elsevier Scientific Publishing company. New York. U.S.A.
- Göttlich, K.H., K.-H. Richard, H. Kuntze, R. Eggelsmann, J. Günther, D. Eichelsdörfer et G. Briemle. 1995. Mire Utilisation. p.325-415. Dans A.L. Heathwaite (éd.) Mires: Process, exploitation and conservation. John Wiley & Sons, New York. U.S.A.
- Harley, P.C., J.D. Tenhunen, K.J. Murray et 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.
- Hayward, P.M. et R.S. Clymo. 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.
- Heathwaite, A.L. 1993. Mires: Process, exploitation and conservation. John Wiley & Sons, Toronto. Canada.

- Heathwaite, A.L. 1995. Problems in the hydrological management of cutover raised mires, with special reference of Thornes Moors, South Yorkshire. p.315-329. *Dans* B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (éds) Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.
- Heathwaite, A.L., K.H. Göttlich, E.G. Burmeister, G. Kaule et Th. Grospietsch. 1993. Mires: definitions and form. p.1-28. *Dans* A.L. Heathwaite (éd) Mires: Process, exploitation and conservation. John Wiley & Sons, Toronto, Canada.
- Hulme, P.D. et A.W. Blyth. 1982. The annual growth period of some *Sphagnum* species on the Silver National Nature Reserve, south-west Scotland. *Journal of Bryology* 12:287-291.
- Joosten, J.H.J. 1992. Bog regeneration in the Netherlands: A review. p.367-373. *Dans* O.M. Braggs, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (éds) Ecosystems and man: An impact assessment. Dundee, U.K.
- LaRose, S., J. Price et L. Rochefort, sous presses. Rewetting of a cutover bog: Hydrological assesment. *Wetlands accepté en Janvier 1997*.
- Lavoie, C. et L. Rochefort. 1996. The natural revegetation of a harvested peatland in southern Québec: A spatial and dendroecological analysis. *Écoscience* 3(1):101-111.

- Le Quéré, D. 1995. Communications personnelles, chercheuse chez Premier Tech, Division de Premier Horticulture Inc..
- Li, Y., M. Glime et C. Liao. 1992. Responses of two interactions *Sphagnum* species to water level. *Journal of Bryology* 17:59-70.
- Maas, D. et P. Poschlod. 1991. Restoration of exploited peat areas in raised bogs: technical management and vegetation development. p.379-386. *Dans* O. Ravara (éd) *Terrestrial and aquatic ecosystems, perturbation and recovery*. Chichester, Ellis Horwood. U.K.
- Malmer, N., B.M. Svensson et B. Wallen. 1994. Interactions between *Sphagnum* mosses and field layer vascular plants in the development of peat-forming systems. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* 29:483-496.
- 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.
- Meharg, M.J., W.I. Montgomery et D. McFerran. 1992. Potential damage to peatland ecosystems by mechanised peat extraction. p.23-30. *Dans* O..M. Braggs, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (éds) *Ecosystems and man: An impact assessment*. Dundee, U.K.

- Ministère de l'Environnement et Faune du Québec. 1995. Données climatiques de la station météorologique de St-Arsène (47°51'N 69°23'W), Données non publiées. Ministère de l'Environnement et Faune, Direction des Réseaux Atmosphériques, Ste-Foy, Québec. Canada.
- Money, R.P. 1995. Re-establishment of a *Sphagnum*-dominated flora on cut-over lowland raised bogs. p.405-422. Dans B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (éds) Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.
- Murray, K.J., P.C. Harley, J. Beyers, H. Walz et J.D. Tenhunen. 1989. Water content effects on photosynthesis response of *Sphagnum* mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia* 79:244-250.
- Murray, K.J., J.D. Tenhunen et R.S. Nowak. 1993. Photoinhibition as a control on photosynthesis and production of *Sphagnum* mosses. *Oecologia* 96:200-207.
- (NWWG) National Wetlands Working Group. 1987. Wetlands of Canada. Canadian Committee on Ecological Land Classification, Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ecological land classification Series No.24. Ottawa. Canada.
- Nick, K.-J. 1984. Measures and changes of success for the regeneration of bogs after the complete industrial cutting of peat. p.331-338. Dans Proceedings VII International Peat Congress vol.1. Dublin, Ireland.

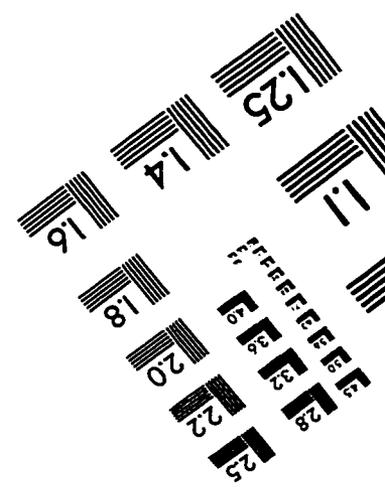
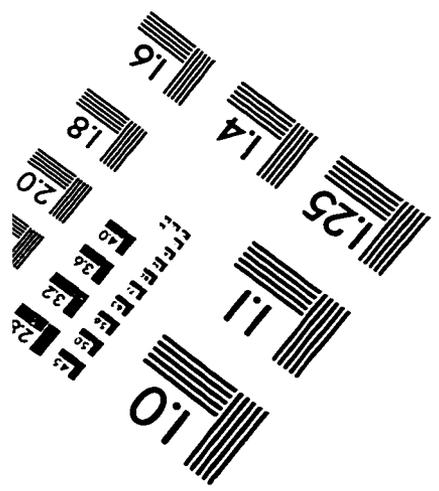
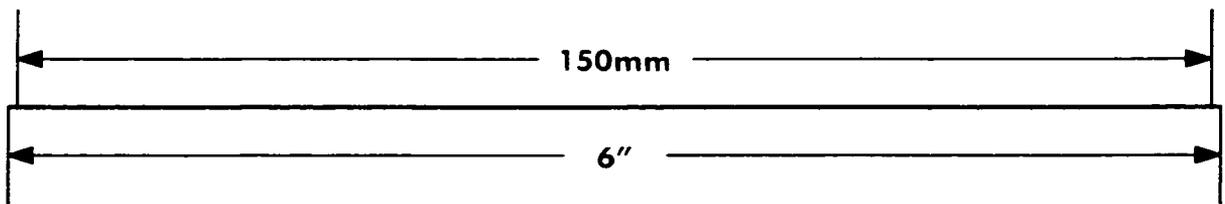
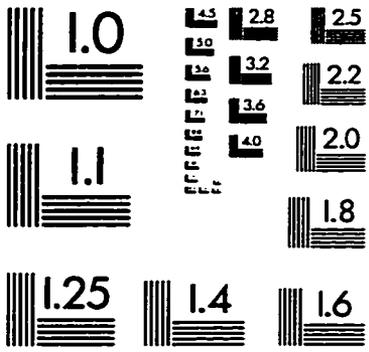
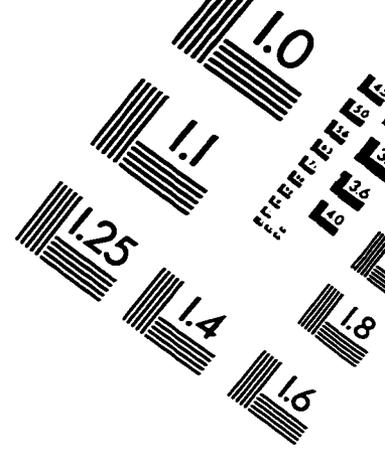
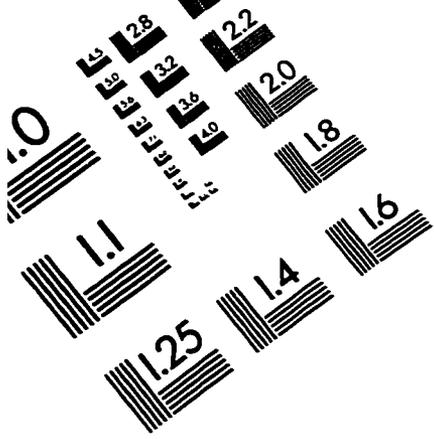
- Paavilainen, E. et J. Päävänen. 1995. Peatland forestry: Ecology and principles. Springer-Verlag, New York. U.S.A.
- Pakarinen, P. 1978. Production and nutrient ecology of three *Sphagnum* species in southern Finnish raised bogs. *Annales Botanici Fennici* 15:12-26.
- Poschlod, P. 1992. Development of vegetation in peat-mined areas in some bogs in the foothills of the Alps. p.287-290. *Dans* O.M. Braggs, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (éds) *Ecosystems and man: An impact assessment*. Dundee, U.K.
- Poschlod, P. et J. Pfadenhaeur. 1989. Regeneration of vegetative parts of peat mosses - A comparative study of nine *Sphagnum* species. *Telma* 19:77-88.
- Price, J.S. 1996. Hydrology and microclimate of a partly restored cutover bog, Québec. *Hydrological Processes* 10:1263-1272.
- Quinty, F. et L. Rochefort. 1997. Plant reintroduction on a harvested peat bog. p.133-146 *Dans* Trettin, C.C., M.F. Jurgensen, D.F. Grigal, M.R. Gale et J.K. Jeglum (éds) *Northern forested wetlands: ecology and management*. Lewis Publishers. New York. U.S.A.
- Rochefort, L. et S. Campeau. 1997. Rehabilitation work on post-harvested Bogs in South Eastern Canada. p.287-294. *Dans* L. Parkyn, R.E. Stoneman et H.A.P. Ingram (éds) *Conserving Peatlands*, CAB International, Wallingford, U.K.

- Rochefort, L., R. Gauthier et D. Le Quéré. 1995. *Sphagnum* regeneration - Toward an optimisation of bog restoration. p.423-434. Dans B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (éds) Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.
- Rochefort, L., D.H. Vitt et S.E. Bayley. 1990. Growth, production, and decomposition dynamics of *Sphagnum* under natural and experimentally acidified conditions. Ecology 71(5):1986-2000.
- Roderfeld, H. 1993. Raised bog regeneration after peat harvesting in North-West Germany. Suo 44(2):43-51.
- Rydin, H. 1993. Mechanisms of interactions among *Sphagnum* species along water-level gradients. Advances in Bryology 5:153-185.
- Rydin, H. et J.S. McDonald. 1985a. Tolerance of *Sphagnum* to water level. Journal of Bryology 13:571-578.
- Rydin H. et J.S. McDonald. 1985b. Photosynthesis in *Sphagnum* at different water contents. Journal of Bryology 13:579-584.
- Sagot, C. et L. Rochefort. 1996. Tolérance des sphaignes à la dessiccation. Cryptogamie, Bryologie et Lichénologie 17(3):171-183.

- Salonen, V. 1987. Revegetation of an area of Mustasuo-mire after clearing for peat harvesting. *Suo* 38(1):1-3.
- Salonen, V. 1994. Revegetation of harvested peat surfaces in relation to substrate quality. *Journal of Vegetation Science* 5:403-408.
- SAS Institut. 1988. SAS/STAT User s guide, version 6, 4<sup>th</sup> edition. Vol. 2, GLM-VARCOMP, SAS Institut Inc., SAS Circle, Box 8000, Cary, NC 27512-8000.
- Schouwenaars, J.M. 1988. The impact of water management upon groundwater fluctuations in a disturbed bog relict. *Agricultural Water Management* 14:439-449.
- Schouwenaars, J.M. 1992. Hydrological characteristics of bog relicts in the Engbertsdijksvenen after peat-cutting and rewetting. p.125-132. *Dans* O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (éds) *Ecosystems and man: An impact assessment*. Dundee, U.K.
- Schouwenaars, J.M. 1993. Hydrological differences between bogs and bog-relicts and consequences for bog restauration. *Hydrobiologia* 265:217-224.
- Schouwenaars, J.M. 1995. The selection of internal and external water management options for bog restoration. p.331-346. *Dans* B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt and R.A. Robertson (éds) *Restoration of temperate wetlands*. John Wiley & Sons, LTD. New York. U.S.A.

- Smith, R.L. 1990. Ecology and field biology, 4<sup>e</sup> édition. Harper and Row Publishers, New York. U.S.A.
- Steel, R.G.D. et J.H. Torie. 1980. Principles and procedures of statistics. - A biometrical approach, 2nd edition. McGraw-Hill, New York. U.S.A.
- Systat Software Inc. 1991. Systat, version 5.02. Copyright, 1991, Systat Inc.
- Turner, R.G. 1993. Peat and people: A review. *Advances in Bryology* 5:315-328.
- Vasander, H., A. Leivo et T. Tanninen. 1992. Rehabilitation of a drained peatland in the Seitsemien national park in southern Finland. p.381-387. *Dans* O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (éds) *Ecosystems and man: An impact assessment*. Dundee, U.K.
- Victorin, M. 1964. Flore Laurentienne, 2<sup>e</sup> édition. Les presses de l'Université de Montréal. Montréal. Canada.
- Vompersky, S.E., M.V. Smagina, I.A. Ivanov et T.V. Glukhova. 1992. The effect of forest drainage on the balance of organic matter in forest mires. p.17-22. *Dans* O.M., Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram, R.A. Robertson (éds) *Ecosystems and man: An impact assessment*. Dundee. U.K.

Wheeler, B.D. et S.C. Shaw. 1995. Restoration of damaged peatlands. Departement of the Environment, University of Sheffield, London. U.K.



APPLIED IMAGE, Inc  
1653 East Main Street  
Rochester, NY 14609 USA  
Phone: 716/482-0300  
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved