

Guide de restauration des tourbières

Deuxième édition

François Quinty et Line Rochefort



Guide de restauration des tourbières

Deuxième édition

François Quinty et Line Rochefort

Association canadienne
de mousse de sphaigne



Ministère des Ressources naturelles
du Nouveau-Brunswick



Publié en partenariat par :

Association canadienne de mousse de sphaigne
7, Oasis Court
Saint-Albert, Alberta
Canada, T8N 6N2
cspma@peatmoss.com
www.peatmoss.com

Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick
B.P. 6000
Fredericton, Nouveau-Brunswick
Canada, E3B 5H1
www.gnb.ca/0078/index-e.asp

Adresse des auteurs :

François Quinty
Planirest environnement inc.
6409, Hêtrière ouest
Saint-Charles-de-Bellechasse, Québec
Canada, G0R 2T0
(418) 887-5043
fquinty@planirest.com



Line Rochefort
Groupe de recherche en écologie des tourbières
Département de phytologie
Pavillon Paul-Comtois, Université Laval
Québec, Québec
Canada, G1K 7P4
(418) 656-2131 # 2583
line.rochefort@plg.ulaval.ca
www.plg.ulaval.ca/



ISBN 0-9733016-1-9

Copyright © 2003 François Quinty et Line Rochefort. Tous droits réservés.

Imprimé sur papier recyclé

Ce document devrait être cité comme suit :

Quinty, F. et L. Rochefort, 2003. Guide de restauration des tourbières, deuxième édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec.

Avant-propos

Les auteurs désirent remercier l'Association canadienne de mousse de sphaigne (CSPMA) qui leur a donné le mandat de préparer cette seconde édition du Guide de restauration des tourbières, ainsi que le Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des ressources minières, de la politique et de la planification, qui a participé au financement du projet.

Nous voulons tout particulièrement remercier Suzanne Campeau pour ses commentaires sur la section consacrée à la restauration des tourbières ainsi que Jonathan Price, Stéphanie Boudreau, Julie Bussières, Bruno Drolet et Jacques Gagnon, qui ont collabor    la révision de certaines parties du guide. Gerry Hood, président de la CSPMA, a également apporté une aide substantielle quant au vocabulaire technique utilisé dans l'industrie de la tourbe.

Les personnes suivantes nous ont aimablement fourni de l'information sur les différents projets en restauration et en réaménagement menés par les compagnies de tourbe : Serge Losier, La Mousse Acadienne (1979) Ltée; Ernie Daigle, ASB Greenworld Ltd.; Daniel Lebel, Le Groupe Berger Ltée; Juana Elustundo, Fafard & frères Ltée; Clément Dubé, Compagnie de tourbe Fafard Ltée; Jacques Lambert, Tourbières Lambert inc.; Daniel Saulnier, Groupe Qualité Lam  que Ltée; Rud  l Rioux, Les tourbes Nirom inc.; Jacques Gagnon et Georges Gagnon, Premier Horticulture Ltée; Zo  l Gautreau et Tony Cable, Sungro Horticulture Canada Ltd.

Nous voulons aussi remercier Manon Croft qui a réalisé les croquis de plantes pour la *Clé d'identification des sites d'emprunt*, Leslie Rubec pour la révision de la version anglaise, Marie-France Bouchard pour la traduction française, Claire Boismenu pour la révision de la version française ainsi que Bruno Balatti et Mélanie Grenier pour la mise en page.

Nous voulons également remercier toutes les personnes qui ont collaboré aux projets de recherche en restauration de tourbières et tout spécialement nos collègues du Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) et leurs étudiants diplômés qui ont été de véritables pionniers en matière de restauration des tourbières, notamment le Dr Jonathan Price (Université de Waterloo), le Dr Claude Lavoie (Université Laval), le Dr André Desrochers (Université Laval), le Dr Mike Waddington (Université McMaster) ainsi que les employés de Planirest environnement inc. et de Fafard et frères Ltée, qui ont travaillé à la restauration de la tourbière de Sainte-Marguerite, et tout particulièrement Jean-Roch Bérubé, Roger Roy et Claude Doucet.

Table des matières

Avant-propos	iv
1. Introduction	1
2. Les tourbières	4
Tourbières et tourbe	4
Développement des tourbières	4
Répartition des tourbières	5
Fonctions et rôles des tourbières	5
Végétation	6
Les sphaignes	8
Hydrologie	8
Acrotelme et catotelme	9
Flux hydriques	10
Tension de l'eau	10
3. Restauration des tourbières	12
Principes de la restauration	12
Impacts de l'extraction de la tourbe	12
Restauration naturelle - possible ou impossible?	13
But et objectifs de la restauration des tourbières	13
L'approche canadienne de la restauration des tourbières	14
Planification de la restauration	15
Conditions du site, but et objectifs	15
Caractéristiques de l'écosystème à l'état naturel	16
Conditions hydrologiques	17
Topographie	18
Caratéristiques de la tourbe	19
Aspects chimiques	20
Végétation existante	21
Source de matériel végétal	22
Milieu environnant	23
But visé	23
Objectifs visés	24
Suivi de la restauration	24
Planification des opérations	25

Préparation du site	27
Modification du profil des planches	28
Remplissage des canaux	30
Digues	31
Rôles des digues	31
Procédures pour la construction de digues	31
Digues périphériques	32
Digues perpendiculaires à la pente	33
Digues en damier	34
Bassins.....	34
Rafraîchissement des surfaces de tourbe	35
Végétation existante.....	36
Situations à éviter et autres problèmes rencontrés lors de la préparation du site	37
Récolte des plantes	39
Choix du site d'emprunt	39
Communautés végétales	39
Dimensions du site d'emprunt	40
Récolte du matériel végétal	40
Profondeur de la récolte	40
Procédure générale pour la récolte des plantes	42
Récolte des plantes au printemps	45
Épandage des plantes	49
Quantité de matériel végétal	49
Épandage des plantes	51
Épandage de la paille	53
Les paillis	53
Pourquoi utiliser la paille	54
Quantité de paille.....	54
Épandage de la paille	57
Fertilisation	59
Le phosphore	59
Dosage du fertilisant	60
Application du fertilisant.....	60
Impacts sur l'environnement	61
Blocage des canaux de drainage	63
Procédure pour le blocage des canaux	63
Quand bloquer le drainage	64
Création de mares	66

Suivi de la restauration	68
Végétation.....	68
Végétation à l'échelle du site.....	69
Végétation à l'échelle des parcelles permanentes.....	69
Végétation à l'échelle du tapis muscinal	71
Hydrologie	72
Nappe phréatique	72
Contenu en eau de la tourbe.....	73
pH	73
Conditions du site avant restauration et procédures de restauration	73
Dépannage	75
Plantes envahissantes	75
Établissement lent de la végétation.....	76
Gestion de l'eau	77
Problèmes associés au vent	78
Coût de la restauration	79
4. Options de réaménagement	81
Inondation et gestion de l'eau	81
Agriculture	82
Cultures maraîchères	82
Pâturage	83
Culture de la canneberge.....	83
Sylviculture	84
5. Guide de référence rapide	86
Objectifs de la restauration des tourbières	86
Procédure pour la restauration	86
6. Clé d'identification des sites d'emprunt	90
Description de quelques espèces de plantes de tourbières	91
Sphaignes	91
<i>Polytrichum</i> (polytric)	92
<i>Dicranella cerviculata</i>	93
<i>Eriophorum</i> (linaigrette)	93
Éricacées	94
7. Références	96
Annexe A Projets de restauration de tourbières à grande échelle au Canada.....	99
Annexe B Projets de réaménagement de tourbières à grande échelle au Canada	103
Annexe C Échelle de von Post pour évaluer le degré de décomposition de la tourbe	106
Annexe D Formulaires pour le suivi de la restauration	109
Glossaire	118

Liste des tableaux

Tableau 1.	Les pertes et les sources d'eau les plus courantes sur un site de restauration.	17
Tableau 2.	Options de préparation des sites en fonction des situations auxquelles elles s'appliquent et des avantages qu'elles procurent.	29
Tableau 3.	Nombre de digues et distance horizontale devant séparer les digues pour un intervalle de dénivellation de 30 cm, selon la longueur de la planche et l'angle de la pente	34
Tableau 4.	Temps et matériel requis pour la préparation du site	38
Tableau 5.	Liste des équipements déjà utilisés pour la récolte des plantes et leur efficacité	43
Tableau 6.	Temps et matériel requis pour la récolte des plantes	45
Tableau 7.	Temps et matériel requis pour la récolte printanière des plantes	48
Tableau 8.	Description des bonnes et des mauvaises quantités de matériel végétal résultant de l'épandage des plantes	50
Tableau 9.	Temps et matériel requis pour l'épandage du matériel végétal	52
Tableau 10.	Nombre de balles de paille requis par hectare	55
Tableau 11.	Liste des appareils déjà utilisés pour épandre la paille et leur efficacité	56
Tableau 12.	Temps et matériel requis pour l'épandage de la paille	58
Tableau 13.	Temps et matériel requis pour la fertilisation	62
Tableau 14.	Temps et matériel requis pour le blocage des canaux de drainage	65
Tableau 15.	Sommaire du temps, des ressources et des montants requis pour la restauration d'une tourbière	80

Liste des figures

Figure 1.	Carte illustrant l'emplacement des tourbières où des procédures de restauration et de réaménagement ont été appliquées et qui ont servi de source d'information pour l'élaboration du guide.	3
Figure 2.	Photos montrant un fen pauvre et un bog.	5
Figure 3.	Photo montrant une succession de dépressions et de buttes, typique à beaucoup de tourbières ombrotrophes.	7
Figure 4.	Croquis illustrant les différentes parties d'une sphaigne.	8
Figure 5.	Croquis illustrant la structure de l'acrotelme et du catotelme.	9
Figure 6.	Diagramme illustrant les perturbations causées par le soulèvement gélival aux surfaces de tourbe et aux fragments de plantes qui s'y trouvent.	19
Figure 7.	Photo montrant la microtopographie qui se forme à la surface de la tourbe suite au soulèvement gélival.	21
Figure 8.	Croquis illustrant la topographie obtenue lorsque les digues sont construites en poussant la tourbe vers le bas et vers le haut de la pente.	33
Figure 9.	Photo aérienne du site en restauration d'Inkerman Ferry, au Nouveau-Brunswick.	34
Figure 10.	Photo aérienne du site en restauration de Chemin-du-Lac, au Québec.	35
Figure 11.	Schéma illustrant le rapport entre le site d'emprunt et le site de restauration.	40
Figure 12.	Graphique illustrant la diminution rapide du nombre de fragments qui ont le potentiel de régénérer une nouvelle plante, selon la profondeur de prélèvement du matériel végétal.	41
Figure 13.	Rotoculteur utilisé pour déchiqueter les plantes lors de la récolte du matériel végétal.	45
Figure 14.	Photo montrant les conséquences que peut engendrer le gel du matériel végétal sur le métal des remorques lorsque la température est sous le point de congélation.	45
Figure 15.	Graphique comparant le nombre de capitules de sphaigne obtenus en fonction de la couche de matériel végétal épandue durant les trois années suivant l'épandage.	49
Figure 16.	Épandage du matériel végétal à l'aide d'un épandeur à fumier conventionnel. ...	51
Figure 17.	Graphique montrant l'évolution moyenne de la température au sol au cours d'une journée avec ou sans la présence d'un paillis.	53

Figure 18.	Graphique montrant le pourcentage du sol recouvert par les plantes après trois années de croissance sous différentes quantités de paille.....	55
Figure 19.	Photos montrant les différents appareils utilisés pour épandre la paille.	57
Figure 20.	Application de fertilisant à l'aide d'un épandeur conique standard fixé à la prise de force du tracteur.	60
Figure 21.	Croquis illustrant la procédure pour le blocage des canaux de drainage.	64
Figure 22.	Diagramme illustrant la forme recommandée pour les mares, avec une pente abrupte d'un côté et une pente faible au côté opposé.	67
Figure 23.	Diagrammes illustrant des pourcentages de recouvrement connus	71
Figure 24.	Répartition des quadrats pour l'évaluation de la végétation à l'échelle du tapis muscinal.	71
Figure 25.	Exemple d'un cadre métallique de 25 cm x 25 cm utilisé pour délimiter les quadrats pour le suivi à l'échelle du tapis muscinal.	71
Figure 26.	Photo d'un tapis de sphaignes principalement composé de <i>Sphagnum fuscum</i>	91
Figure 27.	Photo d'un tapis de sphaignes principalement composé de <i>Sphagnum rubellum</i>	92
Figure 28.	Photo d'un tapis de <i>Polytrichum strictum</i> et illustration d'un individu de cette espèce.	92
Figure 29.	Photo d'un tapis de <i>Dicranella cerviculata</i>	93
Figure 30.	Photo montrant un groupe de touradons d' <i>Eriophorum spissum</i>	93
Figure 31.	Photo d' <i>Eriophorum angustifolium</i>	94
Figure 32.	Illustration de <i>Chamaedaphne calyculata</i>	94
Figure 33.	Illustration de <i>Ledum groenlandicum</i>	95
Figure 34.	Illustration de <i>Kalmia angustifolia</i>	95

1 Introduction

Ce n'est que tout récemment que l'on a commencé à s'intéresser à l'utilisation et à la gestion durables des tourbières au Canada. Elles étaient et sont encore considérées par plusieurs comme des milieux improductifs et peu utiles, leurs rôles étant peu connus et leur valeur n'étant appréciée que par un petit nombre de personnes, principalement des scientifiques. Après l'extraction de la tourbe, les tourbières étaient abandonnées à elles-mêmes, et les processus naturels ne favorisaient pas toujours le retour vers les conditions originales de milieu humide. Une étude exhaustive des tourbières anciennement exploitées du Québec et du Nouveau-Brunswick, menée entre 1993 et 1995, a révélé que les sites où la tourbe avait été extraite manuellement sous la forme de blocs se régénéraient plus facilement que celles qui avaient été aspirées mécaniquement. En fait, peu de sphaignes ont été retrouvées sur les tourbières abandonnées où la tourbe avait été extraite par aspiration. En 1993, une prise de conscience générale au sujet de l'environnement a amené les producteurs de tourbe canadiens, en collaboration avec les universités et les gouvernements provinciaux et fédéral, à entreprendre un projet de recherche visant le développement de techniques pouvant aider à la restauration de tourbières exploitées. Ce projet a été mené par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET), sous la direction du Dr Line Rochefort de l'Université Laval, au Québec. En 1997, F. Quinty et L. Rochefort ont réalisé un Guide de restauration des tourbières, publié par l'Association canadienne de mousse de sphaigne (CSPMA), qui présentait brièvement l'évolution de la recherche. Depuis la publication de cette première version, le développement des techniques de restauration des tourbières s'est poursuivi et l'industrie canadienne de la tourbe doit aujourd'hui se conformer à de nouvelles réglementations et exigences de certaines autorités provinciales. Il devenait donc impératif de développer un guide plus détaillé faisant état des derniers développements.

La deuxième édition du Guide de restauration des tourbières se veut un outil pratique principalement à l'attention des producteurs de tourbe. Le guide présente de façon simple l'approche développée au Canada pour la restauration des tourbières exploitées. Cette méthode est basée sur la recherche effectuée par le GRET au cours des 10 dernières années, sur son application par Planirest environnement inc. pour la restauration de plus de 160 hectares de la tourbière de Sainte-Marguerite, au Québec (figure 1), ainsi que sur l'expérience acquise par les producteurs de tourbe canadiens, qui ont partagé leur savoir lors d'ateliers annuels. La restauration expérimentale d'un écosystème entier – la tourbière de Bois-des-Bel, au Québec – en collaboration avec plusieurs producteurs de tourbe, a aussi été une importante source d'informations. Le site de Bois-des-Bel a été restauré en 1999-2000 et il fait l'objet d'un suivi pour étudier le rétablissement des éléments et des fonctions de l'écosystème. Le site peut être visité sur demande auprès du GRET ou des producteurs de tourbe membres de l'Association canadienne de mousse de sphaigne. L'approche canadienne a été développée spécifiquement en fonction des conditions acides et pauvres, typiques des substrats de tourbe laissés après l'exploitation de tourbières ombrotrophes de l'est de l'Amérique du Nord. Cette approche a déjà été appliquée avec succès à la restauration de plusieurs tourbières, avec des adaptations selon les conditions locales. Les informations présentées ici sont appelées à être modifiées au fur et à mesure que la recherche progressera. L'application de cette approche sur plusieurs sites à travers le Canada permettra d'apporter des améliorations aux techniques de restauration, notamment si un suivi est effectué et si des informations adéquates sont récoltées et réunies dans une banque de données.

La première section présente des concepts de base sur les tourbières, notamment sur la végétation et l'hydrologie, qui permettent de mieux comprendre les processus associés à la restauration. La deuxième partie décrit en détail l'approche canadienne de restauration des tourbières, de la phase de planification du projet jusqu'au suivi des sites restaurés. La description des techniques de restauration occupe la plus grande partie de la section. La section suivante présente un survol des alternatives à la restauration, telles que la création de plans d'eau fréquemment utilisée en Europe et des options de réaménagement en agriculture et en foresterie. À la fin du guide, on trouve trois courtes sections qui offrent des outils complémentaires aux utilisateurs : un guide de référence rapide qui résume les procédures de l'approche proposée, une clé d'identification des sites d'emprunt basée sur les communautés végétales qui conviennent le mieux à la restauration des tourbières et des références bibliographiques pour ceux qui voudraient en apprendre un peu plus. Quatre annexes terminent le guide : un tableau présentant une liste des projets de restauration à grande échelle, un tableau des projets de réaménagement de tourbières au Canada, une échelle de von Post pour déterminer le degré de décomposition de la tourbe et un glossaire de termes scientifiques et techniques utilisés dans le guide. La nomenclature de Scoggan (1978)¹ a été utilisée pour les plantes vasculaires et celle d'Anderson (1990)² pour les mousses.

¹ Scoggan, H. J. 1978. *The flora of Canada*. National Museums of Canada, Ottawa.

² Anderson, L. E. 1990. A checklist of *Sphagnum* in North America north of Mexico. *The Bryologist*, 4: 500-501.

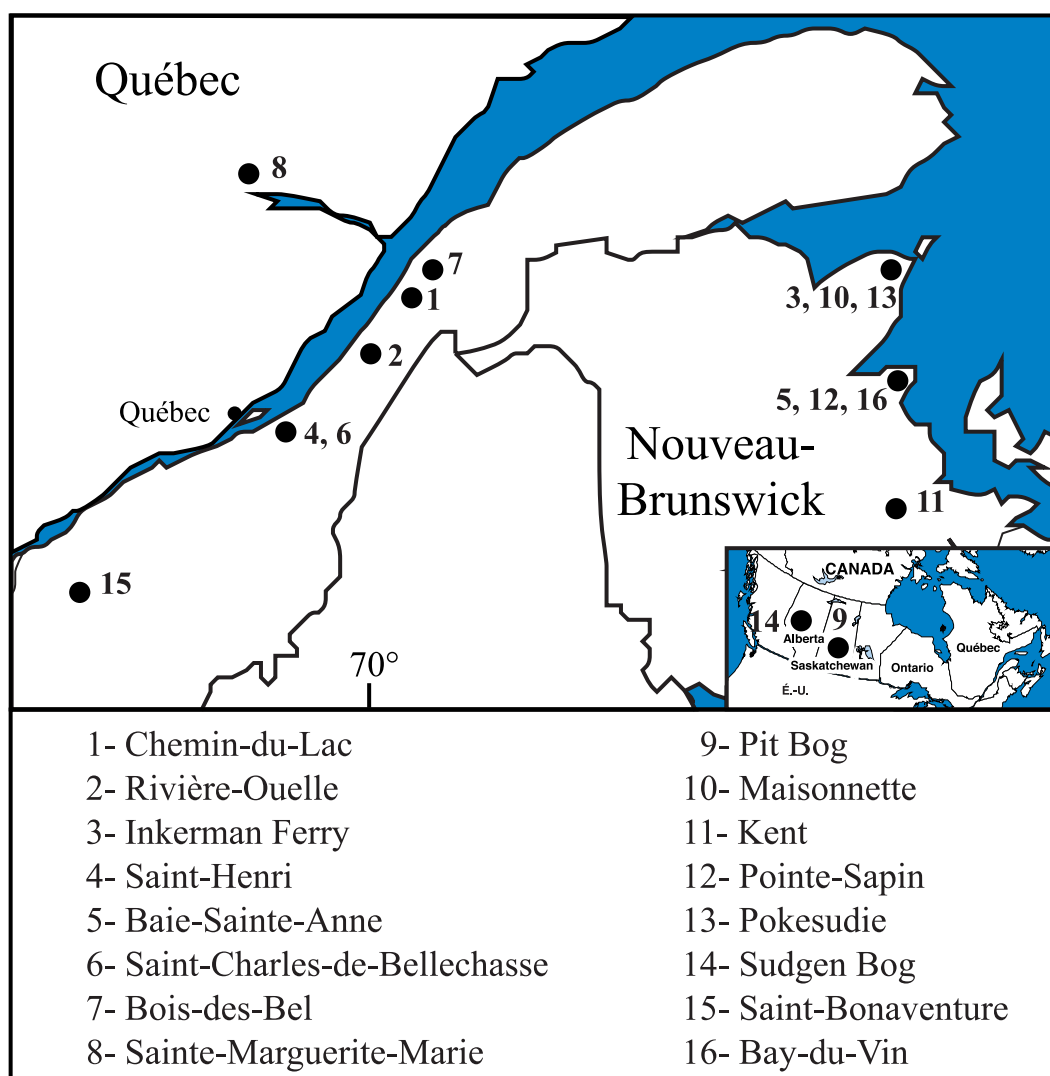


Figure 1. Carte illustrant l'emplacement des tourbières où des procédures de restauration et de réaménagement ont été appliquées et qui ont servi de source d'information pour l'élaboration du guide.

2 Les tourbières

L'approche canadienne de la restauration des tourbières a d'abord et avant tout été développée pour aider à préserver ce type unique d'écosystème que sont les tourbières. La conservation et la restauration des tourbières deviennent impératives face au déséquilibre qui existe entre la répartition géographique des écosystèmes tourbeux et l'importance de leur utilisation. Cette première section présente les concepts de base de l'écologie des tourbières sur lesquels s'appuient les actions décrites dans le guide.

Tourbières et tourbe

Les tourbières sont des écosystèmes très répandus dans l'hémisphère Nord. Elles couvrent, dans l'ensemble, une proportion impressionnante de 11 % du territoire canadien. Par le passé, elles étaient peu connues et ont longtemps été considérées comme des terres improductives, mais maintenant, on connaît mieux les éléments qui les composent et on comprend davantage leur rôle à l'échelle du paysage.

Développement des tourbières

Les tourbières sont des écosystèmes où la production de biomasse végétale dépasse sa décomposition. Cela crée une accumulation de matière organique provenant des débris de plantes, principalement de sphaignes, qui dominent la végétation des tourbières. L'accumulation des restes de sphaignes et autres plantes de tourbières forme ce que l'on appelle de la tourbe. La croissance des sphaignes est de quelques centimètres par année, mais à cause de la décomposition et du compactage qui se produit à mesure que se superposent les débris produits annuellement, le taux réel d'accumulation de la tourbe est approximativement de 0,5 à 1 mm par année. Ainsi, les épais dépôts de tourbe sont le résultat de plusieurs milliers d'années d'accumulation de débris végétaux. Par conséquent, il est clair qu'à ce rythme, la restauration ne génèrera pas assez de tourbe pour permettre une reprise de l'extraction dans un avenir proche sur les sites en restauration.

Les tourbières peuvent se développer de deux façons, soit par : i) le comblement ou le remplissage d'un plan d'eau par la matière organique ou soit par : ii) la paludification de sites mal drainés, processus d'accumulation de la tourbe à partir du sol minéral. Avec le temps, l'accumulation de débris de plantes modifie les conditions environnementales du milieu et transforme les habitats aquatiques en habitats semi-aquatiques, puis en fens, qui pourront ensuite évoluer vers des tourbières ombrotrophes, ou bogs, par un processus d'accumulation de la tourbe.

Les fens sont un type de tourbières alimentées en eau à la fois par les précipitations et par les eaux de ruissellement de surface ou souterraines. Parce que les eaux de ruissellement entrent en contact avec les éléments minéraux du sol, les fens sont enrichis en éléments nutritifs. C'est pour cette raison que les fens sont aussi appelés tourbières minérotrophes. La végétation des fens diffère beaucoup de celle des bogs, et elle est souvent dominée par les espèces de la famille des carex qui sont à l'origine de la tourbe de carex ou *sedge peat* (figure 2). Par suite de l'accumulation de tourbe, les tourbières finissent par s'élever au-dessus des terres environnantes à un point tel

qu'elles ne sont alimentées que par les précipitations. À partir de ce moment, les plantes ne peuvent plus avoir accès à l'eau enrichie en minéraux provenant des terres avoisinantes et cela enclenche un processus menant à la formation des bogs, ou tourbières ombrotrophes : la disponibilité des minéraux diminue significativement, les conditions d'acidité s'installent et les communautés végétales dominées par les sphaignes, capables de supporter de telles conditions, remplacent peu à peu la végétation composée de carex.

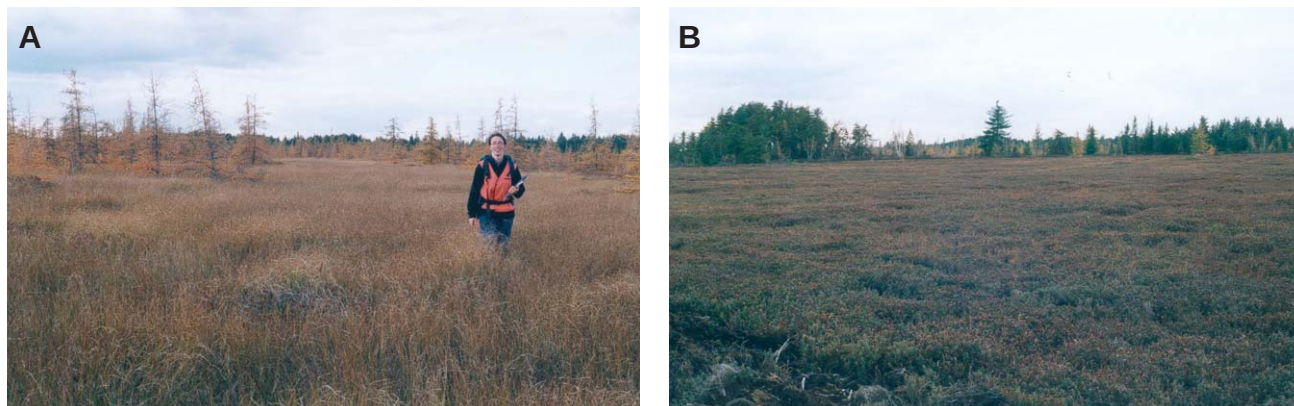


Figure 2. Photos montrant un fen pauvre (A) et un bog (B). Les fens pauvres supportent souvent des communautés végétales composées de mousses brunes et dominées par les carex, qui sont des plantes semblables aux graminées. La strate arborescente est habituellement composée de mélèzes (*Larix laricina*). Les bogs comportent généralement, en plus du tapis de sphaignes, une strate arbustive dense dominée par les éricacées et une strate arborescente constituée d'épinettes noires (*Picea mariana*). (Photos : M. Poulin)

Répartition des tourbières

La répartition des tourbières ombrotrophes est directement liée aux conditions climatiques. L'accumulation de tourbe est la conséquence d'un faible taux de décomposition plutôt que d'une productivité biologique élevée. Elle est causée par des conditions de saturation en eau que l'on trouve dans les tourbières et les environnements mal drainés. Peu d'organismes responsables de la décomposition des plantes peuvent survivre dans des sols saturés en eau à cause d'un manque d'oxygène (conditions anaérobies). Ces milieux se trouvent principalement sous des régimes climatiques caractérisés par un surplus d'eau annuel, c'est-à-dire où les précipitations excèdent l'évaporation. La répartition géographique des tourbières est limitée au nord par la faiblesse des précipitations et au sud par un taux élevé d'évaporation. La plupart des régions tempérées et boréales de l'hémisphère Nord offrent des conditions favorables au développement des tourbières. Les hivers y sont froids et humides, ce qui compense l'évaporation qui se produit l'été.

Fonctions et rôles des tourbières

Plusieurs fonctions et rôles font des tourbières des écosystèmes précieux. Bien que ceux-ci diffèrent selon les perceptions et les intérêts des individus, on reconnaît que les tourbières fournissent plusieurs biens et fonctions écologiques. Le rôle des tourbières dans le cycle du carbone est souvent mentionné en regard des changements climatiques et de l'effet de serre. Les

tourbières naturelles émettent des gaz à effet de serre, tel que le méthane (CH_4), mais emmagasinent une importante quantité de carbone présent dans les débris de plantes et de tourbe. L'extraction de la tourbe entraîne son exposition à l'air et sa décomposition, ce qui contribue à l'émission de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère.

Un autre rôle joué par les tourbières est leur apport substantiel à la biodiversité d'une région. Puisqu'elles présentent des conditions uniques (acidité, pauvreté en éléments nutritifs, hydrologie), les tourbières ombrotrophes supportent des communautés végétales spécifiques. Quelques espèces d'oiseaux et de plantes se rencontrent uniquement dans les tourbières. De récentes études suggèrent que les tourbières ombrotrophes de grande superficie auraient une plus grande valeur, car elles comportent un plus large éventail d'habitats, comme les mares, et conséquemment, un plus grand nombre d'espèces.

Les tourbières ombrotrophes régularisent aussi l'écoulement des eaux : en emmagasinant celles-ci, les tourbières agissent comme zone tampon lors de précipitations abondantes. On peut constater l'importance de ce rôle lorsque des tourbières ont été abandonnées ou drainées : l'eau qui aurait dû être normalement emmagasinée rejoint les cours d'eau plus rapidement, ce qui entraîne une augmentation des débits de pointe.

Les tourbières sont également des lieux privilégiés pour la cueillette de petits fruits et pour la chasse. Les attraits esthétiques et éducatifs des tourbières sont aussi de plus en plus reconnus, puisque plus de gens ont désormais accès aux centres d'interprétation de la nature, en particulier dans les parcs.

Le rôle des tourbières en tant qu'archives paléoécologiques est bien connu des scientifiques. En raison du faible taux de décomposition et des conditions anoxiques, plusieurs parties de plantes, spécialement les graines et le pollen, peuvent être préservées dans la tourbe pendant des milliers d'années. Grâce aux techniques modernes qui permettent de mesurer l'âge de la matière organique, il est maintenant possible de reconstituer l'environnement et le climat qui existaient dans le passé, par l'identification des graines et du pollen présents dans les couches superposées de tourbe.

La restauration des tourbières en écosystèmes fonctionnels devrait permettre à celles-ci de retrouver les rôles et fonctions qui ont été perdus suite à l'extraction de la tourbe ou d'autres perturbations. Une tourbière fonctionnelle est un écosystème qui a la capacité d'accumuler du carbone, de régulariser les flux d'eau, de supporter une grande variété d'habitats et d'espèces et qui offre un potentiel pour des activités récréatives. Par contre, le rôle d'archives paléoécologiques pourrait être perdu si aucune étude en ce sens n'est menée avant l'extraction de la tourbe.

Végétation

Dans les tourbières naturelles, les plantes sont soumises à des conditions de croissance difficiles causées par un environnement acide et faible en éléments nutritifs, une nappe phréatique élevée et une exposition à des périodes de dessiccation, due à l'absence de protection contre le vent et le soleil. Quelques communautés végétales, dominées surtout par les mousses du groupe des sphaignes, réussissent à survivre dans ces conditions et colonisent ces écosystèmes.

Les communautés végétales sont souvent utilisées pour distinguer les différents habitats des tourbières. Certains habitats occupent de très petites superficies et ne sont pas présents dans toutes les tourbières, comme c'est le cas pour les tapis flottants que l'on trouve sur le bord des mares. La majeure partie des tourbières ombrotrophes est composée de quelques habitats que l'on peut diviser en deux groupes, selon l'emplacement qu'ils occupent par rapport à la nappe phréatique. Le premier groupe est composé d'habitats où le niveau d'eau se trouve près de la surface du sol. Ces habitats sont appelés platières ou dépressions, selon la superficie qu'ils couvrent. Les platières humides couvrent de grandes surfaces, tandis que les dépressions occupent de petites surfaces (figure 3). Les communautés végétales des platières et des dépressions sont dominées par les sphaignes du groupe des *Cuspidata*, telles que *Sphagnum fallax* et *Sphagnum angustifolium*. Ces espèces forment des colonies lâches qui ne sont pas adaptées à retenir l'eau. Les autres espèces de plantes qui composent ces communautés végétales sont généralement de type graminéoïde et appartiennent souvent à la famille des Cypéracées dont font partie les carex.

Le deuxième groupe d'habitats occupe de vastes plateaux ou de petits monticules, qui sont communément appelés buttes ou *hummocks* (figure 3). Ces habitats s'élèvent généralement de 40 à 80 cm au-dessus des platières et des dépressions et connaissent des conditions plus sèches. Les espèces de sphaignes qui colonisent les plateaux et les buttes poussent en colonies denses qui permettent une rétention et un approvisionnement en eau adéquat pour les mousses. Les espèces les plus communes sont *Sphagnum fuscum* et *Sphagnum rubellum*, qui appartiennent au groupe des *Acutifolia*. Les conditions plus sèches des plateaux et des buttes favorisent la présence d'arbustes, d'arbres et d'autres mousses, tel que le polytric et les lichens. On peut cependant trouver des plateaux avec de grandes surfaces totalement dénuées d'arbres. En présence d'une nappe phréatique basse, les arbustes de la famille des Éricacées et les arbres peuvent former un couvert dense, qui s'accompagne d'un couvert de mousses discontinu. La surface des tourbières ombrotrophes constitue fréquemment une mosaïque où alternent buttes et dépressions.



Figure 3. Photo montrant une succession de dépressions et de buttes, typique à beaucoup de tourbières ombrotrophes. On peut identifier les dépressions par la présence d'espèces de type graminéoïde (en jaune), tandis que les buttes supportent des arbustes (en brun). Ces deux habitats sont habituellement recouverts d'un tapis de sphaignes, mais les espèces s'établissant sur les buttes sont généralement plus appropriées pour la restauration. (Photo : M. Poulin)

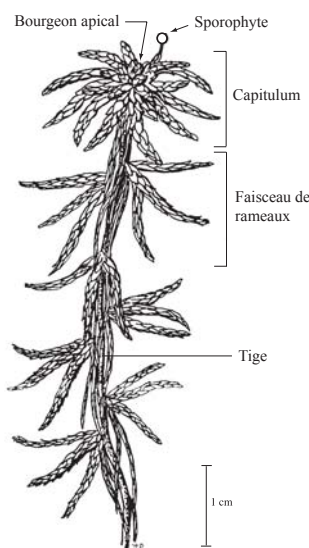
Des expériences portant sur la comparaison entre les communautés végétales des buttes et des dépressions montrent que la végétation établie sur les buttes donne de bien meilleurs résultats lorsqu'elle est utilisée comme matériel végétal pour la restauration des tourbières. Les espèces de sphaignes qui croissent sur les buttes sont mieux adaptées aux conditions rencontrées sur les sites de restauration. La présence de mousses, comme le polytric, contribue substantiellement à l'établissement rapide d'un nouveau couvert végétal. Trouvés sur les buttes, le thé du Labrador (*Ledum groenlandicum*) et le petit daphné (*Chamaedaphne calyculata*) sont deux espèces d'arbustes appartenant aux éricacées qui s'établissent rapidement et qui accroissent la diversité de la végétation des sites en restauration.

Les sphaignes

Les mousses de la famille des sphaignes sont les espèces dominantes de la végétation des tourbières ombrotrophes. Elles possèdent des caractéristiques bien spécifiques qui leur permettent de jouer un rôle déterminant dans la formation et la préservation de ces écosystèmes. Les sphaignes, notamment les espèces établies sur les buttes, contribuent directement à maintenir les conditions de saturation des tourbières, car elles ont la capacité de retenir l'eau. Elles jouent un rôle dans le processus d'acidification par le dégagement d'acides humiques et elles ont la capacité d'absorber et de retenir les éléments nutritifs et les cations. Toutes ces caractéristiques propres aux sphaignes favorisent leur croissance et les rendent très compétitives face aux autres espèces pour l'occupation du sol. Elles donnent également à la tourbe de sphaigne sa structure bien particulière et lui procurent d'autres propriétés qui en font un produit recherché en horticulture.

Une sphaigne est composée d'une tige terminée à son sommet par un capitule (tête). Ce capitule est formé par l'agglomération de rameaux autour d'un bourgeon apical où se produit la croissance du plant (figure 4). Les rameaux disposés le long de la tige, sont recouverts de feuilles étroitement imbriquées. Cette structure permet le transport de l'eau par capillarité jusqu'au capitule. La tige est pourvue de feuilles (feuilles caulinaires) de formes différentes des feuilles des rameaux qui sont souvent utilisées pour l'identification des espèces.

Hydrologie



Les tourbières ombrotrophes diffèrent des autres types de milieux humides par le fait qu'elles ne sont alimentées en eau que par les précipitations atmosphériques. Elles demeurent néanmoins des systèmes hydrologiques complexes, où la relation entre l'eau et la tourbe se trouve profondément perturbée par l'extraction de celle-ci. En restauration, trois facteurs ont une importance capitale : i) la structure du dépôt de tourbe qui comprend deux couches, soit l'acrotelme et le catotelme, ii) les flux de l'eau et iii) la tension de l'eau à la surface de la tourbe.

Figure 4. Croquis illustrant les différentes parties d'une sphaigne. Le sporophyte produit des spores qui sont l'équivalent des graines. (Croquis par J.-L. Polidori, redessiné de Payette et Rochefort [2001] avec la permission des Presses de l'Université Laval.)

Acrotelme et catotelme

L'acrotelme et le catotelme sont deux couches distinctes du sol que l'on trouve dans les tourbières ombrotrophes et qui contrôlent le régime hydrologique (figure 5). Le catotelme est la couche inférieure de tourbe qui se trouve en permanence sous la nappe phréatique. Sous ces conditions anaérobies, l'activité microbienne et les processus de décomposition de la tourbe sont très lents. Le catotelme est composé d'une couche de tourbe compactée, plus ou moins décomposée, qui possède une très faible conductivité hydraulique.

L'acrotelme est la couche de surface qui se trouve au-dessus du catotelme et où se produisent les fluctuations de la nappe phréatique. Sa limite inférieure correspond au plus bas niveau atteint par la nappe phréatique. Son épaisseur varie habituellement entre 30 et 50 cm, et dépend en grande partie de l'habitat (butte ou dépression). Les fluctuations de la nappe phréatique entraînent une alternance de conditions aérobies et anaérobies, ce qui favorise une activité microbienne plus rapide que dans le catotelme. On l'appelle parfois la partie « vivante » de la tourbière, puisque presque toute l'activité biologique de la tourbière s'y produit. L'acrotelme est formé de la partie vivante des mousses, ainsi que des parties mortes plus ou moins décomposées. Sa structure très lâche permet d'emmagasiner et de libérer de grandes quantités d'eau, ce qui limite les fluctuations de la nappe phréatique.

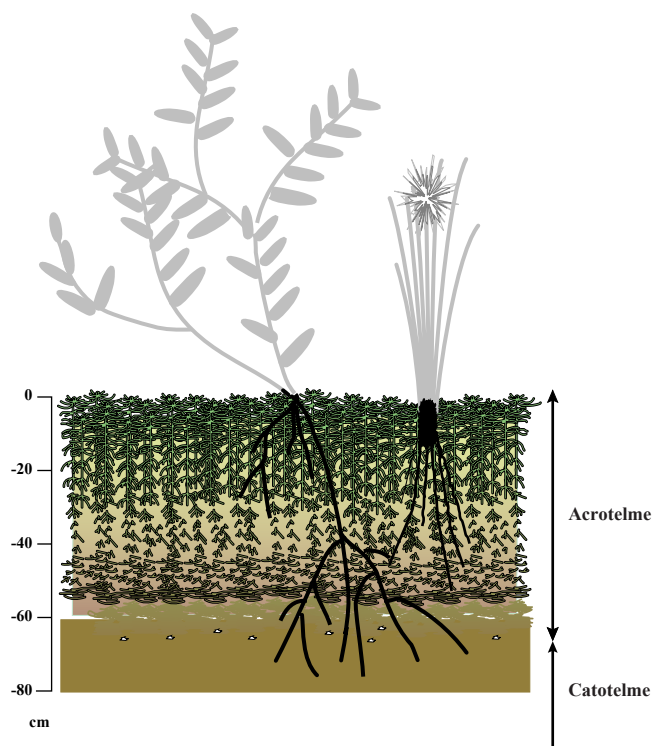


Figure 5. Croquis illustrant la structure de l'acrotelme et du catotelme. L'acrotelme représente la partie vivante des tourbières ombrotrophes. Il est composé de matériel lâche où les pores, alternativement remplis d'eau et d'air, occupent beaucoup d'espace. (Redessiné de Payette et Rochefort [2001] avec la permission des Presses de l'Université Laval.)

Les sphaignes dépendent de l'eau pour leur croissance et sont responsables de la formation de l'acrotelme. Celui-ci contribue en retour à maintenir la nappe phréatique près de la surface et fournit aux sphaignes les conditions nécessaires à leur croissance. Ce fragile équilibre entre la végétation et l'hydrologie est à la base du fonctionnement des tourbières ombrotrophes. Cependant, l'acrotelme est la première couche à être retirée par les méthodes actuelles d'extraction de la tourbe, ce qui cause un impact important en rompant cet équilibre. La restauration doit donc être amorcée à partir du catotelme, qui n'offre malheureusement pas des conditions adéquates à l'établissement et à la croissance des sphaignes. Le catotelme constitue un vaste réservoir d'eau par son épaisseur, mais en raison du compactage de la tourbe, la proportion occupée par l'eau est beaucoup moins élevée que dans l'acrotelme, où l'eau peut occuper de larges espaces. La perte d'un volume d'eau équivalent entraînera donc une plus grande baisse de la nappe phréatique dans

le catotelme que dans l'acrotelme, ce qui aura des conséquences néfastes pour les sphaignes. L'absence d'acrotelme doit donc être compensée par différentes techniques, telles que celles présentées dans ce guide. En d'autres termes, une tourbière ne sera fondamentalement restaurée que lorsque le nouvel acrotelme se sera développé.

Flux hydriques

Les tourbières à sphaignes ne sont alimentées en eau que par les précipitations atmosphériques (gain); l'eau peut être soit emmagasinée dans le dépôt de tourbe, soit quitter la tourbière. Ces flux hydriques peuvent être exprimés par l'équation suivante :

$$\text{Gain d'eau} - \text{Perte d'eau} = \text{Eau stockée}$$

Dans les tourbières naturelles, la perte en eau est en grande partie causée par l'évaporation, qui représente plus de 80 % de la perte d'eau durant l'été. De petites quantités d'eau sont aussi perdues par infiltration ou par le ruissellement en surface, surtout à la fonte des neiges. La différence entre les gains et les pertes d'eau représente l'eau qui se trouve emmagasinée dans la tourbière. L'extraction de la tourbe affecte les pertes d'eau et la capacité de stockage. Dans les tourbières en exploitation, les pertes augmentent et la quantité d'eau emmagasinée diminue. En restauration, il devient donc crucial de trouver des façons de limiter les pertes et de favoriser le stockage de l'eau.

Des études récentes montrent que le blocage des canaux de drainage est très efficace pour limiter les pertes d'eau dues au ruissellement et que l'utilisation d'un paillis réduit substantiellement les pertes causées par l'évaporation. Par contre, la disparition de l'acrotelme, la subsidence due au compactage de la tourbe suite au drainage et la décomposition de la tourbe résultant de son exposition à l'air réduisent considérablement la capacité de stockage de l'eau. Cette situation doit être contrebalancée en retenant le plus d'eau possible à l'intérieur des sites en restauration, par l'utilisation de digues par exemple. Il a été démontré que la surface d'un site en restauration s'était élevée à la suite du remouillage, suggérant qu'un certain volume d'eau avait été emmagasiné dans la tourbe résiduelle et que la capacité de stockage de l'eau pouvait être augmentée à court terme.

Tension de l'eau

Dans les tourbières, l'eau peut être emmagasinée de différentes façons : dans des plans d'eau à la surface de la tourbe ou dans des mares, sous forme d'eau libre présente dans l'acrotelme, ou sous forme d'eau emmagasinée dans les petits espaces poreux du catotelme. Dans les tourbières exploitées, les surfaces de tourbe mises à nu sont souvent maintenues humides par l'eau qui provient de la nappe phréatique et qui est amenée à la surface par capillarité le long des fibres de tourbe. En été, en conditions sèches, l'approvisionnement en eau par capillarité n'est pas assez rapide pour compenser les pertes subies en surface par l'évaporation. La capillarité est brisée et l'approvisionnement en eau stoppée. La surface de la tourbe devient alors très sèche et les mousses qui sont introduites pour la restauration ne peuvent plus être alimentées en eau, car la petite quantité d'eau restante dans la tourbe est trop fortement retenue par les particules. La succion qui retient l'eau autour des particules de tourbe est appelée la tension de l'eau. Ce problème d'accès à l'eau se limite aux mousses puisqu'elles n'ont pas de racines et qu'elles ne sont pas physiologiquement adaptées à surmonter une haute tension d'eau. Cela représente tout de

même un problème majeur en restauration des tourbières, puisque l'objectif est de rétablir un tapis composé principalement de sphaignes. L'utilisation d'un paillis aide à résoudre partiellement ce problème. Le couvert de paille abaisse la température du sol durant la journée et agit comme écran protecteur contre le rayonnement solaire. Cela réduit ainsi l'évaporation et la tension de l'eau à la surface de la tourbe, et permet aux sphaignes d'avoir accès à l'eau.

3 Restauration des tourbières

Cette section du *Guide de restauration des tourbières* présente une description détaillée des procédures proposées pour restaurer les tourbières résiduelles. Ces procédures ne sont en fait que des directives, qui devraient être adaptées aux conditions spécifiques du site.

Principes de la restauration

Puisque ce n'est que depuis peu que l'on s'intéresse à la restauration des tourbières, le développement de la présente approche s'appuie essentiellement sur quelques principes de base tirés d'observations sur le terrain et des connaissances scientifiques. Des expériences menées à petite et à grande échelle, ainsi que des essais sur le terrain, ont par la suite confirmé la pertinence de ces principes.

Impacts de l'extraction de la tourbe

Comme toute autre activité humaine, l'extraction de la tourbe a un impact sur l'environnement. Étant donné que l'extraction de la tourbe nécessite le drainage des tourbières ainsi que l'enlèvement de la végétation et d'une quantité variable de tourbe, il est clair que les impacts les plus importants affectent la végétation et l'hydrologie.

À l'arrêt des activités d'extraction, il n'existe pratiquement plus de matériel vivant sur les planches. La végétation initiale a été retirée et l'extraction périodique de la tourbe empêche l'établissement de nouvelles plantes. La recolonisation des planches abandonnées par des espèces propres aux tourbières est lente, car la source de graines ou d'autres diaspores se trouve souvent à des centaines de mètres de distance. À moins que des secteurs naturels de tourbière soient toujours présents, les graines disponibles ne proviennent pas d'espèces de tourbières, car les sites à restaurer sont souvent bordés de forêts ou de terres agricoles. Les graines qui atteignent la surface des planches connaissent des conditions de croissance difficiles. Les surfaces de tourbe mises à nu deviennent très sèches en été. Elles n'offrent aucune protection contre le vent, le soleil, etc.

Le drainage intensif associé aux activités d'extraction de la tourbe entraîne une baisse de la nappe phréatique. La disparition de l'acrotelme et le changement des propriétés physiques de la tourbe causés par la compression et la décomposition entraînent la réduction de l'espace disponible entre les particules de tourbe. Cela a pour effet de diminuer la capacité de stockage de l'eau contenue dans la tourbe et d'augmenter les fluctuations de la nappe phréatique.

On a cependant constaté qu'il existe généralement peu de différences chimiques majeures entre les tourbières naturelles et celles qui sont actuellement exploitées, à moins que les couches de tourbe profondes ou le substrat minéral aient été exposés.

Restauration naturelle — possible ou impossible?

Une étude menée au Québec et au Nouveau-Brunswick a montré que les sites ne retournent pas rapidement à leur état original si rien n'est fait une fois l'extraction de la tourbe terminée. En fait, on a trouvé que seulement 17 % des tranchées de tourbières exploitées anciennement par la coupe par blocs ont été recolonisées par les sphaignes, alors que sur les sites exploités avec les méthodes actuelles, les sphaignes sont pratiquement inexistantes. Cette situation est causée par des éléments défavorables qui empêchent l'établissement des plantes, notamment sur les planches où la tourbe est extraite par aspiration. Les principaux facteurs responsables sont l'exposition au soleil et au vent, la faible disponibilité en eau, l'érosion et le manque de graines, de spores ou de toute partie de plante pouvant régénérer un nouvel individu. Il est donc nécessaire d'intervenir pour augmenter les chances qu'un site évolue vers un écosystème de tourbière, et ce, dans un délai plus court.

But et objectifs de la restauration des tourbières

La restauration écologique est le processus qui permet d'apporter une aide au rétablissement d'un écosystème perturbé. C'est une activité qui est menée de façon intentionnelle, dans le but d'initier et d'accélérer le rétablissement d'un écosystème, en conformité avec sa structure, son intégrité et son utilisation¹. **Dans le cas des tourbières, le but de la restauration est de rétablir les fonctions originales de l'écosystème, pour permettre le retour d'un écosystème humide accumulateur de tourbe.** En d'autres termes, on vise le retour à un milieu humide accumulateur de tourbe qui pourra se maintenir sans intervention humaine supplémentaire, ce qui attestera de la réussite de la restauration. Il est bien évident que ce but ne peut être atteint à court terme, car il faut que l'acrotelme se reconstitue. Les plantes ont besoin de beaucoup de temps pour s'établir, pousser et produire des débris qui pourront s'accumuler sous forme de tourbe. La nappe phréatique devra être assez élevée pendant toute l'année pour ralentir la décomposition des parties de plantes mortes et provoquer leur accumulation.

Les objectifs sont les étapes plus concrètes à suivre pour atteindre le but visé. Les objectifs sont liés à des activités qui produisent, en peu de temps, des résultats quantifiables permettant de savoir si le site évolue dans le sens voulu. L'approche canadienne de la restauration de tourbières vise deux objectifs spécifiques :

1. Rétablir un couvert végétal dominé par des espèces propres aux tourbières, incluant les mousses de sphaignes;
2. Restaurer le régime hydrique des sites anciennement exploités, par l'élévation et la stabilisation du niveau de la nappe phréatique près de la surface.

Ces deux objectifs spécifiques se concentrent principalement sur la végétation et le régime hydrique des tourbières, car il s'agit des deux éléments qui sont les plus affectés lors de l'extraction de la tourbe. Ce sont aussi les éléments-clés responsables de la plupart des fonctions attribuées aux tourbières. La présente approche propose une procédure précise à appliquer pour atteindre ces deux objectifs.

¹Society for Ecological Restoration Science & Policy Working Group. 2002. *The SER Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org/

L'approche canadienne de la restauration des tourbières

L'approche proposée dans ce guide pour la restauration des tourbières privilégie la réintroduction active d'espèces de plantes propres aux tourbières et la gestion de l'eau, de manière à élever et stabiliser le niveau de la nappe phréatique. Elle comprend les opérations suivantes :

- Préparation du terrain
- Récolte des plantes
- Épandage des plantes
- Épandage de la paille
- Fertilisation
- Blocage des canaux de drainage

Cette approche présente des directives générales qui devront être adaptées aux conditions spécifiques retrouvées sur chaque site; c'est pourquoi il est important de comprendre les principes qui les régissent. La planification est un élément-clé du succès de la restauration. Il est essentiel de déterminer un but et des objectifs appropriés, de façon à mener les opérations avec le plus d'efficacité possible et à réduire les coûts reliés à la restauration.

Planification de la restauration

Tout projet de restauration devrait débuter par une planification minutieuse, pour s'assurer de bien identifier les options appropriées pour un site donné et évaluer le temps et les ressources requis pour leur mise en oeuvre. Il y a lieu de bien penser aux interventions à effectuer avant d'envoyer un tracteur sur le terrain pour commencer les travaux. La planification est aussi un facteur-clé pour évaluer le succès et le coût de la restauration. Un bon plan de restauration devrait comprendre deux parties :

- A. Description des conditions du site, du but et des objectifs;
- B. Planification des procédures nécessaires à la restauration.

La première étape consiste à identifier les conditions du site, car ces caractéristiques dictent le but à atteindre, soit la restauration ou le **réaménagement**. La deuxième étape consiste à définir les procédures devant être effectuées, à déterminer les ressources et le temps requis, ainsi qu'à établir un horaire et une évaluation des coûts.



Réaménagement

Le terme réaménagement est fréquemment utilisé dans le contexte des sites miniers désaffectés d'Amérique du Nord et du Royaume-Uni. Les principaux objectifs du réaménagement incluent la stabilisation du terrain, l'assurance que les lieux sont sécuritaires, l'amélioration esthétique et le retour à une vocation utile en fonction du contexte régional. La revégétalisation, qui est normalement une composante du réaménagement, peut comprendre l'établissement d'une ou de plusieurs espèces.

Conditions du site, but et objectifs

La présente approche a été développée spécifiquement pour la restauration des tourbières exploitées d'Amérique du Nord en s'appuyant sur le rétablissement d'un tapis muscinal comprenant les sphaignes et sur l'élévation et la stabilisation de la nappe phréatique près de la surface. Toutefois, les conditions varient beaucoup d'un site à l'autre, c'est pourquoi il est essentiel d'adapter les procédures générales en fonction de l'environnement local. La première étape consiste à amasser le plus d'informations possible sur les conditions d'un site, afin de définir le but et les objectifs à atteindre. Ces informations devraient inclure les éléments suivants :

- Caractéristiques de l'écosystème à son état naturel
- Conditions hydrologiques
- Topographie
- Caractéristiques de la tourbe
- Aspects chimiques
- Végétation existante
- Source de matériel végétal
- Milieu environnant
- But visé
- Objectifs visés
- Suivi de la restauration

Caractéristiques de l'écosystème à l'état naturel

Il existe plusieurs types de tourbières ombrotrophes. Elles peuvent être ouvertes ou forestières, avec ou sans mare, être composées d'une couche épaisse de tourbe de carex ou constituées de tourbe de sphaignes de bas en haut; elles peuvent être entourées de forêts ou situées en bordure d'établissements humains, de terres agricoles ou de la mer. Il est essentiel de connaître les caractéristiques originales d'une tourbière et de son environnement, puisqu'elles permettent de bien définir le but et les objectifs visés par la restauration et, par la suite, d'en évaluer le succès. Les conditions originales représentent **l'écosystème de référence** idéal vers lequel la restauration devrait tendre et auquel le site de restauration devrait être comparé. Il est possible que le site ne puisse plus supporter le même type de tourbière ou de milieu humide, en raison de changements régionaux dans l'utilisation du sol ou d'autres modifications dans le paysage environnant. Dans de tels cas, le réaménagement pourrait représenter une alternative plus appropriée, qui devrait logiquement être identifiée dès le début par l'analyse des caractéristiques du site.



Les caractéristiques de l'écosystème à son état naturel déterminent :

- le but à atteindre;
- les bons objectifs;
- l'évaluation du succès.

Des informations sur les conditions originales de la tourbière peuvent provenir de plusieurs sources :

- rapports géologiques, descriptions écologiques, cartes, études sur la végétation;
- photographies anciennes et récentes, aériennes ou prises au niveau du sol;
- travailleurs du milieu de la tourbe, gens de la région;
- évidences paléoécologiques, ex. pollen, dendrochronologie;
- tourbières naturelles locales similaires ou secteurs naturels de tourbières exploitées.



Écosystème de référence

Un écosystème de référence ou référence sert de modèle pour la planification d'un projet écologique de restauration et est ensuite utilisé pour l'évaluation de ce projet. Un écosystème de référence représente un stade d'évolution souhaité, par lequel le site de restauration devra passer à un certain moment. En d'autres termes, on s'attend à ce que l'écosystème restauré puisse éventuellement arriver à posséder les mêmes attributs que ceux de l'écosystème de référence. L'écosystème de référence peut donc être représenté par un ou plusieurs sites qui possèdent les caractéristiques visées, une description écrite de l'écosystème ou une combinaison des deux. Les informations amassées sur un écosystème de référence incluent les composantes biotiques et abiotiques.

La valeur de l'écosystème de référence augmente selon la quantité d'informations qu'il contient, mais chaque projet est limité par des contraintes de temps et d'argent. Un inventaire écologique de base qui décrit entre autres les caractéristiques principales de l'environnement abiotique, ainsi que les aspects importants de la biodiversité, tels que la composition des espèces et la structure de la communauté, représente le minimum d'informations à recueillir. Cet inventaire identifie normalement les événements régulateurs qui se produisent périodiquement et qui sont responsables du maintien de l'écosystème.

Conditions hydrologiques

La disponibilité de l'eau est prépondérante en restauration des tourbières, puisqu'il s'agit de milieux humides. Étant donné que les tourbières exploitées ont perdu leur habileté naturelle à emmagasiner l'eau et à régulariser les fluctuations de la nappe phréatique, des stratégies de gestion de l'eau doivent être mises en place, afin de réduire les pertes et fournir un approvisionnement en eau suffisant aux sphaignes et aux autres espèces de plantes réintroduites. Le plan de restauration devrait comprendre une carte identifiant les endroits où il pourrait y avoir des pertes d'eau par ruissellement en surface ou en profondeur (tableau 1). Les apports d'eau possibles devraient aussi être cartographiés, tout comme l'emplacement des canaux principaux et secondaires, du blocage des canaux et des digues. Il faut aussi prévoir l'impact éventuel du remouillage sur les planches où on récolte encore de la tourbe. La présence d'affleurements des couches minérales et toute autre possibilité d'infiltration d'eau à travers le sol devraient être notées, car il pourrait s'avérer nécessaire de recourir à des mesures spéciales pour empêcher les pertes d'eau. Dans des situations plus complexes, il faut parfois utiliser des options de gestion de l'eau plus élaborées que le simple blocage du système de drainage. Par exemple, il se peut que le canal principal qui longe le site de restauration soit encore actif. Dans un tel cas, il faut envisager la possibilité de rediriger l'eau vers un autre canal ou de creuser un nouveau canal. La présence de grands secteurs naturels adjacents au site de restauration doit aussi être prise en compte, puisqu'ils représentent une importante source d'eau, qui peut même causer des inondations.

Tableau 1. Les pertes et les sources d'eau les plus courantes sur un site de restauration

Pertes d'eau

Canal principal actif situé à proximité
Zone exploitée activement
Affleurement de dépôt sableux
Perforation de la couche
imperméable dans les canaux de drainage

Sources d'eau

Bassin ou canal situé à proximité
Zone naturelle
Pluie/neige
Pompage

Un approvisionnement en eau additionnel ne devrait pas être écarté pour assurer un remouillage suffisant. Par exemple, l'eau provenant du drainage des surfaces exploitées peut être redirigée vers un site de restauration. Le blocage partiel, à mi-hauteur, des canaux peut aussi suffire à élever le niveau de la nappe phréatique d'un site, sans pour autant affecter les planches exploitées en amont. Dans certains cas, il est possible de pomper de l'eau à partir d'un canal et de l'envoyer vers le site de restauration. Dans ce cas, les caractéristiques chimiques de l'eau doivent être similaires à celles rencontrées dans un environnement de tourbière, avec un pH peu élevé (< 5,0) et une faible conductivité électrique (< 100 µSiemens, valeur corrigée). En toute circonstance, l'eau qui entre dans un site en restauration devrait être contrôlée, afin d'éviter les inondations prolongées et l'érosion par le ruissellement. L'eau peut aussi être dirigée dans des

bassins ou des canaux adjacents au site, de manière à alimenter les eaux souterraines et maintenir le niveau de l'eau près de la surface.



Les conditions hydrologiques déterminent :

- la préparation du terrain et le blocage des canaux de drainage;
- le choix entre la restauration et le réaménagement.

Regarder :

- les possibilités de pertes d'eau;
- les sources d'eau potentielles et leurs caractéristiques chimiques;
- l'emplacement futur du blocage des canaux de drainage.

Topographie

En restauration des tourbières, il est important de répartir l'eau le plus également possible sur tout le site et d'éviter la création de secteurs inondés en permanence ou trop secs. L'écoulement de l'eau à la surface perturbe aussi le matériel végétal réintroduit et le paillis protecteur épandu lors des procédures de restauration. La topographie influence directement la répartition et les mouvements de l'eau; il est généralement nécessaire de recourir à des mesures appropriées pour contrer les effets de pentes trop fortes. Lorsque les planches sont en pentes, il est nécessaire de construire des digues le long des courbes de niveau, de façon à répartir l'eau sur tout le site et prévenir l'apparition de conditions sèches au sommet des pentes et l'inondation au bas de celles-ci. La création de mares ou de réservoirs d'eau peut aider à contrôler les inondations, car elles ont la capacité d'emmagasiner une partie de l'excès d'eau. Une évaluation globale des pentes est généralement suffisante pour déterminer la position des digues, sauf dans le cas de grands sites avec des pentes complexes, qui nécessitent une analyse plus approfondie (voir Préparation du site).

À une autre échelle, il faut tenir compte de la topographie des planches à restaurer. La plupart de celles-ci ont un profil bombé (convexe) pour favoriser le drainage rapide de l'eau. Ces planches doivent être aplanies de façon à ce que l'eau puisse être répartie sur toute la surface; la modification du profil des planches est une procédure importante de la restauration de tourbières.



La topographie détermine :

- les procédures pour la préparation du site;
- l'utilisation et l'emplacement des digues;
- l'utilisation et l'emplacement des mares.

Regarder :

- les pentes du site;
- les planches au profil convexe.

Caractéristiques de la tourbe

Un bon plan de restauration devrait contenir des informations sur les caractéristiques de la tourbe telles que : l'épaisseur de la couche résiduelle, sa composition botanique (tourbe de sphaignes, tourbe de carex, etc.) et son degré de décomposition sur l'échelle de von Post (voir Annexe C). Ces informations sont essentielles pour choisir l'option appropriée. Lorsque la couche de tourbe est mince, les racines des plantes peuvent facilement entrer en contact avec le substrat minéral et les eaux souterraines enrichies en éléments nutritifs, ce qui favorise l'établissement d'espèces indésirables qui pourraient nuire aux plantes de tourbières. De plus, la faible capacité de stockage de l'eau de la tourbe décomposée procure des conditions très sèches à la surface qui sont désavantageuses pour les sphaignes. Par conséquent, un site où il ne reste plus qu'une mince couche de tourbe très décomposée offrira peu de possibilités pour la restauration. Dans un tel cas, il serait préférable d'opter pour une forme de réaménagement.

On estime qu'une couche de tourbe d'une épaisseur d'au moins 50 cm est nécessaire pour la restauration, mais il existe des endroits où des conditions de tourbière ombrotrophe sont encore présentes avec une épaisseur de tourbe moindre. En fait, il est préférable de s'en remettre à la chimie et à la composition botanique de la tourbe. Il est fréquent de rencontrer des dépôts de tourbe de carex de faible épaisseur au bout de planches situées à la marge d'une tourbière, offrant des conditions plus favorables au réaménagement qu'à la restauration.

Les caractéristiques de la surface de la tourbe doivent aussi être examinées avant d'entreprendre la préparation du terrain. Il reste souvent une couche de tourbe meuble issue d'un dernier hersage de la surface des planches à l'arrêt des activités d'extraction. Cette couche de tourbe meuble est instable et très sensible aux processus d'érosion et de **soulèvement gélival**, phénomène causé par les cycles de gel et de dégel qui rend les surfaces encore plus instables et défavorables à l'établissement des plantes (figures 6 et 7). Un autre phénomène qui apparaît sur les planches abandonnées est la formation d'une fine croûte, ou encroûtement, qui empêche les fragments de mousses d'avoir accès à l'eau. On ne sait pas comment cette croûte se forme, mais elle pourrait être issue de l'oxydation de la tourbe, de la prolifération de micro-organismes ou du développement d'algues ou d'hépatiques. La présence de tourbe meuble et l'encroûtement empêchent les fragments végétaux d'avoir accès à l'eau qui provient du dépôt tourbeux sous-jacent par capillarité. En présence de n'importe lequel de ces phénomènes – tourbe meuble, encroûtement ou soulèvement gélival – il est suggéré de gratter ou de rafraîchir la surface de la tourbe avant d'épandre les fragments végétaux.

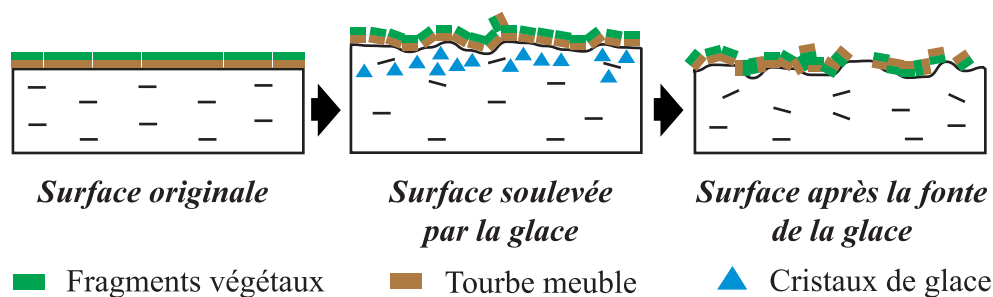


Figure 6. Diagramme illustrant les perturbations causées par le soulèvement gélival aux surfaces de tourbe et aux fragments de plantes qui s'y trouvent.



Les caractéristiques de la tourbe déterminent :

- le choix entre la restauration et le réaménagement;
- les procédures de préparation du terrain;
- la possibilité de création de mares.

Regarder :

- l'épaisseur de la tourbe;
- le type de tourbe (tourbe de sphaigne, tourbe de carex, etc.);
- le degré de décomposition (échelle de von Post);
- la présence de matériel minéral à la surface et le type de matériel (argile, sable, etc.);
- la présence de tourbe meuble, de soulèvement gélival ou d'encroûtement à la surface des planches.



Soulèvement gélival

Le soulèvement gélival se produit au printemps et à l'automne, lorsque la température oscille autour du point de congélation et lorsque le contenu en eau du sol est suffisant. Lorsque les températures glaciales pénètrent la surface de la tourbe, habituellement à la tombée de la nuit, le front de gel a pour effet d'attirer l'eau du sol qui gèle au contact de celui-ci, entraînant la formation d'aiguilles ou de lentilles de glace. Les particules de tourbe de la surface et les fragments végétaux réintroduits sont alors soulevés par la glace. Quand la glace fond, généralement le jour suivant, les particules de tourbe et les fragments végétaux redescendent. L'action répétée de ce processus ameublir la tourbe, mêle les fragments végétaux à la tourbe et empêche leur enracinement. Cela peut même briser les tapis de mousses nouvellement établis. Le soulèvement gélival amène la création d'une microtopographie très particulière.

Aspects chimiques

La chimie de l'eau et de la tourbe devrait être analysée pour s'assurer que les conditions sont appropriées à l'établissement des plantes de tourbières. Pour la plupart des sites, une simple analyse du pH et de la conductivité électrique permet de dire si des conditions ombrotrophes sont encore présentes. Il est recommandé d'avoir un pH égal ou inférieur à 5,1 et une conductivité inférieure à 100 S/cm pour la restauration. Si les valeurs sont plus élevées, il serait approprié de considérer la restauration en faveur d'un autre type de milieu humide (fen, marais, marécage) ou d'opter pour le réaménagement. Il existe des sites avec un pH de la tourbe de 5, où des sphaignes poussent en compagnie d'espèces de milieux plus riches, notamment des carex. Il est conseillé de procéder à une analyse plus détaillée quand les couches profondes de tourbe sont atteintes ou lorsqu'on soupçonne un enrichissement. Des concentrations relativement élevées de calcium sont néfastes pour les sphaignes et tout enrichissement en éléments nutritifs favorise l'établissement d'espèces indésirables.



Les aspects chimiques déterminent :

- le choix entre la restauration et le réaménagement;
- les possibilités d'invasion par les espèces indésirables.

Regarder :

- le pH et la conductivité électrique de l'eau et de la tourbe;
- les signes d'enrichissement en éléments nutritifs.



Figure 7. Photo montrant la microtopographie qui se forme à la surface de la tourbe suite au soulèvement gélival. (Photo : F. Quinty)

Végétation existante

Les sites où l'extraction de tourbe a cessé depuis plusieurs années sont souvent colonisés par diverses communautés végétales. Lorsque les plantes couvrent la presque totalité de la surface d'un site, il peut être trop tard pour le restaurer. En présence d'une végétation clairsemée, composée de quelques arbres et d'autres plantes, les choix qui s'offrent sont d'éliminer la végétation ou de la conserver. En toutes circonstances, les espèces présentes devraient être identifiées, car elles représentent une source inestimable de renseignements sur les caractéristiques chimiques et hydrologiques d'un site.

On en connaît encore bien peu sur l'influence à long terme des espèces envahissantes sur la restauration des tourbières. La multiplication des projets de restauration deviendra une source importante d'information à ce sujet.



La végétation existante détermine :

- le choix entre la restauration et le réaménagement;
- les procédures de préparation du terrain.

Regarder :

- les espèces dominantes (espèces de tourbières ou non);
- le couvert végétal (dense, dispersé, etc.);
- les espèces qui ont une valeur indicatrice en enrichissement minéral (ex. quenouilles);
- les espèces situées à l'intérieur ou autour du site de restauration qui pourraient s'avérer envahissantes.

Source de matériel végétal

Puisque l'approche canadienne de la restauration des tourbières compte sur l'introduction active de plantes propres aux tourbières, une source suffisante de matériel végétal est nécessaire pour réaliser un projet de restauration. La quantité de matériel végétal à utiliser lors de la restauration a été testée expérimentalement pour :

- assurer l'établissement rapide d'un nouveau tapis muscinal sur le site de restauration;
- limiter le travail requis pour la récolte et le transport des plantes;
- limiter les impacts sur les sites naturels.

La façon proposée pour évaluer la quantité de matériel végétal requis est d'utiliser le rapport entre la surface du site d'emprunt et la surface du site à restaurer. Un rapport de 1:10 est suggéré, c'est-à-dire que le site d'emprunt doit être dix fois plus petit que le site à restaurer. Cette estimation demeure approximative, mais elle tient quand même compte des pertes qui surviennent durant la récolte et le transport du matériel végétal. Par conséquent, la **taille du site à restaurer** est une donnée importante pour la planification de la restauration, car elle détermine la taille du site d'emprunt. Les dimensions des planches sont habituellement connues et cette information peut être facilement calculée.

La présence de communautés végétales adéquates est le facteur le plus important dans le choix du site d'emprunt. La qualité du matériel végétal, en regard des espèces de plantes, est un élément-clé du succès de la restauration. Quelques espèces de plantes peuvent être utilisées pour déterminer si un site d'emprunt est approprié (voir Clé d'identification des sites d'emprunt). La réintroduction d'espèces de sphaignes qui forment la tourbe est essentielle pour rétablir un écosystème de tourbières, tandis que d'autres mousses, comme le polytric, contribuent substantiellement au succès de la restauration. Un site où ces plantes dominent est idéal, tandis qu'un site où il y a absence complète de sphaignes devrait être mis de côté. La présence de certaines espèces de carex et d'arbustes peut aussi aider à déterminer si un site d'emprunt est approprié pour la restauration. En toutes circonstances, il est préférable de récolter le matériel végétal près du site de restauration afin de limiter le transport.



La source de matériel végétal détermine :

- le choix entre la restauration et le réaménagement;
- les procédures de récolte des plantes.

Regarder :

- la superficie du site de restauration;
- la superficie du site d'emprunt;
- la présence et l'abondance des sphaignes;
- l'accès au site d'emprunt.



Taille du site à restaurer

Il est fortement recommandé de restaurer de grandes surfaces. Aucune taille minimale n'a été définie, mais les travaux de recherche suggèrent que la restauration de grands sites a un meilleur taux de réussite, surtout en regard des conditions hydrologiques. Il est peu probable d'arriver à élever la nappe phréatique et de créer des conditions hydrologiques adéquates à l'établissement des plantes sur quelques planches entourées de secteurs encore en exploitation. On doit tenir compte qu'un canal de drainage abaisse le niveau de la nappe phréatique sur une distance d'environ 15 m, et que cette influence négative se fera sentir sur les plantes situées à la périphérie du site de restauration bordé par le canal. Si on estime que cela affecte une trop grande proportion du site de restauration, celle-ci devrait être retardée jusqu'à ce que quelques planches adjacentes soient abandonnées. La restauration des conditions hydrologiques a plus de chance de succès si le canal principal peut être bloqué.

Milieu environnant

Le milieu environnant et les activités humaines influencent le potentiel de restauration d'un site. Par exemple, il est difficile de restaurer une tourbière entourée de terres consacrées à l'agriculture, car le drainage agricole peut abaisser le niveau de la nappe phréatique à l'échelle régionale. D'un autre côté, l'examen des alentours peut mener à l'identification de petites tourbières pouvant servir de site d'emprunt.



Le paysage environnant détermine :

- le choix entre la restauration et le réaménagement;
- les possibilités de sources d'eau additionnelles;
- les possibilités de sources de matériel végétal.

Regarder :

- les changements dans l'utilisation du sol;
- le réseau de drainage régional;
- la présence d'autres tourbières.

But visé

En Amérique du Nord, la plupart des sites de restauration présentent des conditions assez proches de celles des tourbières naturelles pour permettre la restauration de tourbières ombrotrophes à partir des planches où l'extraction de la tourbe a cessé. Cependant, certaines portions de tourbières, souvent celles localisées en bordure ou celles comportant une épaisse couche de tourbe de carex, peuvent présenter des conditions qui nécessitent le choix d'options autres que la restauration. Ces conditions sont le plus souvent rencontrées dans le centre et l'ouest du continent. Il est important de définir soigneusement le but visé (restauration d'un fen, sylviculture, etc.) dès le départ, car s'ils s'avèrent inappropriés aux conditions d'un site, tous les efforts consentis pourraient être inutiles et mener à l'échec. La caractérisation du site représente donc une étape incontournable dans le processus de restauration, parce que c'est la seule façon de s'assurer que la restauration écologique est l'option la plus appropriée pour un site donné. L'analyse des données amassées lors de la planification devrait permettre de répondre à la question suivante :

Est-il possible et réaliste de restaurer un environnement de tourbière ombrotrophe par l'application de l'approche de la restauration proposée, compte tenu des conditions propres au site?

Si la réponse est NON, une autre option devrait être envisagée.

Objectifs visés

Les conditions du site permettent aussi de déterminer les objectifs spécifiques à atteindre à court terme. Les conditions hydrologiques et les communautés végétales que l'on s'attend à retrouver quelques années après la fin des travaux de restauration devraient être définies à l'étape de la planification, selon les caractéristiques du site. Par exemple, il est réaliste d'arriver à élever le niveau de la nappe phréatique près de la surface et de rétablir des espèces de tourbières sur un site entouré de zones naturelles. Par contre, il serait impensable de définir de tels objectifs pour un site qui ne possède aucun fragment naturel ou qui est sévèrement affecté par le drainage agricole.

Il est aussi important de bien définir les objectifs, parce qu'ils serviront de référence, par la suite, dans l'évaluation du succès de la restauration. Les différentes informations amassées lors de la planification devraient pouvoir aider à répondre aux questions suivantes :

- Est-ce que la nappe phréatique pourra être maintenue près de la surface?
- Les conditions sont-elles sèches au point que le niveau d'eau restera à une trop grande profondeur?
- Est-il possible de créer des conditions appropriées pour l'établissement de sphaignes?
- Quelles communautés végétales sont susceptibles de s'établir?

Le fait de répondre à ces questions permet de déterminer avec plus de précision ce qui devrait être effectué sur le site et de vérifier comment les procédures générales devront être adaptées aux conditions spécifiques de ce dernier. Par exemple, si l'eau est facilement disponible et que la nappe phréatique a tendance à s'élever rapidement, il sera préférable de ne bloquer les canaux de drainage qu'à la fin des opérations de restauration.

Suivi de la restauration

Il est primordial d'effectuer le suivi de la restauration selon un calendrier réaliste qui tienne compte que la restauration d'un écosystème est un processus qui demande du temps. Dans le cas des tourbières, la reconstitution d'un acrotelme est l'aboutissement d'un processus qui prend plusieurs années. Toutefois, l'établissement d'un tapis végétal presque complet dominé par des espèces de tourbière incluant les sphaignes, ainsi que la stabilisation de la nappe phréatique près de la surface sont des objectifs qui peuvent être atteints après environ cinq ans. Le suivi d'un site ne devrait débuter qu'à la deuxième année suivant la fin des travaux de restauration. Son évolution vers un écosystème de tourbière ne pourra être déterminé que lorsque deux ou trois inventaires de la végétation et des conditions hydrologiques auront été effectués.

Planification des opérations

La deuxième composante d'un bon plan de restauration consiste en la planification des opérations de restauration. La planification minutieuse des opérations est un facteur très important pour la réussite de la restauration car :

1. Elle permet d'intégrer les travaux de restauration aux opérations usuelles d'exploitation de la tourbe. Par exemple, la restauration de planches abandonnées et l'ouverture de nouvelles planches peuvent être effectuées conjointement, car cela permet la récolte du matériel végétal sur les planches en préparation. L'accès à ces nouvelles planches et la circulation de la machinerie seront plus faciles une fois que les canaux auront été creusés.
2. Elle garantit que l'opération la plus appropriée est effectuée au bon endroit, au bon moment et de la bonne façon. Le succès de l'établissement des plantes dépend d'une série de détails qui sont associés à chaque opération. Il ne faut pas oublier que l'on travaille avec du matériel biologique vivant. Une négligence a généralement peu d'impact, tandis qu'une série d'erreurs peut mener à l'échec de la restauration. Voici quelques exemples de détails dont il faut tenir compte :
 - a. Une fois que le matériel végétal a été déchiqueté sur le site d'emprunt à l'aide d'un rotoculteur, il doit aussitôt être ramassé et empilé. Il y a un certain risque à attendre quelques jours, car les fragments végétaux sèchent rapidement, ce qui réduit leur potentiel de régénération.
 - b. Éviter de circuler sur le matériel végétal qui vient tout juste d'être répandu sur les planches avant que celui-ci n'ait été recouvert d'un paillis protecteur, car cela risque de mélanger les fragments végétaux à la tourbe, de les briser ou encore de les enterrer. En pareil cas, l'établissement d'un tapis végétal se fera beaucoup plus lentement et certaines zones pourraient rester dénudées.
 - c. Appliquer la bonne quantité de paille. L'application d'une quantité insuffisante de paille réduit le coût de la restauration à court terme, mais le manque de paillis risque de ne pas offrir une protection adéquate aux fragments végétaux, ce qui pourrait sérieusement affecter leur établissement.
3. Elle permet d'obtenir de l'équipement et des matériaux de bonne qualité, au moment voulu. Le temps passé sur les planches à attendre le bon équipement ou la paille est du temps perdu. Cela peut aussi affecter la réussite de la restauration si les fragments végétaux ne sont pas recouverts d'un paillis protecteur dans un bref délai, faute de paille. La paille et l'équipement requis peuvent être difficiles à trouver dans certaines régions, particulièrement là où l'agriculture est moins intensive. Par exemple, dans la péninsule acadienne du Nouveau-Brunswick, on a beaucoup de difficulté à trouver de grandes quantités de paille. Quelqu'un pourra probablement trouver la quantité dont il a besoin à la dernière minute, mais à quel prix? Dans ce cas, la planification permet de prévoir à l'avance des contacts avec des agriculteurs locaux, de façon à les encourager à cultiver du grain pour produire une plus grande quantité de paille. Considérant la quantité de paille requise pour la restauration, cela pourrait résulter en une réduction substantielle du coût de la restauration.

4. Elle permet de recueillir des données sur le déroulement des opérations et de faire progresser le développement des techniques de restauration des tourbières. Toutes les informations recueillies, telles que les caractéristiques du site avant l'extraction de la tourbe, la végétation du site d'emprunt, le temps requis pour effectuer les travaux et les détails du déroulement des opérations, pourront être centralisées dans une banque de données. L'analyse de ces éléments, en plus des données recueillies sur l'établissement des plantes et le régime hydrologique des sites, aideront à identifier les facteurs responsables du succès ou de l'échec de la restauration. C'est la diversité des différents projets de restauration qui permettra de développer et d'améliorer les techniques de restauration des tourbières.
5. Elle diminue le coût de la restauration. Si toutes ces recommandations sont mises en pratique, la planification réduira assurément le coût de la restauration. Tout le monde bénéficiera d'un coût peu élevé et chacun des nouveaux projets de restauration aidera à améliorer les techniques de restauration.

Les opérations décrites dans le guide ne sont en fait que des directives générales. Elles doivent être adaptées aux conditions locales qui ont été définies lors de la phase de planification. Le temps et les ressources requises, ainsi que les détails de l'exécution devraient être déterminés aussi précisément que possible, pour chacune des opérations. **Le moment d'exécution des travaux** est aussi un élément important, car les opérations doivent être effectuées selon un ordre bien précis. Certaines opérations peuvent être exécutées à n'importe quel moment de l'année, tandis que d'autres doivent être menées à des périodes spécifiques. Pour s'assurer que rien n'est oublié et que tout est effectué correctement, cette partie du plan de restauration devrait inclure les éléments suivants :

- carte du site montrant l'emplacement du site d'emprunt, des digues, des mares, etc.;
- liste des opérations avec pour chacune :
 - description de l'opération;
 - ressources humaines requises;
 - équipements requis;
 - matériel requis;
 - évaluation du coût;
- établissement d'un calendrier de mise en oeuvre.

Le *Guide de référence rapide* inclus dans le présent guide est conçu pour faciliter la planification des opérations, puisqu'il en résume les éléments essentiels. Il est recommandé de l'utiliser lors de la planification. Des formulaires facilitant la prise de notes lors de la planification et de la réalisation des travaux sont présentés à l'Annexe D.



Le moment d'exécution des travaux

La restauration d'un secteur de tourbière devrait être effectuée le plus tôt possible après la fin de l'extraction de la tourbe. Remettre la restauration à plus tard requiert des opérations additionnelles et entraîne une hausse des coûts, en plus de réduire les chances de réussite. Avec le temps, les conditions se détériorent : perte de la capacité de stockage de l'eau causée par l'oxydation et la décomposition de la tourbe, phénomène de soulèvement gélival, formation d'une croûte, etc. Plus le temps passe et plus on risque que des espèces de plantes indésirables envahissent le site. Si un site ne peut être restauré rapidement, il vaut mieux en bloquer le drainage et herser les surfaces pour limiter leur dégradation.

Préparation du site

Le but de la préparation du site est d'améliorer les conditions d'établissement et de croissance des fragments végétaux qui seront réintroduits plus tard, notamment en assurant une bonne disponibilité et une répartition égale de l'eau. De façon concrète, la préparation du terrain vise à remodeler les planches dont le profil avait d'abord été façonné pour permettre le drainage et le dessèchement des surfaces de tourbe. La préparation du terrain implique habituellement plusieurs opérations.

Les objectifs spécifiques visés par la préparation du site sont basés sur des principes généraux qui doivent être pris en compte tout au long d'un projet de restauration. Ces objectifs spécifiques sont les suivants :

- Retenir le plus d'eau possible à l'intérieur du site, car les plantes des tourbières ont besoin d'eau. Il faut compenser la diminution de la capacité originale de rétention de l'eau de la tourbière.
- Assurer une répartition de l'eau la plus uniforme possible sur le site en utilisant des options de gestion active de l'eau, telles que le nivellement des planches et la construction de digues lorsque cela est nécessaire. En fait, il est essentiel de remodeler les sections plus élevées pour empêcher leur dessèchement et de corriger les dépressions afin de limiter leur inondation. Le profil des planches a été modifié de façon à drainer l'eau vers les canaux secondaires et, plus loin, vers les canaux principaux. Cette situation doit absolument être renversée d'une quelconque façon.
- Éviter les inondations s'échelonnant sur de trop longues périodes ou à une trop grande profondeur, pour éviter les perturbations physiologiques occasionnées aux plantes.
- Éviter l'inondation sur de grandes surfaces, car l'action des vagues peut perturber l'établissement des fragments végétaux et du paillis.
- Retirer la tourbe meuble et la croûte à la surface de la tourbe, car elles empêchent le contact entre les fragments végétaux et le substrat tourbeux. Les fragments végétaux comptent sur la capillarité pour leur approvisionnement en eau; des surfaces planes et propres assurent un meilleur contact avec le substrat tourbeux humide. La tourbe meuble peut être le résultat du hersage, du soulèvement gélival et de la décomposition de la tourbe.
- Enlever ou utiliser la végétation présente sur le site, tout dépendant du type et de la densité des espèces de plantes qui le colonisent.

Il existe différentes façons de rencontrer ces objectifs, mais plusieurs opérations sont habituellement requises pour améliorer et fournir des conditions adéquates à l'établissement des plantes. Le choix d'appliquer une ou plusieurs de ces options sur un site dépend principalement des conditions spécifiques de celui-ci ainsi que des informations recueillies lors de la planification. Le tableau 2 présente une liste d'options pour la préparation d'un site et résume les situations auxquelles elles s'appliquent ainsi que les avantages qu'elles procurent.

Le blocage des canaux de drainage est la première chose qui nous vient à l'esprit lorsque l'on pense à retenir le plus d'eau possible à l'intérieur d'un site, mais il est considéré comme une opération

distincte qui sera traitée dans une section qui lui est entièrement consacrée. La construction de digues implique toutefois le blocage des canaux de drainage, ce qui peut entraîner l'élévation rapide du niveau d'eau sur tout le site. En général, le blocage des canaux de drainage ne cause pas trop de problèmes sur les sites bordés par des terres bien drainées. Pour les sites bordés par des tourbières naturelles, le blocage des canaux peut causer une élévation rapide de la nappe phréatique et rendre le site impraticable pour la machinerie. Lorsque de telles situations risquent de se produire, les digues peuvent être laissées ouvertes lorsqu'elles croisent les canaux, et n'être refermées qu'à la fin des opérations.

Une façon de retenir l'eau et d'empêcher les **inondations** prolongées consiste à créer des plans artificiels d'eau libre. Ceux-ci servent de réservoirs qui absorbent le surplus d'eau et offrent une source d'eau lors de conditions sèches. Les plans d'eau peuvent être créés soit en laissant des canaux ouverts ou bien en creusant des mares (voir *Création de mares*).



Inondations

Le climat nord-américain est caractérisé par de longs hivers durant lesquels les précipitations tombent sous forme de neige et s'accumulent au sol. La fonte de toute cette neige se produit habituellement sur une courte période de temps, libérant de grandes quantités d'eau et provoquant l'inondation de plusieurs sites.

Des études récentes montrent que les inondations ne sont pas nuisibles aux mousses et qu'elles peuvent en fait favoriser leur établissement. Toutefois, une inondation prolongée (> 1 mois) ou qui se produit à une trop grande profondeur (> 20 cm) pourrait avoir des effets négatifs, tels que des perturbations physiologiques pour les fragments de plantes ainsi que le déplacement du paillis. L'action des vagues sur de grandes surfaces peut causer l'érosion et le bris des digues. L'écoulement des eaux de fonte peut également entraîner de l'érosion. Ces problèmes sont toutefois temporaires, car une fois bien établis, les nouveaux tapis végétaux sont très résistants aux perturbations associées aux surplus d'eau.

Modification du profil des planches

Les planches au profil convexe sont une caractéristique commune des tourbières exploitées, car elles favorisent le drainage rapide de l'eau de surface. Si les planches sont laissées dans cet état, leur partie centrale aura tendance à rester sèche et les plantes auront de la difficulté à s'y établir. On doit donc aplanir ces planches, de manière à empêcher l'évacuation rapide de l'eau et favoriser une meilleure répartition de celle-ci. Les planches à la topographie irrégulière devraient aussi être remodelées, car les buttes et tout autre élément positif du relief resteront plus secs que les autres portions des planches. Les inondations fréquentes et prolongées dans les dépressions créent aussi des conditions défavorables à l'établissement des plantes. Enfin, aplanir les planches permet de gratter la surface de la tourbe et d'améliorer les conditions d'établissement des plantes en éliminant la tourbe meuble et l'encroûtement.

Tableau 2. Options de préparation des sites en fonction des situations auxquelles elles s'appliquent et des avantages qu'elles procurent

<i>Options de préparation</i>	<i>Avantages</i>	<i>Caractéristiques du site</i>
<i>Modification du profil des planches</i>	• Favorise une meilleure répartition de l'eau • Enlève la tourbe meuble et l'encroûtement	• Planches au profil convexe • Sites avec dépressions ou buttes
<i>Remplissage des canaux de drainage</i>	• Facilite la circulation de la machinerie • Enlève la tourbe meuble et l'encroûtement • Enlève la végétation indésirable	• Courtes planches • Présence de tourbe meuble ou d'encroûtement • Sites colonisés par la végétation
<i>Construction de digues périphériques</i>	• Retient l'eau à l'intérieur du site • Agit comme brise-vent	• Applicable autour de la plupart des sites ou des sections à l'intérieur d'un site
<i>Construction de digues perpendiculaires à la pente</i>	• Retient l'eau à l'intérieur du site • Favorise une meilleure répartition de l'eau • Évite les inondations sur de larges surfaces • Enlève la tourbe meuble et l'encroûtement • Agit comme brise-vent	• Sites en pente • Planches longues (> 100 m)
<i>Construction de digues en damier</i>	• Retient l'eau à l'intérieur du site • Favorise une meilleure répartition de l'eau • Évite les inondations sur de larges surfaces • Enlève la tourbe meuble et l'encroûtement • Agit comme brise-vent	• Sites en pente • Sites avec des pentes complexes
<i>Création de bassins</i>	• Retient l'eau à l'intérieur du site • Favorise une meilleure répartition de l'eau • Limite les inondations sur de larges surfaces • Enlève la tourbe meuble et l'encroûtement • Agit comme brise-vent	• Sites secs et plats • Sites avec une épaisseur de tourbe résiduelle d'au moins 1 m
<i>Grattage de la surface de la tourbe</i>	• Enlève la tourbe meuble et l'encroûtement	• Sites avec de la tourbe meuble ou un encroûtement
<i>Destruction de la végétation présente</i>	• Facilite la circulation de la machinerie • Préviend l'invasion d'espèces indésirables	• Sites envahis par des arbres et des espèces n'appartenant pas aux tourbières
<i>Utilisation de la végétation actuelle</i>	• Aide à protéger les fragments de plantes • Augmente la biodiversité et la valeur écologique du site	• Sites colonisés par des espèces propres aux tourbières
<i>Blocage des canaux de drainage</i>	• Retient l'eau à l'intérieur du site	• Tous les sites dont les canaux sont encore actifs

Le fait d'aplanir les planches nécessite le déplacement d'un volume variable de tourbe, habituellement à partir du centre des planches vers les côtés. Pour effectuer cette opération, plusieurs équipements peuvent être utilisés, mais aucun ne donne d'aussi bons résultats qu'une niveleuse (vis sans fin), car cet appareil crée des surfaces égales et régulières. D'autres équipements, par exemple une chargeuse, ont tendance à créer une topographie irrégulière ou une rugosité à la surface de la tourbe, et sont moins efficaces. La tourbe grattée en surface peut être réutilisée pour la construction de digues ou placée dans les canaux. Il est recommandé d'utiliser la tourbe pour la construction de digues, parce qu'il est préférable de laisser les canaux ouverts, ce qui augmente la capacité de stockage de l'eau et contribue à la restauration de la biodiversité en créant des espaces d'eau libre.

Remplissage des canaux

Le fait de remplir ou de laisser les canaux ouverts offre des avantages contradictoires, ce qui complique le choix entre les options. Le remplissage des canaux facilite la circulation de la machinerie, puisque qu'il permet aux tracteurs de circuler dans tous les sens. Par contre, les plans d'eau que peuvent former les canaux ouverts augmentent la biodiversité et aident à stabiliser la nappe phréatique. Le choix de l'une de ces options est souvent imposé par les conditions spécifiques du site. Par exemple, le remplissage des canaux peut être nécessaire sur de courtes planches pour permettre le travail de la machinerie. Une solution pratique est la conjugaison des deux options, comme par exemple en remplissant un canal sur deux, ou en remplissant les canaux sur quelques mètres de part et d'autre des digues, ce qui facilite la circulation de la machinerie.

Les canaux sont généralement remplis en poussant la tourbe des surfaces environnantes à l'aide de divers équipements, comme une niveleuse ou une chargeuse, et en la compactant. Cette opération se fait en même temps que d'autres opérations, comme le grattage de la tourbe meuble en surface ou le remodelage des planches. Les canaux qui sont partiellement remplis peuvent créer des dépressions peu profondes et plus humides qui favorisent l'établissement de certaines espèces de plantes qui ne poussent pas sur les autres surfaces.

Digues

Rôles des digues

Les digues jouent plusieurs rôles dans la restauration des tourbières. Leur principale fonction est de limiter les mouvements de l'eau et de garder cette eau le plus longtemps possible sur le site. Sous les conditions climatiques nord-américaines, la libération de grandes quantités d'eau lors de la fonte des neiges provoque des inondations, ainsi que de l'érosion causée par le ruissellement ou l'action des vagues. Les digues jouent un rôle-clé en limitant ces problèmes, car elles distribuent le surplus d'eau sur de plus grandes surfaces. Pour qu'elles puissent jouer leur rôle, il est préférable d'ériger plusieurs digues disposées de diverses façons sur le site, soit perpendiculairement à la pente, selon un modèle en damier, en formant des bassins ou en périphérie du site. Les digues n'ont pas besoin d'être très élevées, à l'exception des digues périphériques.

La construction de digues permet de nettoyer les surfaces en éliminant la tourbe meuble et l'encroûtement, qui sont caractéristiques des sites abandonnés depuis plusieurs années. Un effet secondaire positif des digues est qu'elles agissent comme brise-vent, empêchant la paille et les plantes d'être déplacées par le vent et jouant le rôle de trappe à neige, ce qui favorise l'accumulation de l'eau sur le site.

Procédures pour la construction de digues

Jusqu'à présent, toutes les digues érigées pour la restauration de tourbières en Amérique du Nord ont été construites avec la tourbe prise sur place. Ainsi, tout équipement capable de pousser et de déplacer de la tourbe peut être utilisé pour la construction de digues. Toutefois, une niveleuse donne les meilleurs résultats et en un temps raisonnable.

La hauteur de l'eau retenue à l'arrière d'une digue détermine la pression de l'eau qui sera appliquée sur celle-ci. Les digues devront être construites plus solidement si l'on s'attend à ce qu'elles retiennent un niveau élevé d'eau. Il est suggéré de suivre certaines recommandations générales lors de la construction de digues. Elles visent à construire des digues plus résistantes et plus étanches, et à réduire les risques de devoir apporter des correctifs par la suite.

- Il est nécessaire de bien **compacter la tourbe** une fois qu'elle a été poussée pour former une digue, pour assurer son étanchéité et la rendre plus résistante à l'érosion causée par le vent et par l'eau. On recommande d'utiliser de la machinerie lourde qui n'est généralement pas utilisée dans les tourbières naturelles parce qu'elle s'y enfoncerait. Les tracteurs utilisés dans les tourbières ne doivent pas être utilisés pour compacter la tourbe, car ils sont équipés de façon à « flotter » sur la tourbe et ils n'appliquent qu'une faible pression sur le sol.
- Utiliser de la tourbe bien décomposée lorsque cela est possible, car elle procure une meilleure imperméabilité que la tourbe fibreuse.
- La présence de bois, de branches ou d'autres **débris dans la tourbe peut affaiblir une digue** et provoquer des fuites.

- **Nettoyer la surface avant d'ériger une digue** permet d'obtenir un meilleur contact entre la digue et la surface du sol, ce qui limite les risques d'infiltration de l'eau et les fuites. Avant la construction de la digue, on doit gratter la surface de la tourbe et enlever toute végétation à l'endroit où la digue sera érigée. Une façon de procéder est de pousser la tourbe pour former un monticule, puis de déplacer le monticule de quelques mètres sur la surface de tourbe nettoyée.
- Il vaut mieux construire des **digues plutôt larges qu'élèves**. Elles sont plus résistantes à la pression de l'eau. En hiver, les digues émergent de la neige et gèlent plus profondément que l'espace qui les entoure. Au printemps, le cœur des digues reste gelé pendant une longue période de temps, même après la fonte des neiges, ce qui les rend plus résistantes à l'érosion causée par l'eau de fonte et donc plus efficaces pour retenir celle-ci. Les digues plus élevées accumulent plus de neige de chaque côté, ce qui peut prévenir le gel à leur base. Au printemps, elles peuvent être plus facilement érodées par l'eau. Toutefois, la taille et la hauteur des digues dépend de l'utilisation que l'on veut en faire (digues périphériques, digues en damier, etc.) et de la quantité de tourbe qui doit être déplacée. Une hauteur de 40 à 50 cm, après compactage, est habituellement suffisante pour obtenir un blocage convenable.
- Le bris des digues est un problème que l'on rencontre assez souvent, car la tourbe est un matériel qui s'érode facilement, même lorsqu'elle est compactée. L'installation de dispositifs qui servent à **éliminer les surplus d'eau** est une solution pour prévenir l'érosion des digues. Plusieurs systèmes d'évacuation commerciaux existent déjà. Le système le plus simple consiste à installer un tuyau qui traverse la digue à la hauteur désirée lors de sa construction, mais cela peut entraîner de l'érosion.
- En toutes circonstances, il est important de **pousser la tourbe vers le haut de la pente** plutôt que vers le bas de la pente. Pousser la tourbe vers le bas a pour effet d'accentuer la pente (figure 8). Pousser la tourbe vers le haut de la pente entraîne la création de terrasses planes.

Digues périphériques

Les digues périphériques sont appelées ainsi car elles entourent tout un site ou une section d'un site de restauration. Le rôle principal de ces digues est de retenir l'eau à l'intérieur du site, et non d'assurer une meilleure répartition de celle-ci. Leur utilisation est nécessaire autour des sites bordés par des canaux de drainage qui ne peuvent être bloqués ou ceux qui sont bordés par des surfaces planes ou topographiquement plus basses que le site de restauration. Ces digues ne sont d'aucune utilité lorsque le site de restauration forme déjà une dépression par rapport aux terrains environnants et que l'eau ne peut s'en échapper.

Puisqu'elles ceignent de vastes surfaces, les digues périphériques emmagasinent de grandes quantités d'eau. C'est pourquoi elles doivent être assez solides pour résister à la pression. Les digues plus larges résistent mieux que les digues plus élevées, mais elles doivent quand même être

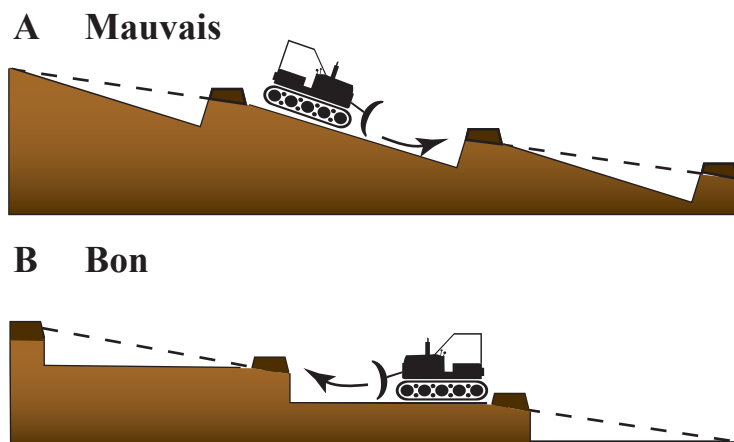


Figure 8. Croquis illustrant la topographie obtenue lorsque les digues sont construites en poussant la tourbe vers le bas de la pente (A) et vers le haut de la pente (B). La création de digues en poussant la tourbe vers le haut de la pente entraîne la formation de terrasses, tandis que pousser la tourbe vers le bas de la pente a pour effet d'accentuer celle-ci.

renforcées ou élargies aux endroits où la pression de l'eau sera vraisemblablement la plus forte. Il faut éviter les angles de 90 degrés, car ils affaiblissent les digues. Il est recommandé de former plutôt des digues aux coins arrondis.

Lorsqu'une digue périphérique est bordée par un canal principal, comme ceux qui existent autour des secteurs exploités, il est possible d'utiliser de la tourbe bien décomposée ou du matériel minéral plutôt que de la tourbe de surface seule pour la construction de la digue. Une rétrocaveuse doit alors être employée. Si du matériel minéral est utilisé, il doit être placé du côté extérieur de la digue pour empêcher la contamination de la surface restaurée. La présence de matériel minéral facilite l'établissement des plantes sur la digue et contribue à la protéger de l'érosion.

Digues perpendiculaires à la pente

Les digues construites perpendiculairement à la pente peuvent être érigées sur presque tous les sites, afin d'assurer une meilleure répartition de l'eau. Même sur une pente douce, on observe des conditions sèches au sommet de la pente et des inondations périodiques ou permanentes au bas de la pente. Par exemple, une pente de 0,5 % engendre une dénivellation de 2 m sur une planche de 400 m de longueur. Les digues perpendiculaires à la pente devraient être construites à des intervalles de 30 cm de dénivellation. Dans le cas d'une pente de 0,3 %, les digues devraient être positionnées à tous les 100 m (tableau 3).

Bien que les grandes tourbières comportent généralement des pentes douces et régulières, les planches situées près des bordures et autour de grands plans d'eau peuvent parfois être convexes, concaves ou de profil plus complexe. Dans de tels cas, il est recommandé de faire un relevé topographique du site et de construire des digues le long de lignes de même niveau. Les digues construites au site d'Inkerman Ferry, au Nouveau-Brunswick, ont été positionnées de cette façon, ce qui a permis d'obtenir une meilleure répartition de l'eau que si elles avaient été construites sans égard aux complexités de la pente (figure 9).

Tableau 3. Nombre de digues et distance horizontale devant séparer les digues pour un intervalle de dénivellation de 30 cm, selon la longueur de la planche et l'angle de la pente

Longueur de la planche (m)	Angle de la pente (%)	Dénivellation entre les extrémités de la planche (cm)	Nombre de digues	Distance entre les digues (m)
100	0,50	50	2	50
200	0,25	50	2	100
300	0,33	100	4	75
400	0,12	50	2	200
400	0,19	75	3	100
400	0,25	100	4	100

Digues en damier

Dans certaines situations, la création de digues en damiers ou de petits bassins améliore les conditions d'établissement des plantes. Elle représente une alternative aux digues perpendiculaires à la pente. Par exemple, le site de Chemin-du-Lac, localisé à l'extrême ouest de la tourbière de Rivière-du-Loup, au Québec, se caractérise par des pentes complexes et des planches courtes. Afin d'obtenir une distribution plus uniforme de l'eau, des digues ont été construites avec une niveleuse, de façon à former un damier (figure 10). Les cellules du damier ont approximativement 30 m de largeur et les digues atteignaient 30 cm de hauteur après compactage. La circulation de la machinerie sur les digues durant l'épandage du matériel végétal et de la paille ne les a pas endommagées au point qu'elles perdent de leur efficacité.

Bassins

De nombreuses expériences ont montré que l'utilisation de bassins peu profonds peut s'avérer efficace pour favoriser l'établissement des sphaignes et des autres plantes propres aux tourbières. Les bassins diffèrent des digues en damiers par le fait qu'ils sont creusés jusqu'à une profondeur d'environ 10 cm sous la surface originale. Sur certains sites, la profondeur de la tourbe restante peut restreindre l'utilisation de bassins. La tourbe retirée lors de la création des bassins est habituellement disposée autour de ceux-ci, de façon à former un bourrelet. Ces bassins peu profonds ont la capacité de retenir l'eau et de procurer un environnement relativement plus humide pour les fragments végétaux nouvellement réintroduits. Leur surface plane et lisse permet un bon contact entre les



Figure 9. Photo aérienne du site en restauration d'Inkerman Ferry, au Nouveau-Brunswick. Les digues ont été disposées le long des courbes de niveau obtenues par un relevé topographique. Les travaux de restauration ont eu lieu à l'automne 1997 et la photo a été prise en septembre 1998. (Photo : F. Quinty)



Figure 10. Photo aérienne du site en restauration de Chemin-du-Lac, au Québec. Pour réaliser une répartition uniforme de l'eau sur les pentes complexes et les planches courtes, des digues en damier ont été créées, formant des cellules d'environ 30 m de largeur. (Photo : Premier Horticulture ltée)

fragments et la tourbe humide. Ces bassins protègent également les diaspores et la paille en limitant l'action du vent et en favorisant l'accumulation de neige. Il est recommandé de créer des petits bassins pour éviter les dommages causés par l'action des vagues en cas d'inondation et de ne pas creuser trop profondément (< 20 cm) pour limiter la durée de la présence d'eau.

Rafrâichissement des surfaces de tourbe

Les planches abandonnées sont souvent recouvertes d'une couche de tourbe meuble, résultant du hersage, du soulèvement gélival, de l'action du vent et des processus d'oxydation et de décomposition de la tourbe. La surface de tourbe peut aussi être recouverte d'une végétation microscopique, composée principalement d'algues et d'hépatiques, qui forment une croûte s'enlevant facilement lorsqu'elle est sèche. Ces deux types de dégradation des surfaces affectent négativement l'établissement de la végétation en créant une barrière entre les fragments végétaux et le substrat tourbeux humide et compact, qui est leur source principale en eau et en humidité. Les couches de tourbe meuble ont aussi tendance à sécher plus rapidement en été. Les fragments végétaux situés au-dessus de telles couches voient leur réserve en eau diminuer et ont moins de chance de survivre. La dégradation des surfaces de tourbe s'accroît avec le temps après la cessation des activités d'extraction. Il est essentiel de débarrasser les surfaces à restaurer de la tourbe meuble ou des encroûtements qui peuvent exister.

La préparation d'un site nécessite généralement le grattage ou le rafraîchissement des surfaces de tourbe, que ce soit pour la construction de digues ou le nivellement des planches bombées. Toutefois, il peut arriver qu'une surface n'ait pas à être entièrement rafraîchie. Dans le cas d'une grande surface plane ne nécessitant que la construction de digues perpendiculaires à un intervalle de 50 m ou plus, on n'aura qu'à gratter une fraction de la surface afin d'amasser assez de tourbe pour construire les digues. Dans une telle situation, la surface devrait être entièrement grattée si la tourbe de surface est meuble ou recouverte d'une croûte.

La niveleuse est l'appareil recommandé pour rafraîchir les surfaces de tourbe, mais on peut aussi utiliser d'autres équipements, comme une chargeuse. La tourbe meuble doit être grattée jusqu'à ce

que l'on atteigne la couche de tourbe solide et non détériorée. Il est préférable d'utiliser la tourbe issue du grattage pour la construction de digues, mais elle peut aussi être employée pour remplir les canaux.

Végétation existante

La végétation colonisant naturellement les sites abandonnés peut aider à la restauration d'une tourbière, mais elle peut aussi être nuisible. Les situations les plus communes sont :

1. Couverture plus ou moins dense d'éricacées
2. Couverture plus ou moins dense de linaigrettes ou d'autres espèces d'herbacées
3. Présence d'arbres
4. Présence d'espèces étrangères aux tourbières

La présence de différentes espèces propres aux tourbières est un signe que le site offre des conditions propices à la restauration. Un recouvrement, même peu abondant et dispersé, d'éricacées ou de linaigrettes devrait être préservé puisqu'il représente une bonne source de diaspores et un couvert protecteur pour les fragments de plantes. Dans ces deux cas, les procédures de restauration devraient être appliquées, même si les plantes empêchent un certain nombre de diaspores d'atteindre la surface du sol. Si le couvert est dense au point où les fragments ne peuvent pratiquement plus atteindre le sol, la végétation doit être éliminée. Une visite sur le site est essentielle pour évaluer la situation.

Il est courant que des arbres, surtout des bouleaux, s'établissent le long des canaux de drainage à l'arrêt des activités de récolte de tourbe. Ils offrent un refuge aux oiseaux et à la faune et fournissent de l'ombre aux plantes. Cependant, les arbres ont besoin de beaucoup d'eau pour pousser et survivre, ce qui a pour effet d'abaisser le niveau de la nappe phréatique. Par contre, un petit nombre d'arbres peut produire suffisamment de graines pour déclencher une invasion, surtout dans le cas du bouleau. Comme il existe peu de données sur l'effet des arbres sur la restauration des tourbières, il est recommandé de les couper. Les troncs et les branches peuvent être mis dans les canaux ou être utilisés pour créer des structures émergentes dans les mares. Dans le cas où une grande quantité d'arbres ou même une forêt s'est installée, des options autres que la restauration devraient être envisagées.

La présence d'espèces n'appartenant pas aux tourbières doit être soigneusement examinée. Quelques espèces omniprésentes, telle que la petite oseille (*Rumex acetosella*), poussent en petites colonies isolées et n'ont aucun effet négatif sur la restauration. D'autres espèces, comme le roseau (*Phragmites australis*), peuvent être un signe de conditions non propices pour la restauration et que d'autres options devraient être envisagées. La présence de spartine (*Spartina pectinata*) sur quelques planches abandonnées dans des tourbières du Nouveau-Brunswick est un signe de l'impact créé par l'eau de mer sur ces surfaces. Dans tous les cas, la végétation existante devrait être caractérisée et les espèces identifiées par un spécialiste pour s'assurer de choisir la meilleure option possible.

Situations à éviter et autres problèmes rencontrés lors de la préparation du site

- Au printemps, il est parfois difficile de remodeler les planches ou de construire des digues, parce que la **tourbe reste gelée longtemps** et devient saturée en eau une fois dégelée. Il est donc préférable d'attendre à l'été ou à l'automne pour effectuer la préparation du site.
- Il est important de **ne jamais atteindre le substrat minéral**, quelque soit l'opération en cours. Cela enrichit la tourbe en surface et facilite l'établissement d'espèces nuisibles. La meilleure façon d'éviter cette situation est de toujours laisser un minimum de 50 cm de tourbe.
- La création d'une **microtopographie irrégulière** n'améliore pas l'établissement des sphaignes et des autres mousses. Une expérience comparant l'effet d'une topographie créée par le labourage, le hersage et les dépressions faites par le passage d'un tracteur à chenille à celui de surfaces planes a montré que ce sont ces dernières qui représentent la meilleure option. Parmi les autres types de microtopographie, les dépressions offrent des conditions favorables, mais les conditions de l'ensemble de la surface sont moins favorables que celles des surfaces planes, car les endroits situés sur les éléments positifs du relief ont tendance à sécher plus rapidement.
- Il est important de remodeler les planches bombées, car cela permet de créer des conditions humides sur toute la surface des planches. Mais le remodelage de la topographie doit viser la création d'un profil plat plutôt que concave. Une expérience a montré que la création d'un **profil en « V »** permettait d'améliorer l'établissement des sphaignes situées au bas de la pente. En contrepartie, cette situation a entraîné l'apparition de conditions sèches au haut des pentes et provoqué l'érosion de la tourbe, des plantes et de la paille par les eaux de ruissellement. Une partie des diaspores situées au bas de la pente a aussi été enfouie sous le matériel érodé provenant du haut de la pente.
- Les digues sont sujettes à s'effondrer, notamment à cause de **l'érosion provoquée par les eaux de ruissellement**. Un bon compactage de la tourbe et un système d'évacuation du surplus d'eau peuvent prévenir ce type de problème. Une autre cause d'effondrement des digues, un peu inhabituelle, qui a été observée à la tourbière de Saint-Henri au sud de la ville de Québec, est l'action de petits mammifères, probablement des rats musqués, qui y ont creusé des galeries. Aucune étude ne s'est encore penchée sur ce problème.



- Retenir le plus d'eau possible à l'intérieur du site de restauration;
- Assurer une répartition de l'eau la plus uniforme possible sur le site, en construisant des digues aux endroits stratégiques;
- Éviter les inondations sur de grandes surfaces, pendant une trop longue période et à des profondeurs de plus de 20 cm;
- Conserver des plans d'eau en laissant des canaux ouverts ou en créant des mares.



Ressources, temps et argent

Le temps requis pour la préparation du site varie beaucoup, en raison de la diversité des options qui s'offrent selon les conditions spécifiques du site. La préparation de planches en pente douce abandonnées depuis peu requiert moins de temps et d'effort. Les sites abandonnés depuis une plus longue période et comportant de la tourbe meuble ou une végétation dense en surface nécessitent une meilleure planification et plus de ressources. Le temps moyen requis pour effectuer la préparation d'un site est évalué à environ 3,5 heures par hectare (tableau 4).

Une niveleuse est l'équipement le plus couramment utilisé et le plus approprié pour la préparation de la surface d'un site. Elle peut aplanir les planches au profil convexe, gratter la tourbe en surface et construire des digues. C'est aussi le meilleur équipement pour créer des surfaces de tourbe planes et égales. Une chargeuse et un bulldozer peuvent aussi être utilisés pour le remplissage des canaux et la construction de digues, mais ils ont tendance à perturber les surfaces de tourbe par leurs mouvements de va-et-vient. De telles surfaces offrent de moins bonnes conditions d'établissement aux fragments végétaux qui seront introduits.

Tableau 4. Temps et matériel requis pour la préparation du site

	Machinerie (h/ha)	Matériel (\$/ha)
Préparation du site	3,5	Pas de matériel spécifique requis
TOTAL	3,5 heures par hectare	0 \$

Récolte des plantes

L'approche canadienne de la restauration des tourbières se base essentiellement sur l'introduction active des plantes pour accélérer la formation d'un nouveau tapis muscinal. La caractéristique la plus importante de ce tapis muscinal est la présence des sphaignes, qui sont largement responsables des particularités uniques des tourbières ombrotrophes et de l'accumulation de la tourbe. Ainsi, le matériel végétal qui est introduit doit absolument contenir une fraction importante de **diaspores** de sphaignes. Il doit aussi contenir d'autres espèces de plantes pionnières, car les sphaignes ne s'établissent que très lentement. Les tourbières naturelles ou les secteurs intacts des tourbières exploitées représentent la source de diaspores la plus appropriée. En Amérique du Nord, de tels milieux sont facilement accessibles et disponibles, et souvent à une distance raisonnable des sites de restauration. La récolte des plantes consiste essentiellement à déchiqueter la végétation de surface, puis à la ramasser. Ce matériel végétal est ensuite épandu sur le site de restauration, pour qu'il puisse s'y établir et former un nouveau tapis muscinal. Lorsque la récolte des plantes est effectuée adéquatement, elle n'occasionne pas de dommages permanents aux sites d'emprunt et la reprise du couvert végétal est rapide.



Diaspores

Les diaspores sont toutes les parties d'une plante qui peuvent donner un nouvel individu. Elles comprennent les graines et les spores (qui sont les graines des mousses), mais aussi les racines, les tiges, les feuilles, les branches, etc.

Choix du site d'emprunt

Les deux facteurs qui ont une importance capitale lorsque vient le temps de choisir un site d'emprunt sont les communautés végétales présentes sur le site d'emprunt et la dimension des surfaces.

Communautés végétales

Les communautés végétales jouent un rôle primordial dans le succès de la restauration. Pour la plupart des gens, la végétation d'une tourbière semble composée d'un couvert de mousses plus ou moins homogène, alors qu'en réalité, elle est très diversifiée. Pour les besoins de la restauration, les sphaignes doivent être l'élément dominant de la végétation, préférablement en association avec des arbustes du groupe des éricacées. Il demeure essentiel d'examiner la végétation du site d'emprunt pour s'assurer de la présence des communautés végétales appropriées à la restauration. Tel que mentionné précédemment, les sphaignes sont indispensables à la restauration des tourbières, mais ce ne sont pas toutes les espèces qui sont utiles à cette fin. Les espèces qui forment les buttes, telles que *Sphagnum fuscum*, une petite espèce brune, et *Sphagnum capillifolium*, de couleur rouge, sont celles qui offrent le meilleur potentiel pour l'établissement du tapis muscinal. Le choix d'un site d'emprunt de mauvaise qualité, c'est-à-dire ne comprenant pas les communautés végétales appropriées, aura un impact direct sur les résultats obtenus, et par conséquent, entraînera une perte d'argent et d'effort.

Les communautés végétales visées doivent recouvrir la surface entière du site d'emprunt. Le fait d'introduire des espèces de sphaignes et d'autres espèces de mousses inappropriées, ou pas de mousses du tout, peut occasionner l'échec de la restauration. Pour s'assurer que le site d'emprunt est occupé par les bonnes communautés végétales, on peut utiliser la *Clé d'identification des sites d'emprunt* qui

permet de distinguer facilement quatre types de végétation : deux qui sont appropriés pour la restauration et deux qui ne le sont pas. Il peut s'avérer utile d'engager un spécialiste pour localiser et marquer les sites d'emprunt potentiels pour une tourbière donnée. Il est préférable de choisir un site dénué d'arbres pour faciliter la circulation de la machinerie.

Dimensions du site d'emprunt

La taille de la zone d'emprunt est très importante, puisqu'elle détermine la quantité de matériel végétal qui est disponible pour la restauration. Le GRET a mené plusieurs expériences pour déterminer la bonne quantité de matériel végétal à réintroduire. Cette quantité doit favoriser la formation rapide d'un nouveau tapis muscinal et limiter les impacts sur les sites naturels. La quantité de matériel végétal à transporter a aussi été prise en compte.

La meilleure façon d'évaluer la quantité de matériel végétal requise est de faire le rapport entre la surface du site d'emprunt et la surface du site à restaurer. En théorie, un rapport de 1:15 est approprié, mais en pratique on utilise plutôt des rapports de 1:12 à 1:10, pour compenser les pertes de matériel, les dommages provoqués au tapis muscinal par la machinerie et la présence d'arbres (figure 11).

Récolte du matériel végétal

Profondeur de la récolte

La profondeur du prélèvement du matériel végétal joue un rôle important dans le succès de l'établissement des plantes, particulièrement pour les mousses. Des expériences ont montré que le potentiel de régénération des fragments de mousses diminue considérablement avec la profondeur (figure 12). Par exemple, les fragments de la plupart des espèces de sphaignes ne se régénèrent pas lorsqu'elles sont prélevées à une profondeur de plus de 10 cm de la surface. Pour la restauration, cela signifie que le fait de prélever du matériel végétal sur 20 cm de profondeur correspond à introduire 50 % de fragments morts. Étant donné les efforts et les coûts relatifs à la récolte et au transport du matériel végétal, il est vivement recommandé de porter une attention particulière à la profondeur du prélèvement pour se limiter aux 10 premiers centimètres de la surface. Quelques sites présentent des surfaces planes et uniformes, ce qui facilite la récolte des 5 à 10 premiers centimètres, mais la plupart des sites ont une surface inégale, avec une alternance de buttes et de dépressions. Dans ce cas, le

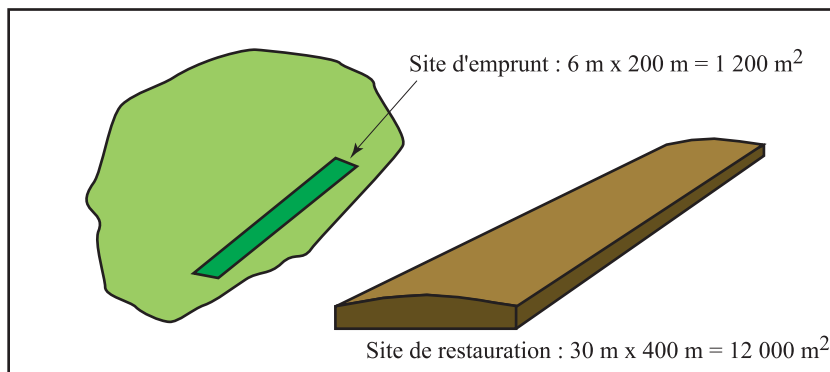


Figure 11. Schéma illustrant le rapport entre le site d'emprunt et le site de restauration.

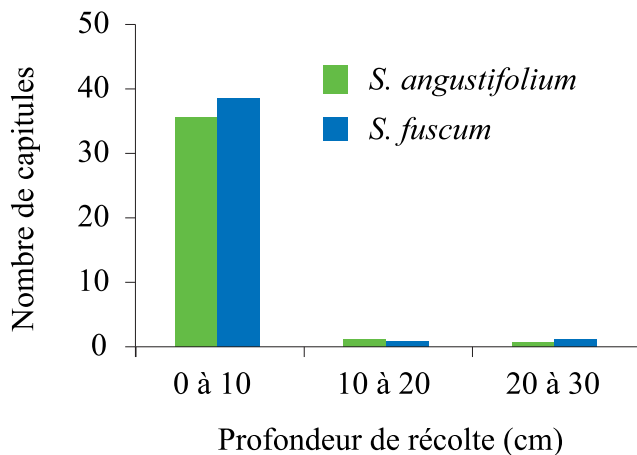


Figure 12. Graphique illustrant la diminution rapide du nombre de fragments qui ont le potentiel de régénérer une nouvelle plante, selon la profondeur de prélèvement du matériel végétal. La plupart du matériel végétal collecté à plus de 10 cm de profondeur de la surface de la tourbière ne se régénère pas. *Sphagnum angustifolium* et *Sphagnum fuscum* sont deux espèces communes dans les tourbières.

meilleur scénario est de se limiter à une profondeur de 10 cm lors du prélèvement des plantes et de ne pas se préoccuper de la végétation qui demeure sur le site, au fond des dépressions, puisque ce sont les espèces situées sur les buttes qui sont les plus appropriées à la restauration. L'utilisation d'un rapport entre la taille du site d'emprunt et celle du site de restauration de 1:10 permet de tenir compte de ces surfaces qui ne sont pas récoltées.

Ne prélever que les 10 premiers centimètres de la végétation de surface a aussi l'avantage d'assurer un rétablissement plus rapide de la végétation sur les sites d'emprunt; le système racinaire des arbustes reste en place et les fragments de mousses qui y ont été laissés peuvent facilement se régénérer. La récolte des plantes doit néanmoins se faire avec le plus grand soin, pour éviter les dommages. Le fait de réutiliser à plusieurs reprises le même site d'emprunt pourrait d'ailleurs être envisagé dans le scénario de développement d'un site.



Réutiliser à plusieurs reprises le même site d'emprunt

Le suivi de la reprise de la végétation sur des petits sites d'emprunt a montré que le couvert de sphaignes s'était complètement rétabli, quatre à six ans après la récolte des plantes. Puisque ces sites avaient été traités avec soin, on peut s'attendre à ce que le rétablissement complet du couvert sur des sites à grande échelle prenne quelques années de plus, principalement à cause des dommages occasionnés par la machinerie. Ces données suggèrent qu'il pourrait être possible de réutiliser ces sites d'emprunt de façon cyclique. Même si cela ne s'est jamais fait jusqu'à présent, il est clair qu'une telle opportunité nécessitera que les opérations soient menées de façon à protéger la régénération des plantes. La récolte des plantes au printemps limite les dommages occasionnés aux sites d'emprunt par la machinerie et favorise un rétablissement plus rapide de la végétation. La réutilisation des sites d'emprunt contribuerait à faire de la récolte de tourbe une activité durable.



Forme des sites d'emprunt

Les sites d'emprunt formant une bande étroite limitent les risques d'enlèvement de la machinerie. Le système racinaire des plantes permet de supporter la machinerie. Une fois la végétation de surface déchiquetée, l'entrelacement du système racinaire est rompu et la machinerie peut s'enliser facilement. Si tout le travail de ramassage peut s'effectuer à partir de la marge de la zone d'emprunt, la machinerie risque beaucoup moins de s'enliser. La figure 11 illustre la forme et le rapport de 1:10 recommandés entre la zone d'emprunt et le site de restauration.

Procédure générale pour la récolte des plantes

La première étape de la récolte des plantes consiste à trouver un site d'emprunt de dimension appropriée qui renferme les bonnes communautés végétales. Il est recommandé de bien identifier le site d'emprunt sur le terrain avec des rubans ou des piquets pour faciliter le travail des opérateurs de machinerie. Pour minimiser les problèmes d'enlèvement de la machinerie, une attention particulière devrait être portée à la **forme des sites d'emprunt**. Il peut être avantageux de **récolter les plantes sur des planches en préparation**.

La végétation de surface est déchiquetée jusqu'à une profondeur de 10 cm, à l'aide d'un rotoculteur ou d'autres équipements (figure 13). Le tableau 5 présente différents appareils qui ont déjà été utilisés pour récolter le matériel végétal et qui se sont avérés plus ou moins efficaces. Le matériel végétal idéal est composé de fragments de quelques centimètres de long, complètement détachés les uns des autres ou formant encore des petits morceaux du tapis muscinal. Les fragments bien détachés se répandent plus aisément et donnent de meilleurs résultats, plus uniformes, que les mousses encore prises ensembles. Cependant, il est important de ne pas briser les plantes en de trop petits morceaux, ou au point d'obtenir une bouillie; la **taille idéale des fragments** se situe entre 1 et 3 cm. C'est au superviseur de la restauration qu'incombe la tâche d'ajuster la vitesse du tracteur tirant le rotoculteur pour obtenir le matériel désiré. Par exemple, une hacheuse (*chopper*) coupe les fragments végétaux en de plus petits morceaux que le rotoculteur; la vitesse de déplacement du tracteur devra donc être plus rapide si une hacheuse est utilisée. Il est recommandé de ne passer qu'une seule fois pour déchiqueter la végétation, mais il peut se révéler nécessaire de faire un second passage si le matériel végétal est composé de trop gros morceaux.



Récolte des plantes sur des planches en préparation

Il est possible de prélever des plantes sur des planches qui sont en voie d'être ouvertes. Cette option réduit le coût de la restauration et minimise les dommages causés aux tourbières naturelles. Comme pour les sites naturels, il est important de s'assurer que les espèces de plantes prélevées soient appropriées pour la restauration et qu'elles soient encore bien vivantes. La plupart du temps, la récolte des plantes s'effectue après que les canaux aient été creusés, pour fournir de meilleures conditions du sol lors du transport. Dans ce cas, on doit éviter de récolter les plantes situées le long des tranchées et qui sont enfouies sous la tourbe rejetée par la « canaleuse ».

Il peut valoir la peine de s'informer si d'autres compagnies de tourbe procèdent à l'ouverture de nouvelles planches dans la région ou si des tourbières naturelles sont en voie d'être utilisées à d'autres fins. De telles occasions permettent de sauver de l'argent et de limiter l'impact sur des sites naturels.



Taille idéale des fragments

Toute partie d'une sphaigne, à l'exception des feuilles presque microscopiques, peut former un nouvel individu. Des expériences effectuées en serre ont montré que même les fragments de 0,5 cm avaient le potentiel de se développer en une nouvelle plante. Cependant, la végétation de surface ne devrait pas être coupée en de trop petits fragments, afin de minimiser le stress occasionné aux plantes. Il ne faut pas oublier que le matériel végétal est constitué de matière organique vivante qui doit être manipulée avec soin.

Tableau 5. Liste des équipements déjà utilisés pour la récolte des plantes et leur efficacité

Déchiquetage des plantes

Rotoculteur	Donne de bons résultats, équipement recommandé
Herse rotative Frandent	Donne de bons résultats, ne brise pas les plantes
Hacheuse (<i>chopper</i>)	Brise les plantes en trop petits fragments, à moins que le tracteur avance rapidement
Herse disque	Va trop en profondeur et ramasse du matériel végétal mort
Niveleuse	Récolte beaucoup de matériel végétal mort avec des racines et de gros amas de plantes
Benne (<i>clamshell bucket</i>)	Récolte du matériel végétal mort avec des racines et de gros amas de plantes

Ramassage et empilement des plantes

Rateau et convoyeur pour le ramassage des racines	Donne de bons résultats sur les nouvelles planches en préparation
Bulldozer	Donne de bons résultats pour l'empilement du matériel végétal sur une surface gelée
Gratte (ou appareil similaire fixé à l'arrière d'un tracteur)	Donne de bons résultats pour l'empilement sur une surface gelée, mais offre moins de puissance qu'un bulldozer pour pousser le matériel végétal
Niveleuse	Permet de placer le matériel végétal en andains
Chargeuse	Donne de bons résultats, surtout lorsque la benne est munie de dents, mais manque souvent de flottaison, spécialement pour le chargement dans les remorques
Benne (<i>clamshell bucket</i>)	Donne de bons résultats pour le chargement des plantes une fois qu'elles ont été empilées, mais lent pour ramasser et empiler les plantes
Souffleuse à neige	Inappropriée, trop lourde, brise la végétation, laisse trop de matériel sur le sol

Une fois que les plantes qui forment la surface de la tourbière ont été déchiquetées, ce matériel végétal est prêt à être ramassé pour être transporté au site de restauration. Il est généralement empilé avant d'être chargé dans des remorques. Cette opération présente certains risques pour la machinerie, car elle est souvent menée dans des sections naturelles non drainées de tourbières. Le matériel végétal généralement gorgé d'eau est lourd et difficile à transporter sur des sols mous. Dans de telles conditions, les tracteurs et les remorques peuvent facilement s'enliser. Sur des sites plus secs, comme sur des planches en voie d'être ouvertes pour l'extraction, ce problème se présente moins souvent et la récolte peut être effectuée à n'importe quel temps de l'année. Sur des sites plus humides, il est préférable de faire la récolte au printemps, lorsque le sol est encore gelé. La récolte et le transport des plantes est l'opération la plus risquée. Elle peut entraîner des **problèmes inattendus**.



Problèmes inattendus

Un problème inattendu est survenu lors de la restauration du site de Bois-des-Bel. Le matériel végétal gorgé d'eau a gelé lorsqu'il est entré en contact avec l'acier très froid de la machinerie (figure 14). Cette situation se produit quand les températures sont sous le point de congélation. Au printemps ou à l'automne, il est préférable de travailler lorsque la température se trouve un peu au-dessus du point de congélation.

Dans le cas d'un grand site de restauration, il est important de bien choisir l'emplacement des empilements du matériel végétal de façon à minimiser les déplacements ultérieurs avec l'épandeur à fumier. Il est aussi préférable de conserver le matériel végétal dans de grands empilements s'il n'a pas à être épandu immédiatement.

Des observations révèlent que le matériel végétal conserve une partie de son potentiel de régénération durant plusieurs mois, voire toute une année, lorsqu'il est stocké en empilements. Des résultats préliminaires montrent que les fragments végétaux ont gardé un certain potentiel de régénération après toute une année, mais qu'il est plus faible que celui du matériel végétal frais. Le matériel végétal récolté au printemps contient souvent de la neige qui le garde froid et humide durant une longue période de temps, ce qui peut contribuer à sa préservation. D'autre part, une expérience a montré qu'une petite quantité de matériel végétal prélevé en juin avait conservé son plein potentiel de régénération jusqu'au mois d'octobre de la même année. Les empilements de matériel végétal peuvent aussi s'enfoncer dans la tourbe résiduelle et compliquer leur récupération. On connaît peu de chose sur les possibilités de chauffage dû à la fermentation dans les empilements de matériel végétal.



- Les sites d'emprunt doivent être complètement recouverts d'un tapis muscinal avec une prédominance de sphaignes;
- Utiliser la *Clé d'identification des sites d'emprunt* ou engager un spécialiste pour s'assurer que le site d'emprunt renferme les bonnes communautés végétales;
- Les sites dénués d'arbres facilitent le travail de la machinerie;
- Prélever des plantes sur des planches qui sont en voie d'être ouvertes réduit le coût et les dommages qui pourraient être causés aux tourbières naturelles;
- Utiliser un site d'emprunt dix fois plus petit que le site à restaurer;
- Lorsque cela est possible, délimiter le site d'emprunt en bandes longues et étroites pour minimiser les risques d'enlèvement de la machinerie;
- Déchiqueter la végétation de surface avec un équipement approprié, sans excéder une profondeur moyenne de 10 cm;
- Ramasser et empiler le matériel végétal, puis le charger dans des remorques afin de l'acheminer au site de restauration.



Ressources, temps et argent

En restauration des tourbières, la récolte des plantes est l'opération qui demande le plus de temps et de ressources. Le temps requis est très variable et dépend principalement des conditions des sections naturelles des tourbières où les travaux sont menés. On devra, par exemple, réduire la quantité de matériel végétal chargée dans les remorques et effectuer plus de déplacements avec la machinerie si un site d'emprunt est très humide. Le temps requis pour transporter le matériel végétal dépend aussi de la distance entre le site d'emprunt et le site de restauration. C'est pourquoi il est essentiel de planifier soigneusement les opérations de récolte et d'utiliser les techniques appropriées (récolter à la bonne profondeur, charger la bonne quantité pour éviter l'enlèvement), de façon à réduire les coûts le plus possible. Cela veut aussi dire que les bons sites d'emprunt possèdent une grande valeur.

L'équipement utilisé lors de la récolte des plantes influence également le temps requis, puisque certains équipements sont plus efficaces que d'autres (tableau 5). Il est important d'appliquer les bonnes procédures et d'allouer des ressources adéquates pour cette opération, de façon à minimiser les pertes de temps. Les chiffres fournis dans le tableau 6 correspondent au nombre d'heures total moyen requis pour l'opération. Ainsi, 8 heures peuvent comprendre l'utilisation de deux tracteurs équipés de remorques pendant 3 heures chacun et d'une chargeuse pendant 2 heures. Noter que les nombres et les surfaces (hectares) s'appliquent au site de restauration et non au site d'emprunt.



Figure 13. Rotoculteur utilisé pour déchiqueter les plantes lors de la récolte du matériel végétal. (Photo : S. Campeau)

Tableau 6. Temps et matériel requis pour la récolte des plantes

	Machinerie (h/ha)	Matériel (\$/ha)
Déchiqueuse les plantes	1	Pas de matériel spécifique requis
Ramassage et transport des plantes	8	Pas de matériel spécifique requis
TOTAL	9 heures par hectare	0 \$

Noter que les nombre et les surfaces (hectares) s'appliquent au site de restauration et non au site d'emprunt.

Récolte des plantes au printemps



Figure 14. Photo montrant les conséquences que peut engendrer le gel du matériel végétal sur le métal des remorques lorsque la température est sous le point de congélation. (Photo : F. Quinty)

Effectuer la récolte du matériel végétal au printemps offre plusieurs avantages découlant du fait que le sol est gelé : i) le sol supporte la machinerie, ii) les surfaces uniformes et dures facilitent le ramassage du matériel végétal, ce qui en réduit considérablement les pertes, iii) le gel prévient la récolte de grandes quantités de matériel sans potentiel de régénération, parce que prélevé à une trop grande profondeur et finalement, iii) le sol gelé protège le site d'emprunt des dommages occasionnés par la machinerie. Les observations sur le terrain montrent que lorsque le prélèvement des plantes s'effectue sur un sol gelé, le système racinaire des plantes reste intact et, par conséquent, assure le rétablissement rapide de la végétation sur les sites d'emprunt.

Délimitation du site d'emprunt

Il est indispensable de procéder à la délimitation de la zone d'emprunt à l'automne précédant la récolte, lorsque les plantes sont visibles et facilement identifiables. Il faut aussi marquer le site et les voies d'accès avec des rubans ou des piquets pour qu'il soit bien visible même en présence d'une épaisse couche de neige.

Un site d'emprunt comprenant beaucoup d'arbres a tendance à accumuler une couverture de neige plus épaisse, qui peut empêcher le sol de geler en profondeur. Dans ce cas, il vaut mieux éliminer des arbres avant l'hiver. Cette observation s'applique aussi aux voies d'accès. Il faut porter attention à tout ce qui peut provoquer une accumulation de neige et nuire aux travaux, comme des empilements de tourbe.

Engel du site d'emprunt et des voies d'accès

Malgré les hivers froids de l'Amérique du Nord, il est fréquent que le sol ne gèle pas complètement dans les tourbières naturelles, notamment à cause de l'alternance des buttes et des dépressions. La présence d'une couverture de neige, bien avant que la température du sol n'atteigne le point de congélation, peut même empêcher la formation d'une couche de glace. C'est pourquoi il est recommandé d'appliquer certaines mesures pour que le sol du site d'emprunt et des voies d'accès gèle sur une profondeur suffisante pour supporter la machinerie, spécialement dans la région des Maritimes où les températures sont plus douces.

La neige, tout comme la laine minérale, est un bon isolant parce qu'elle est remplie d'air. Pour permettre au gel d'atteindre le sol, la neige doit perdre ses propriétés isolantes. La méthode la plus facile et la moins chère d'y arriver consiste à **compacter la neige** avec tout équipement disponible, tel que tracteur ou bulldozer, pourvu qu'il puisse circuler et qu'il soit suffisamment lourd pour écraser la neige. Une motoneige peut même être utilisée lorsque la couverture de neige est trop profonde et que les tracteurs ne peuvent pas passer. Il est recommandé d'appliquer aussi ces mesures sur les **voies d'accès**. Selon les conditions météorologiques, il peut s'avérer nécessaire de compacter la neige à quelques reprises durant l'hiver, de façon à obtenir une couche de glace assez profonde.



Compacter la neige

Il est étonnant de constater la superficie qu'un tracteur peut couvrir en une seule heure et à un coût relativement bas. Comme les sites d'emprunt sont généralement de petites dimensions (1/10 de la superficie à restaurer), le compactage de la neige par un tracteur se fait rapidement. Les équipements plus lourds que les tracteurs compactent la neige de façon beaucoup plus efficace. Le coût de cette opération est faible comparativement aux avantages qu'elle procure durant la récolte des plantes au printemps.



Voies d'accès

La récolte et le transport des plantes sont des opérations coûteuses, parce qu'elles demandent du temps et que les risques d'enlèvement de la machinerie sont élevés. Un sol complètement gelé sur une profondeur adéquate prévient l'enlèvement. Par contre, une voie cahoteuse ralentit la circulation des tracteurs transportant les remorques chargées de matériel végétal et peut être à l'origine de bris de machinerie. Il est généralement avantageux d'aplanir ces chemins à l'automne, avant que le sol gèle.

Épaisseur de la couche gelée

Une couche gelée d'une épaisseur d'environ 15 cm est nécessaire pour supporter la machinerie. Ce nombre ne tient pas compte des 10 premiers centimètres enlevés par la récolte des plantes. Par conséquent, la surface devrait être gelée sur une profondeur de 25 cm. Cette valeur représente un minimum, car les travaux peuvent se prolonger sur une longue période de temps durant la fonte. Il est important de noter que l'épaisseur de la couche gelée peut varier considérablement sur un même site. Par exemple, il y a souvent une zone sans gel autour des bosquets d'arbres, parce qu'ils accumulent de la neige. Les tourbières drainées gèlent beaucoup plus rapidement que les zones naturelles, ce qui signifie que les voies d'accès situées sur les surfaces drainées demandent moins de préparation.

Il est suggéré de prendre des mesures de l'épaisseur de gel à différents endroits sur le site d'emprunt et sur les voies d'accès, pour déterminer si la couche gelée est suffisamment épaisse. Cela peut être effectué facilement à l'aide d'une perceuse sans fil munie d'une longue mèche.

Au printemps, le dégel ne se fait que très lentement, tant et aussi longtemps que la couverture de neige reste en place. Une fois que la neige est fondue, le dégel progresse un peu plus rapidement. Dans la région du Lac-Saint-Jean par exemple, le dégel peut progresser de 15 cm en 20 jours, avec des températures journalières maximum et minimum approximatives respectivement de 10 °C et -3 °C .

Déneigement

Après un hiver où les précipitations de neige ont été abondantes, il peut être nécessaire de débiter la récolte des plantes avant que la neige soit complètement disparue et que les températures deviennent trop douces. Dans ce cas, il faut enlever la couverture de neige pour pouvoir débiter les travaux. La neige doit être enlevée de un à trois jours avant que la surface soit « rotocultée », pour que la couche végétale de surface ait le temps de dégeler. Le fait de rotoculter un sol complètement gelé peut causer le bris du rotoculteur. L'usage d'une souffleuse à neige puissante est recommandé pour le déneigement, car la neige devient très lourde au printemps avec la fonte. La souffleuse ne devrait jamais atteindre le sommet des buttes, car c'est là que se trouve le matériel végétal ayant le meilleur potentiel de régénération; il vaut mieux laisser une mince couche de neige qui fondra rapidement.

Ramassage et transport des plantes

La procédure pour la récolte des plantes au printemps est la même qu'en automne. Cependant, les précautions suivantes doivent être prises au printemps :

- Les buttes restent gelées longtemps et peuvent créer des conditions cahoteuses qui rendent plus difficile le travail du rotoculteur.
- L'apport en eau provenant de la fonte rapide de la neige peut rendre le matériel végétal semblable à de la soupe. Il devient alors plus difficile à ramasser, ce qui occasionne une perte de matériel.
- Les tracteurs peuvent avoir de la difficulté à tirer de gros chargements de matériel végétal, parce qu'ils glissent sur les surfaces gelées.
- La localisation des empilements de matériel végétal a une grande importance. Le matériel végétal peut contenir beaucoup de neige ou de glace qui fond lentement durant le printemps et l'été, ce qui crée des conditions de sol mou en périphérie des

empilements. Pour cette raison, il est conseillé de mettre les empilements de matériel végétal sur des surfaces bien drainées et d'éviter les dépressions.



- Marquer les sites d'emprunt et les voies d'accès de façon à pouvoir les retrouver en présence d'un couvert de neige;
- Enlever les arbres de la zone d'emprunt avant l'hiver, afin de réduire les accumulations de neige;
- Compacter la neige avant ou pendant les périodes froides, pour que le sol puisse geler profondément.



Ressources, temps et argent

La récolte des plantes au printemps nécessite un peu plus de temps que lorsque elle est effectuée à l'automne (tableau 7). La majeure partie du temps supplémentaire est consacrée à préparer le site d'emprunt, à compacter la neige pour faire geler le sol et à déneiger les sites d'emprunt et les voies d'accès. Il faut moins de deux heures pour compacter la neige sur une superficie de un hectare et il faut environ cinq heures pour déneiger la même surface de 30 de 40 cm d'épaisseur de neige. Étant donné qu'une zone d'emprunt d'un hectare permet de restaurer un site de 10 hectares, le supplément occasionné par la conduite des travaux au printemps est négligeable lorsqu'on l'applique aux superficies restaurées. Il peut être avantageux d'agir ainsi, compte tenu que le travail au printemps permet d'éviter des problèmes.

Tableau 7. Temps et matériel requis pour la récolte printanière des plantes

	Machinerie (h/ha)	Matériel (\$/ha)
Compactage de la neige	0,2	Pas de matériel spécifique requis
Déneigement	0,5	Pas de matériel spécifique requis
Déchiquetage des plantes	1	Pas de matériel spécifique requis
Ramassage et transport des plantes	8	Pas de matériel spécifique requis
TOTAL	9,7 heures par hectare	0 \$

Noter que les nombres et les surfaces (hectares) s'appliquent au site de restauration et non au site d'emprunt.

Épandage des plantes

L'épandage du matériel végétal est une opération facile, puisqu'elle ne consiste qu'à recouvrir le sol de la bonne quantité de matériel végétal. On rencontre très peu de problèmes techniques liés à cette intervention. Par contre, des précautions doivent être prises pour appliquer la bonne quantité de matériel végétal en une couche uniforme sur le substrat tourbeux, de façon à maximiser le succès de la restauration.

Quantité de matériel végétal

Il est difficile de déterminer avec exactitude la quantité de fragments végétaux à épandre sur une surface donnée, en raison des différences rencontrées dans la qualité du matériel végétal. Lors de la planification des travaux et la récolte des plantes, on évalue la quantité de matériel végétal requise en fonction de la surface de la zone de récolte. Lors de l'épandage, l'évaluation de la quantité de matériel à appliquer se fait visuellement. Des expériences portant sur la comparaison de différentes quantités de matériel végétal ont montré que l'application d'une couche de fragments mince et uniforme donnait les meilleurs résultats (figure 15). Le tableau 8 décrit le résultat de l'application de bonnes et de mauvaises quantités de matériel végétal. En toutes circonstances, il est important de ne pas oublier que :

- Les fragments doivent être en contact avec le substrat tourbeux pour avoir un meilleur accès à l'eau.
- Les fragments situés sur le dessus d'une couche trop épaisse de matériel végétal ont tendance à sécher et à priver de lumière les fragments sous-jacents.
- Les fragments ensevelis sous une couche trop épaisse de matériel végétal n'auront plus accès à la lumière et pourront difficilement se développer.
- Le sol doit être totalement recouvert de fragments végétaux, car la végétation ne s'étend pas facilement par la suite, et les endroits laissés à nu auront tendance à rester dénudés durant une longue période de temps.

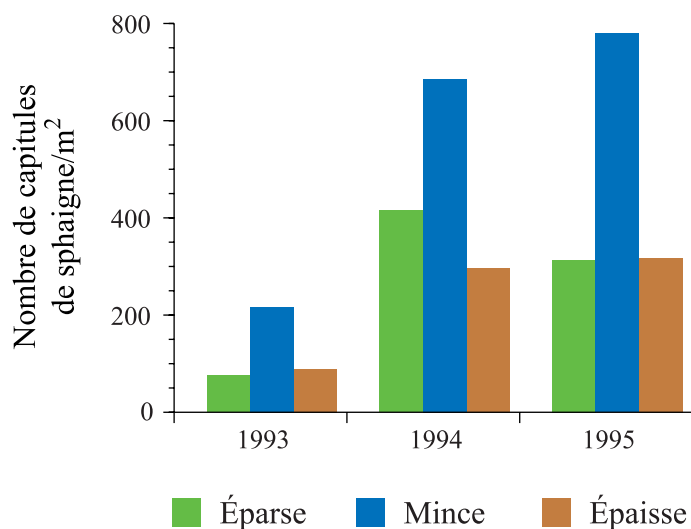


Figure 15. Graphique comparant le nombre de capitules de sphaigne obtenus en fonction de la couche de matériel végétal épandue durant les trois années suivant l'épandage. Les résultats suggèrent qu'il est préférable d'appliquer une mince couche plutôt qu'une couche éparse ou épaisse.

Tableau 8. Description des bonnes et des mauvaises quantités de matériel végétal résultant de l'épandage des plantes

Appropriée / Inappropriée	Quantité	Description
Inappropriée	Couche parse	Les fragments végétaux ne couvrent pas entièrement le sol, la couche est discontinue. Il peut s'agir de l'application d'une quantité trop faible ou d'un matériel végétal formé de mottes.
Appropriée	Couche mince	Le sol est pratiquement tout recouvert d'une couche uniforme de fragments végétaux de 1 à 5 cm d'épaisseur, lorsque non compressés. Il est quand même possible d'apercevoir la tourbe sous-jacente à quelques endroits.
Inappropriée	Couche épaisse	Le substrat tourbeux est complètement recouvert d'une couche de matériel végétal de plus de 5 cm d'épaisseur et le sol ne peut être aperçu. Les fragments situés sur le dessus de la couche ne pourront entrer en contact avec le substrat tourbeux.

La profondeur de récolte du matériel végétal est un facteur qui influence la quantité de matériel végétal à appliquer. Puisque le potentiel de régénération des plantes diminue considérablement avec la profondeur de la récolte, il faut appliquer de plus grandes quantités de matériel si la récolte a été effectuée profondément. L'épandage de **matériel végétal qui contient de la neige ou de la glace** peut facilement donner une fausse impression de la quantité réelle de fragments épandue. En pareil cas, il est important de respecter les quantités recommandées.



Matériel végétal qui contient de la neige ou de la glace

Lorsque la récolte s'effectue au printemps, le matériel végétal peut contenir une certaine quantité de neige. Celle-ci fond lentement et peut former des lentilles de glace dans les empilements de matériel végétal, qui peuvent même rester gelés jusqu'à la fin de l'été. Lorsque le matériel végétal est gelé, il peut s'avérer difficile de le ramasser et de le charger dans l'épandeur à fumier. Les blocs gelés peuvent aussi endommager les rouleaux qui servent à briser le matériel à l'arrière de l'épandeur à fumier. La meilleure façon de résoudre ce problème consiste à déplacer l'empilement de quelques mètres quelques jours avant l'épandage du matériel végétal, de façon à ce que la neige ou la glace ait le temps de fondre.

Lorsque l'on travaille avec du matériel végétal qui contient de la neige ou de la glace, il est très important de porter une attention particulière à la quantité de fragments que l'on applique. Les particules de neige ou de glace donnent l'impression qu'on applique la bonne quantité de matériel, mais une fois ces particules fondues, la couche de matériel restante peut s'avérer insuffisante.



Figure 16. Épandage du matériel végétal à l'aide d'un épandeur à fumier conventionnel. (Photo F. Quinty)

Épandage des plantes

Le matériel végétal est épandu à l'aide d'un épandeur à fumier conventionnel (figure 16). La plupart des épandeurs donnent de bons résultats lorsqu'il s'agit d'appliquer le matériel végétal en une couche uniforme. Le premier chargement de plantes est utilisé pour ajuster la vitesse de la chaîne du tablier et sélectionner la vitesse du tracteur. Une personne se place à l'arrière de l'épandeur à fumier, à une distance sécuritaire, pour vérifier la quantité de fragments épandue. Une fois que la bonne combinaison d'engrenage a été trouvée, un seul opérateur peut faire le travail.

Il est recommandé d'établir une procédure d'épandage permettant d'éviter le passage de la machinerie sur le matériel végétal lors de l'application de la paille. Le fait de passer avec un tracteur ou tout autre machine sur les fragments végétaux qui viennent tout juste d'être introduits, risque de les enterrer ou de les mélanger à la tourbe. Il est possible d'épandre quelques rangées de matériel végétal, puis de les couvrir de paille avec un épandeur à paille latéral, de façon à éviter de passer sur les fragments introduits.

La présence de branches ou de petits arbres sur les planches peut provoquer le bris de la chaîne du tablier de l'épandeur à fumier ou occasionner d'autres problèmes. Pour pallier de telles situations, il est recommandé d'utiliser un épandeur à fumier équipé d'un panneau hydraulique (*hydro-push*) se déplaçant vers l'arrière, plutôt qu'un tablier. Sur un sol mou, on préconise l'utilisation d'un épandeur à fumier muni de pneus de flottaison et d'un double essieu. Les épandeurs en « V » qui distribuent le matériel latéralement n'ont jamais été essayés jusqu'à maintenant, mais ils ont été conçus pour répandre du matériel liquide.

Dans des conditions de sols mous, il est facile d'enliser un épandeur, surtout lorsqu'il est chargé de matériel végétal. Le meilleur temps pour épandre le matériel végétal est :

- Lorsque le sol est gelé.
- Au printemps, lorsque l'eau de fonte s'est retirée et que le sol a eu le temps de s'assécher.
- À l'automne, avant que les terrains ne deviennent trop mouillés.

Le milieu de l'été n'est pas le meilleur moment pour épandre le matériel végétal, puisque les fragments risquent de souffrir d'un manque d'eau, qui est un élément essentiel pour leur établissement. De toute façon, le milieu de l'été est le temps de l'année où la récolte de la tourbe s'effectue et mobilise le personnel et l'équipement. Pour des sites très humides, le milieu de l'été peut s'avérer un moment approprié pour épandre le matériel végétal, puisque c'est probablement le seul temps de l'année où la machinerie peut accéder au site sans causer de dommages et occasionner des problèmes d'enlèvement.

Il n'est pas recommandé d'épandre le matériel végétal lorsque le sol est trop mou, car la machinerie risque de laisser des ornières profondes sur le sol. Des essais sur le terrain ont montré que ces ornières ont un effet négatif sur l'établissement des plantes. Les dépressions créées par les ornières offrent des conditions favorables à l'établissement des mousses, mais les endroits situés entre celles-ci ont tendance à sécher plus rapidement, de sorte que sur l'ensemble de la surface, les conditions sont moins propices. Des observations montrent que la paille qui recouvre les zones surélevées entre les ornières est facilement déplacée par le vent, ce qui favorise le soulèvement gélival. La paille déplacée s'accumule habituellement dans les ornières, où elle forme un paillis épais qui nuit à l'établissement des fragments de plantes.

Une fois que le matériel végétal a été épandu sur les substrats de tourbe nue, les fragments de plantes sont exposés au soleil et au vent et se dessèchent rapidement. En présence de telles conditions, leur potentiel de régénération diminue rapidement. C'est pourquoi il est impératif de les protéger dès que possible par l'application d'un paillis.



- Épandre une couche mince et uniforme de matériel végétal;
- Ne jamais passer sur le matériel végétal qui a été épandu;
- Appliquer le couvert protecteur de paille le plus tôt possible après l'introduction des plantes.



Ressources, temps et argent

La machinerie requise pour l'épandage des fragments végétaux est un tracteur, un épandeur à fumier et un équipement pour charger le matériel végétal dans l'épandeur à fumier. L'utilisation d'un épandeur de grande dimension permet de sauver du temps. Le coût de location d'un tel équipement varie beaucoup, mais il est généralement facile d'en louer à d'un agriculteur. Dans l'est du Canada, le prix de location d'un grand épandeur à fumier est d'environ 150 \$/jour. Un opérateur muni de l'équipement approprié peut épandre le matériel végétal sur deux hectares en une seule journée (tableau 9).

Tableau 9. Temps et matériel requis pour l'épandage du matériel végétal

	Machinerie (h/ha)	Matériel (\$/ha)
Épandage du matériel végétal	4	
Location d'un épandeur fumier		75
TOTAL	4 heures par hectare	75 \$

Épandage de la paille

Une fois épandus sur les surfaces de tourbe nue, les fragments de plantes font face à des conditions très difficiles. Il est essentiel d'améliorer cet environnement, afin qu'ils puissent s'établir. Dans l'est du Canada, les recherches menées entre 1993 et 2002 ont surtout porté sur la comparaison entre la performance des fragments de plantes simplement épandus sur de la tourbe nue, et celle de fragments épandus dans des parcelles dont les conditions avaient été modifiées. La plupart des résultats, d'ailleurs presque tous, ont montré que les fragments de plantes laissés sur la tourbe nue mouraient avant d'avoir eu la chance de former un nouveau tapis végétal.

Plusieurs traitements expérimentaux visant à améliorer les conditions de croissance ont été évalués : l'irrigation à l'aide de gicleurs, le pompage de l'eau dans des canaux d'irrigation, l'utilisation de plantes abris, de brise-vent, etc. L'utilisation d'un couvert protecteur est celui qui a donné les meilleurs résultats.

Les paillis

Les paillis sont utilisés depuis longtemps en agriculture, car ils protègent le sol et les plantes contre les conditions défavorables. En restauration des tourbières, la recherche a montré à plusieurs reprises que le paillis de paille est l'un des trois éléments-clés pour le succès de tout projet de restauration utilisant l'approche canadienne. Les deux autres éléments sont la réintroduction de diaspores et le remouillage des sites de restauration. L'application d'un paillis équivaut à procurer un toit sous lequel les fragments de plantes peuvent s'abriter. Le paillis crée une couche d'air plus humide et plus fraîche le jour et plus chaude la nuit qui est favorable à l'établissement des fragments de plantes (figure 17).

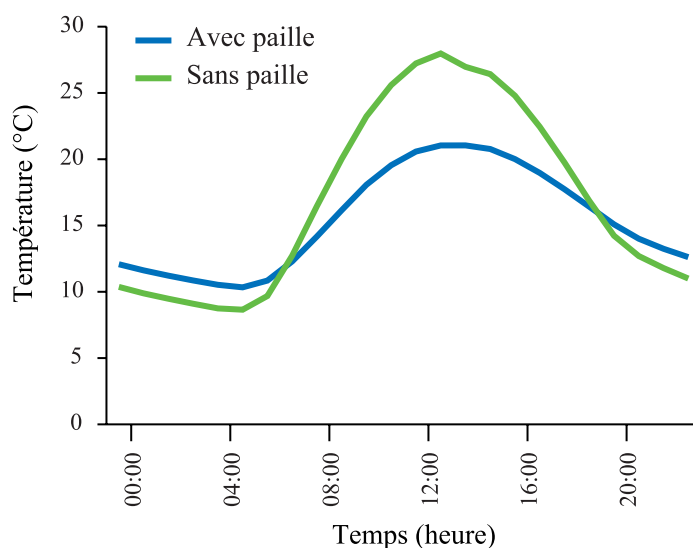


Figure 17. Graphique montrant l'évolution moyenne de la température au sol au cours d'une journée avec ou sans la présence d'un paillis. En mi-journée, la température à la surface du sol est d'environ 10 °C plus élevée en l'absence de paille. L'application d'un paillis favorise la création d'une couche d'air plus tempérée et plus humide. En réduisant l'évaporation, le paillis augmente le contenu en eau du sol et contribue à maintenir le niveau de la nappe phréatique plus près de la surface.

La paille aide aussi à maintenir la nappe phréatique à un niveau plus élevé. De telles conditions permettent aux fragments de plantes d'avoir accès à l'eau plus facilement et diminuent les risques de dessiccation. Le paillis prévient aussi les dommages faits aux plantes par le soulèvement gélival.

Pourquoi utiliser la paille

Dans le cadre des expériences qui ont mené au développement de méthodes de restauration, la paille a été comparée à des paillis commerciaux, tels que le *Curlex* et l'*Eromat*, ainsi qu'à d'autres types de couvertures artificielles. La paille s'est avérée plus efficace que les paillis commerciaux pour protéger les fragments de plantes, principalement parce qu'elle forme un paillis plus épais et qu'elle est plus facile à appliquer à grande échelle. Elle a aussi l'avantage d'être disponible presque partout à un coût relativement bas. Des balles de foin peuvent également être utilisées si la paille n'est pas disponible. Les balles de foin sont généralement plus chères et elles peuvent favoriser l'établissement d'espèces indésirables, car elles contiennent plus de graines viables que la paille.

Une caractéristique importante de la paille est sa capacité à créer une couche d'air qui reste fraîche et humide à la surface du sol et qui demeure isolée de l'air ambiant. Cela est dû au fait que la paille est composée de longues tiges plus ou moins rigides qui s'entrelacent lors de l'épandage, pour former un genre de matelas protecteur où l'air peut circuler facilement. Il faut faire attention aux vieilles balles de paille : la paille mouillée ou pourrie n'a pas la même structure que celle de la paille fraîche et elle a tendance à s'écraser au lieu de créer un coussin protecteur aéré. On observe un effet similaire lorsque la paille est coupée ou hachée en morceaux. Étonnamment, il y a peu de problèmes occasionnés par le déplacement de la paille par le vent. Il semble qu'après quelques expositions aux précipitations, les brins de paille se soudent et le paillis peut résister au vent.

Quantité de paille

Il est très important d'appliquer la bonne quantité de paille, parce que :

- Un paillis trop épais peut retarder ou même empêcher l'établissement des plantes;
- L'application d'une quantité insuffisante de paille offre trop peu de protection pour assurer l'établissement des fragments et peut entraîner l'échec de l'établissement des plantes;
- La paille représente une grande part du coût de la restauration.

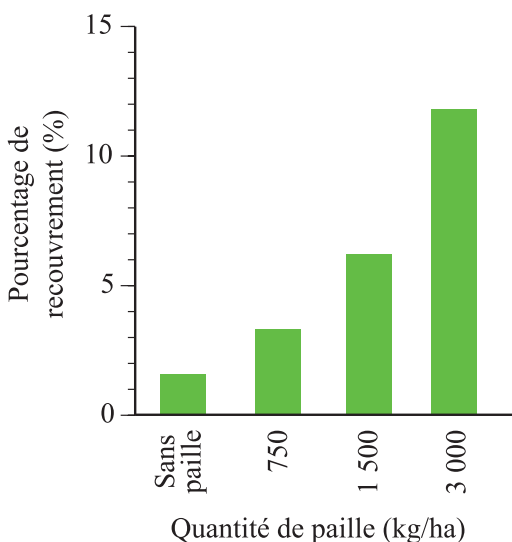


Figure 18. Graphique montrant le pourcentage du sol recouvert par les plantes après trois années de croissance sous différentes quantités de paille. L'absence de paille ou l'application d'une quantité insuffisante de paille diminue considérablement les chances de succès de la restauration.

Tableau 10. Nombre de balles de paille requis par hectare

Diamètre de la balle (pieds)	Nombre de balles	
	par hectare	par acre
4	25 à 30	10 à 12
5	18 à 20	7 à 8

Les expériences antérieures montrent que 3 000 kg de paille par hectare est la quantité minimale à utiliser pour maximiser le succès de l'établissement des plantes (figure 18). Même s'il devient difficile de comparer le poids et le volume à cause des variations d'humidité de la paille, la quantité à appliquer représente approximativement de 18 à 20 **grosses balles rondes** d'un diamètre de 5 pieds par hectare (tableau 10).



Grosses balles rondes

Utilisation de grosses balles de paille permet d'abaisser substantiellement le coût de la restauration. Une balle de 5 pieds de diamètre représente approximativement 1,5 fois le volume de paille d'une balle de 4 pi de diamètre. Le temps de manutention est donc réduit de 25 à 33 % par l'utilisation de balles de 5 pi de diamètre. Les coûts de manutention sont élevés, car les balles de paille doivent être transportées à la tourbière par camion, déchargées puis rechargées dans des remorques afin d'être amenées au site de restauration, pour y être déchargées et rechargées dans la pailleuse qui les épand sur le terrain. Par exemple, de 1 à 2 minutes sont requises pour épan- dre une balle, mais cela peut prendre plus de 20 minutes pour manutentionner les balles.

Un bon paillis doit être assez épais pour former une couche d'air au-dessus du sol, mais il doit aussi permettre le passage de la lumière jusqu'aux fragments de plantes. On doit pouvoir apercevoir le sol ou des fragments de plantes à certains endroits à travers le paillis. On ne sait pas encore si le fait d'utiliser plus de paille résulterait en un meilleur établissement des plantes, mais les observations suggèrent que les fragments de plantes ne survivent pas lorsque le paillis est épais et compact, probablement à cause d'un manque de lumière. Il est donc important que les mottes ou les galettes de paille soient bien brisées lors de l'épandage.

La paille fraîche donne de meilleurs résultats que celle qui provient de balles laissées à l'extérieur pendant un certain temps (un an ou deux). La paille fraîche et sèche s'épand plus facilement et donne un couvert uniforme. Les vieilles balles comportent une couche extérieure de paille plus ou moins pourrie de quelques centimètres, provoquée par l'alternance de phases de sécheresse et d'humidité, qui est difficile à épandre. On doit utiliser plus de paille provenant de vieilles balles pour obtenir le même couvert protecteur qu'avec de la paille fraîche.

Tableau 11. Liste des appareils déjà utilisés pour épandre la paille et leur efficacité

Pailleuse latérale (figure 19A)	Cet équipement utilise des balles rondes . Il épand la paille latéralement sur une distance de 10 à 15 mètres. Il se charge par lui-même et est rapide , car il épand une balle en 1 à 2 minutes.
Pailleuse verticale (figure 19B)	Cet équipement utilise des balles rondes . L'épandage se fait par l'arrière et le tracteur doit passer sur les plantes, ce qui peut causer des dommages aux plantes épandues sur le sol . La paille n'est pas épandue sur une grande distance.
Canon à paille (figure 19C)	Efficace mais peu pratique . Cet équipement, conçu pour épandre les paillis sur les abords de routes, applique un paillis uniforme, mais utilise des petites balles carrées . Le principal désavantage est qu'on doit le fixer à une remorque chargée de paille, elle-même accrochée à l'arrière d'un tracteur. De plus, 3 à 4 personnes sont nécessaires pour manipuler les balles et la paille est hachée.
Déchiqueteuse à paille de table (non représentée sur la figure 19)	Peu efficace . Cet appareil est formé d'un baril qui n'accepte qu'une seule balle carrée à la fois. Il comporte son propre moteur et doit être transporté sur une remorque. Ce type d'appareil hache la paille.

Épandage de la paille

Le paillis doit être appliqué le plus tôt possible après l'épandage du matériel végétal, car les sphaignes et autres fragments sèchent rapidement lorsqu'ils sont exposés à l'air. L'application de la paille est habituellement exécutée simultanément à l'épandage des plantes. Plusieurs appareils peuvent être utilisés pour épandre la paille (tableau 11 et figure 19). Une pailleuse à épandage latéral utilisant des balles rondes est l'appareil le plus couramment utilisé pour appliquer la paille. Le paillis est distribué latéralement, sur une distance de 10 à 15 mètres. Les principaux avantages de cet équipement sont :

- Un seul opérateur peut faire le travail, car la pailleuse est auto-chargeuse;
- Une balle est épandue en 1 ou 2 minutes;
- La machinerie n'a pas à passer sur les plantes, car la paille est épandue latéralement.

Lors de l'épandage du paillis, l'opérateur doit éviter de passer sur les fragments de plantes qui ont déjà été introduits, car ceux-ci risquent de se mêler à la tourbe ou d'être enfouis, ce qui peut nuire à leur survie et à leur établissement. Les fragments de plantes devraient toujours être manipulés avec soin. L'utilisation d'une pailleuse latérale permet d'épandre le matériel végétal sur la planche sur une largeur d'une dizaine de mètres, puis de le recouvrir de paille sans avoir à circuler sur les fragments de plantes.

L'épandage de la paille lors de journées venteuses peut représenter un certain risque, car si le vent est trop fort, il devient presque impossible de faire le travail. S'il souffle dans la bonne direction, le vent peut aider à épandre le paillis et contribuer à sauver du temps.

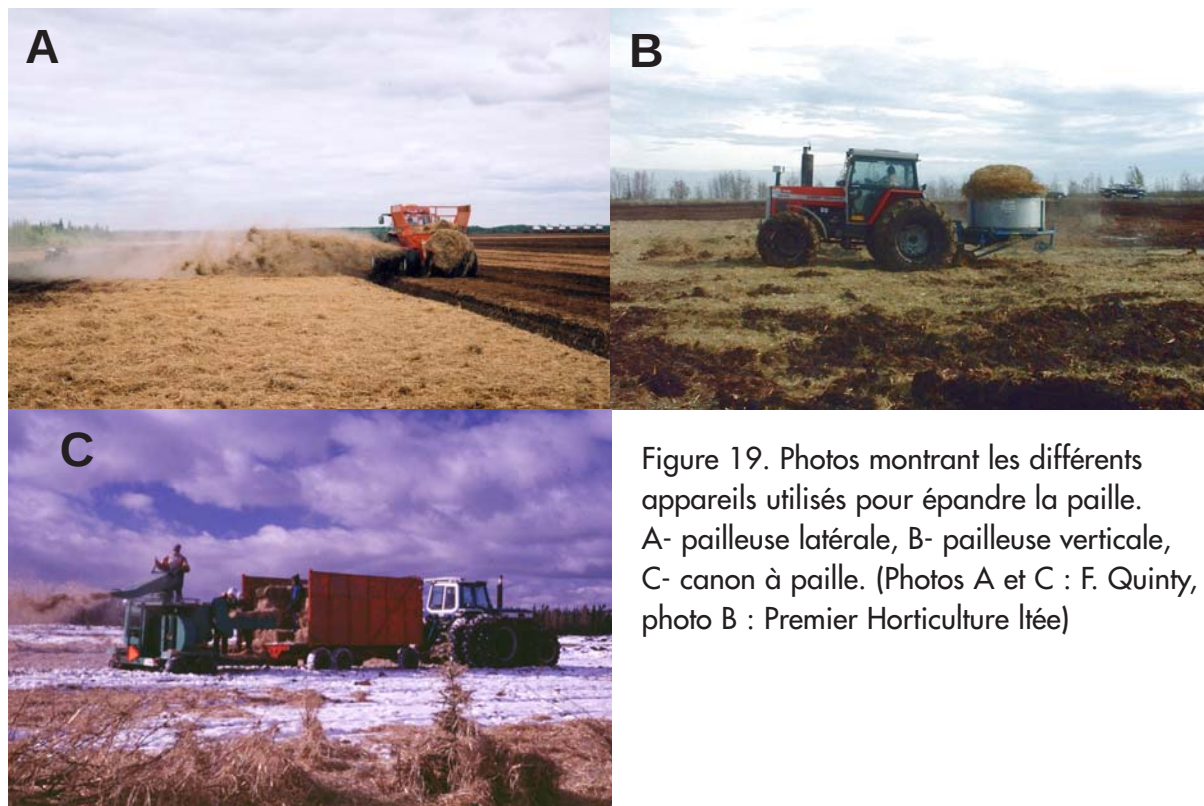


Figure 19. Photos montrant les différents appareils utilisés pour épandre la paille. A- pailleuse latérale, B- pailleuse verticale, C- canon à paille. (Photos A et C : F. Quinty, photo B : Premier Horticulture ltée)



- Appliquer une couche uniforme de paille dès que possible après avoir épandu le matériel végétal.
- Appliquer la bonne quantité de paille : une quantité insuffisante de paille n'offre pas une protection adéquate aux plantes et réduit leurs chances d'établissement. À l'opposé, trop de paille peut limiter la lumière pour les plantes.
- Éviter d'utiliser un appareil qui hache la paille en petits morceaux, car celle-ci aura tendance à s'écraser au lieu de former un paillis épais, propre à former une couche d'air frais et humide au-dessus du sol.
- L'utilisation de grosses balles rondes réduit le temps d'application et le coût de la restauration.
- L'utilisation de paille fraîche facilite l'épandage et réduit la quantité nécessaire à l'application ainsi que le coût de la restauration.



Ressources, temps et argent

Le temps et les ressources requises pour épandre la paille ont été estimés en fonction de l'utilisation d'une pailleuse à épandage latéral (tableau 12). Ce type d'équipement est fréquemment utilisé par les éleveurs de bétail de l'Ouest canadien, mais il est plus rare dans l'est. Le temps requis pour épandre la paille a été évalué en tenant compte que l'opération est exécutée par un seul opérateur. La majeure partie du temps est consacrée au transport des balles de paille.

Puisque l'épandage de la paille prend plus de temps que celui des plantes, il est recommandé d'allouer plus de ressources à l'épandage de la paille, de façon à réduire le coût de la location de l'équipement et à pouvoir mener les deux opérations simultanément.

Le coût de la paille a été estimé à 18 \$/balle pour des balles rondes de 4 pieds de diamètre et livrées au site de restauration, à raison de 30 balles/hectare. Ce coût équivaut approximativement à 1,50 \$/balle carrée, mais ce montant peut varier d'une région à l'autre et d'année en année. Dans le cas où la paille ne peut pas être livrée directement au site de restauration faute d'accès, il faut ajouter du temps pour le transport de la paille à bord de remorques tirées par des tracteurs. Planifier à l'avance et essayer de prendre des arrangements avec les agriculteurs locaux augmentent les chances de réduire le coût d'achat de la paille.

Tableau 12. Temps et matériel requis pour l'épandage de la paille

	Machinerie (h/ha)	Matériel (\$/ha)
Épandage de la paille	7	
Location d'une pailleuse		100
Paille		540
TOTAL	7 heures par ha	640 \$

Fertilisation

La fertilisation facilite l'établissement des plantes. Des expériences ont montré que la fertilisation en phosphore augmente le développement et l'implantation de mousses, notamment du polytric (*Polytrichum*; voir le *Guide d'identification des sites d'emprunt*). En retour, ces mousses fournissent des conditions appropriées pour l'établissement et la croissance des fragments de sphaignes. La colonisation rapide par le polytric des substrats de tourbe mise à nu aide aussi à diminuer et à prévenir les dommages causés par l'érosion et par le phénomène du soulèvement gélival. En plus de favoriser ces mousses, l'ajout de phosphore peut aider à la germination et à l'établissement de plusieurs espèces de plantes vasculaires caractéristiques des tourbières. La fertilisation en phosphore est un facteur important qui contribue au succès de l'établissement des plantes.

Le phosphore

Beaucoup de fertilisants contiennent du phosphore, mais seulement quelques-uns peuvent être utilisés en restauration de tourbières. Il est recommandé d'utiliser des fertilisants qui contiennent principalement du phosphore. La fertilisation azotée n'est pas nécessaire pour la restauration des tourbières, car les surfaces de tourbe nue contiennent assez d'azote pour assurer la croissance des plantes. Les fertilisants riches en calcium doivent être mis de côté, car les teneurs élevées en calcium sont nuisibles à la croissance des sphaignes et pourraient favoriser l'implantation d'**espèces indésirables**.



Espèces indésirables

*Un inconvénient possible de la fertilisation est qu'elle peut favoriser la croissance de plantes non caractéristiques des tourbières. Les espèces qui pourraient tirer profit de la fertilisation varient en fonction de leur présence à proximité des sites en restauration. L'épilobe à feuilles étroites (*Epilobium angustifolium*) et les espèces dont les graines sont présentes dans la paille sont les plus fréquentes. Le bouleau et le peuplier sont aussi communément rencontrés. Il existe peu de données sur l'évolution à long terme des populations de ces espèces, mais on peut s'attendre à ce qu'elles déclinent en raison de la baisse de la disponibilité du phosphore et de la compétition grandissante des espèces de tourbières. Dans l'est du Canada, la fertilisation en phosphate a déjà été appliquée sur un bon nombre de sites et les avantages de son utilisation ont largement dépassé les problèmes potentiels.*

La roche phosphatée granulaire est l'un des fertilisants qui contient le plus de phosphore. Elle permet une bonne distribution du phosphore en plus d'être un fertilisant à dégagement lent. La roche phosphatée contient 25 % de phosphate et on estime que la moitié est immédiatement assimilable par les plantes, tandis que l'autre moitié devient disponible graduellement. Ce fertilisant procure aussi de petites quantités de calcium et d'oligo-éléments. D'autres fertilisants riches en phosphore mais plus concentrés, comme le superphosphate, ne sont pas recommandés, puisqu'ils doivent être appliqués en de si petites quantités qu'ils ne peuvent pas être épandus uniformément.

Malgré un coût plus élevé, il est préférable d'utiliser le fertilisant sous forme granulaire plutôt qu'en poudre, car les fines particules sont facilement entraînées par le vent, même lorsque celui-ci souffle très légèrement. Ceci diminue l'efficacité de la fertilisation et peut causer la contamination des cours d'eau environnants et de la tourbe des planches qui sont encore en production.

Dosage du fertilisant

Le dosage recommandé pour la roche phosphatée est de 150 kg/ha (60 kg par acre). Par exemple, 180 kg de fertilisant sont nécessaires pour un terrain de 30 m x 400 m (100 pieds x 1 200 pieds). Comme le phosphate (P_2O_5) disponible ne compose que 13 % de la roche phosphatée, cette dose représente 19,5 kg de phosphate par hectare.

Le dosage et la période d'application font présentement l'objet d'essais de façon à améliorer l'efficacité de la fertilisation tout en minimisant les impacts potentiels. Les résultats de ces expériences devraient être connus sous peu.

Application du fertilisant

Le fertilisant est généralement appliqué après l'épandage de la paille. Un simple épandeur conique qui s'adapte sur la prise de force d'un tracteur est suffisant, puisqu'on utilise que de petites quantités de fertilisant (figure 20). Il existe aussi des épandeurs coniques similaires qui peuvent être fixés ou tirés à l'arrière d'un véhicule tout terrain et qui sont actionnés par un moteur électrique ou par le roulement d'une ou des roues. Un modèle actionné par une roue de l'épandeur a été testé lors de la restauration de la tourbière de Bois-des-Bel, au Québec, mais il n'a pas donné les résultats escomptés. Le bondissement de l'épandeur sur les inégalités de la surface a fait en sorte que le mécanisme d'entraînement fonctionnait de façon intermittente et le fertilisant n'a pas été appliqué également.

Il est essentiel de bien ajuster l'épandeur avant de procéder à la fertilisation pour épandre la bonne quantité de fertilisant. Il peut arriver que les épandeurs ne puissent pas être étalonnés précisément. Une méthode facile d'ajustement consiste à identifier les niveaux pour des quantités connues de fertilisant dans l'épandeur, par exemple la quantité nécessaire pour une planche. L'opérateur peut ensuite ajuster le débit de l'épandeur et la vitesse du tracteur en conséquence. Il faut aussi déterminer la largeur couverte par l'épandeur. Une façon de le faire est de l'estimer à l'œil nu. Les épandeurs coniques montés sur tracteur couvrent environ 15 mètres de largeur, de sorte qu'un aller-retour suffit généralement à fertiliser une planche entière.



Figure 20. Application de fertilisant à l'aide d'un épandeur conique standard fixé à la prise de force du tracteur. (Photo : F. Quinty)

Le fait de passer sur les endroits où le paillis a déjà été appliqué ne cause pas autant de dommages que lorsque l'on circule sur le matériel végétal réintroduit avant l'application de la paille. La flottaison d'un tracteur est améliorée par la présence du paillis et il ne laisse presque aucune trace lors de son passage après la fertilisation, sauf si le site est très humide et mou. Cela est particulièrement vrai lorsque l'épandeur est fixé sur la prise de force d'un tracteur équipé de pneus de flottaison (double ou triple roues), car le poids du fertilisant est alors distribué sur les roues du tracteur.

Il est recommandé de fertiliser quand les plantes ont réellement besoin de fertilisant, c'est-à-dire durant la période où elles sont en pleine croissance, ou avant. Il est aussi important d'appliquer le fertilisant lorsque les probabilités de causer des dommages environnementaux aux plans d'eau et aux surfaces adjacentes sont les plus faibles. Le fertilisant devrait donc être appliqué entre le début et la fin du printemps, une fois que l'eau de fonte s'est retirée et que le sol est assez sec pour supporter la machinerie, ou encore vers le milieu d'août. Si l'application se fait trop tard en saison, elle sera peu utile aux plantes et le fertilisant risquera d'être lessivé avec l'excès d'eau associé aux précipitations d'automne ou au printemps lors de la fonte des neiges.

Impacts sur l'environnement

On connaît peu les effets sur l'environnement de l'application de fertilisant phosphaté en restauration des tourbières, mais les risques d'impacts sont peu élevés pour les raisons suivantes :

- Des doses faibles sont appliquées;
- La roche phosphatée est un fertilisant à dégagement lent;
- Le phosphore a une faible mobilité et il est retenu par la tourbe;
- Le drainage des secteurs restaurés est bloqué.

Toutefois, le phosphore peut amener des effets négatifs importants s'il atteint les cours d'eau. On sait déjà qu'une petite quantité de phosphore favorise la croissance des algues et des plantes aquatiques, ce qui contribue à l'eutrophisation des ruisseaux et des lacs. Par conséquent, et comme avec tout autre produit, des mesures de sécurité doivent être prises lors de l'utilisation du fertilisant :

- Manipuler le fertilisant avec précaution, surtout si on est près des cours d'eau, et éviter les déversements.
- Respecter le dosage recommandé, même s'il paraît peu élevé. Ajouter plus de fertilisant ne signifie pas l'obtention de meilleurs résultats. Au contraire, ajouter trop de phosphate peut favoriser la prolifération d'espèces indésirables.
- S'assurer de bien bloquer les canaux de drainage avant ou tout de suite après l'application de fertilisant, pour qu'il ne puisse pas s'échapper du site de restauration.
- Garder tout surplus dans un endroit sec pour une future utilisation en restauration.



- Une dose de 150 kg de roche phosphatée par hectare (60 kg/acre) est recommandée afin d'accélérer l'établissement d'un tapis de mousses. Cela représente 19,5 kg de phosphate (P_2O_5) par hectare.
- Ajuster correctement l'épandeur d'engrais.
- Utiliser un fertilisant granulaire au lieu d'un fertilisant en poudre.
- Manipuler le fertilisant avec précaution afin d'éviter la contamination des cours d'eau et de la tourbe des planches encore utilisées pour la récolte.



Ressources, temps et argent

La fertilisation demande peu de temps et de ressources (tableau 13). Un opérateur muni d'un tracteur et d'un épandeur d'engrais peut fertiliser environ deux hectares en une heure. Des petits épandeurs d'engrais coniques peuvent être loués à des agriculteurs pour une somme modique. Même si de nos jours on ne les utilise presque plus, plusieurs agriculteurs en possèdent encore dans leur arrière-cour.

La roche phosphatée est un fertilisant naturel que les fournisseurs d'engrais ne gardent habituellement pas en stock. Il est toutefois possible d'en commander à un coût d'environ 500 \$/tonne (pour la forme granulaire). La roche phosphatée non granulaire est moins chère, mais elle est plus difficile à manipuler et elle peut causer la contamination des cours d'eau et de la tourbe.

Tableau 13. Temps et matériel requis pour la fertilisation

	Machinerie (h/ha)	Matériel (\$/ha)
Fertilisation	0,5	
Location d'un épandeur d'engrais		10
Fertilisant		75
TOTAL	0,5 heure par hectare	85 \$

Blocage des canaux de drainage

En restauration des tourbières, l'hydrologie est un facteur primordial et le retour d'un régime hydrologique approprié est un des deux principaux objectifs visés, avec le rétablissement d'un tapis de mousses. La récolte de la tourbe modifie profondément le régime hydrologique d'une tourbière, car elle requiert un réseau de drainage efficace, qui peut évacuer en peu de temps de grandes quantités d'eau. Lors de l'extraction de la tourbe, la présence de conditions aérobies provoque des changements de la structure de la tourbe qui résultent en une perte de capacité de stockage de l'eau. Cette situation peut être compensée par l'augmentation du stockage de l'eau. Le principal objectif du blocage des canaux de drainage est de minimiser les pertes d'eau.

Procédure pour le blocage des canaux

Le blocage des canaux de drainage semble être une opération facile, mais il nécessite une attention particulière. La plus importante qualité d'un blocage est son imperméabilité. Quelques précautions doivent donc être prises afin d'obtenir des blocages étanches :

- **Utiliser de la tourbe humide.** Il n'est souvent pas suffisant de pousser simplement la tourbe de surface dans un canal et de la compacter ensuite avec un tracteur, car cela peut mener à des fuites ou à la rupture du blocage après un ou deux ans. Il est préférable de gratter et d'enlever la tourbe sèche en surface et d'utiliser la tourbe sous-jacente, plus humide et décomposée. La tourbe sèche que l'on a d'abord grattée peut être utilisée pour remplir les dépressions où la tourbe humide a été ramassée.
- **Enlever toute végétation sur les deux côtés des canaux.** Des surfaces fraîches et humides procurent un meilleur contact et une meilleure étanchéité (figure 21).
- **Compacter le blocage avec de la machinerie lourde.** Les tracteurs munis de roues doubles sont faits pour ne pas appliquer de pression au sol et ne compactent pas les blocages de façon efficace.
- **Un blocage devrait avoir de 2 à 3 m de largeur,** afin de limiter les problèmes d'érosion et de permettre le passage de la machinerie.
- **Un blocage devrait être plus élevé que les surfaces environnantes,** soit d'environ 30 cm, et se prolonger de 1 à 2 m de chaque côté des canaux.
- **Il est important de ne pas atteindre le substrat minéral,** car ceci peut conduire à des **pertes d'eau**, créer un apport en éléments nutritifs et favoriser l'établissement d'espèces n'appartenant pas aux tourbières.



Pertes d'eau

Si on atteint une couche minérale poreuse, telle que du sable, cela peut entraîner une perte considérable d'eau. Dans un tel cas, on pourrait tapisser le fond du canal avec de la tourbe bien décomposée pour colmater la brèche. En toutes circonstances, il est déconseillé d'atteindre les strates minérales de quelque nature qu'elles soient, afin de ne pas perforer la couche imperméable qui se trouve habituellement sous la tourbe.

Les procédures pour le blocage des canaux devraient être utilisées lorsqu'on construit des digues perpendiculaires aux canaux. Lors de la construction des digues, il ne faut pas oublier que la tourbe est seulement poussée dans les canaux et que cette tourbe meuble, non compactée, ne forme pas un blocage imperméable. Un canal devrait être bloqué à différents endroits, en plus de la construction de digues pour favoriser une meilleure distribution de l'eau. En l'absence de digues, les canaux devraient être bloqués à tous les 75 m, ou à des intervalles plus courts en présence d'une pente forte.

Les équipements recommandés pour le blocage des canaux sont la rétrocaveuse ou la benne (*clamshell bucket*), surtout si les côtés et le fond des canaux sont colonisés par les végétaux. Il est nécessaire d'enlever ces plantes dont la présence peut nuire à l'imperméabilité du blocage et il est difficile de faire cette opération avec un tracteur équipé d'une simple chargeuse. La rétrocaveuse et la benne peuvent aussi récolter la tourbe humide dans les couches plus profondes. Comme il s'agit d'appareils stationnaires, ils n'endommagent pas de grandes surfaces dans le cas où les canaux sont bloqués après que les plantes et la paille aient été épandues. Pour faire un blocage, un tracteur muni d'une chargeuse à l'avant doit pousser la tourbe de surface dans le canal avec un mouvement de va-et-vient, ce qui a pour effet d'endommager de grandes surfaces tout autour du blocage. Pour éviter cette situation, le matériel servant au blocage peut être empilé sur les sites lors de la préparation du terrain jusqu'à ce que l'on procède au blocage à la fin des travaux.

Quand bloquer le drainage

Le meilleur moment pour bloquer le drainage est le plus tôt possible après la cessation des activités de récolte de tourbe pour ralentir le processus d'oxydation de la tourbe. Par contre, la remontée de la nappe phréatique peut créer des conditions difficiles pour le travail de la machinerie. De la même façon, on peut bloquer le drainage lors de la préparation du site au début des travaux de restauration, mais des expériences récentes montrent que le niveau d'eau peut s'élever très rapidement après le blocage du drainage. Le choix du moment propice est déterminé

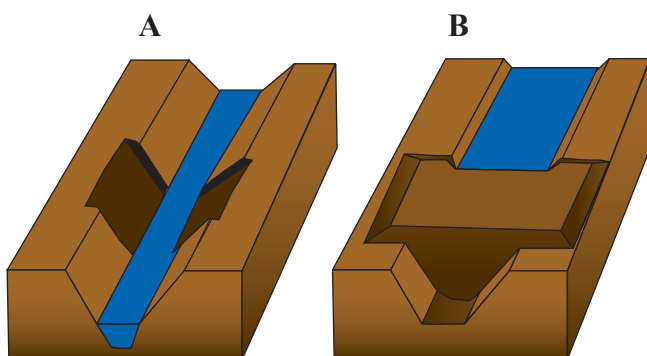


Figure 21. Croquis illustrant la procédure pour le blocage des canaux de drainage. La première étape consiste à rafraîchir les côtés des canaux pour obtenir un meilleur contact et une meilleure étanchéité, et aussi pour enlever toute trace de végétation (A). Le canal est ensuite rempli de tourbe compactée sur une distance de 2 à 3 m (B).

par le risque que la nappe phréatique remonte et que le sol s'amollisse au point où il devient impossible de travailler avec la machinerie. L'eau provient des terres avoisinantes ou des précipitations et les sites qui sont adjacents à des zones de tourbières naturelles sont plus susceptibles aux remontées rapides du niveau d'eau. Dans de tels cas, il est suggéré de bloquer les canaux seulement lorsque les autres opérations sont terminées. Même s'il n'est pas recommandé de passer sur un site une fois que les plantes ont été épandues, le simple blocage des canaux ne causera pas beaucoup de dommages. Le paillis réduit l'impact du passage de la machinerie et le blocage des canaux de drainage peut affecter de 20 à 30 m² autour de chacun des blocages; cela représente une surface relativement petite, si l'on considère que la taille habituelle d'un site de restauration est de l'ordre de l'hectare (1 ha = 10 000 m²).

Dans le cas de sites en pentes, on conseille de débiter les travaux dans les parties les plus élevées. De cette façon, le blocage des canaux des sections supérieures n'aura pas tendance à inonder les autres sections situées au bas de la pente.

Pour les sites qui n'ont pas d'autre source d'eau que les précipitations, les canaux peuvent être bloqués au début des travaux, si on considère que les opérations peuvent être complétées avant que ne surviennent des précipitations abondantes. En plus du risque que la machinerie s'enfonce, exécuter le travail sur un sol mou peut avoir un impact négatif sur l'établissement des plantes, en raison de la création d'ornières par la machinerie et de la possibilité que les fragments de plantes soient mélangés et enterrés par la tourbe.



- Nettoyer les deux côtés et le fond des canaux;
- Remplir les canaux sur une distance de 2 à 3 m avec de la tourbe humide décomposée, puis la compacter;
- Ne jamais atteindre le substrat minéral.



Ressources, temps et argent

Le blocage des canaux de drainage ne nécessite pas beaucoup de temps et de ressources (tableau 14). Il a été estimé qu'un seul opérateur muni d'un équipement adéquat peut bloquer les canaux en une heure sur un hectare. Si on considère que la taille approximative d'une planche est de un hectare (30 m x 300 m), cette estimation représente le blocage d'un canal à quelques endroits le long d'une planche. Les sites avec une surface plane demandent un moins grand nombre de blocages que les terrains en pente.

Tableau 14. Temps et matériel requis pour le blocage des canaux de drainage

	Machinerie (h/ha)	Matériel (\$/ha)
Blocage des canaux de drainage	1	Pas de matériel spécifique requis
TOTAL	1 heure par hectare	0 \$

Création de mares

Les mares constituent un élément intéressant des tourbières à sphaignes des régions côtières et maritimes. Les tourbières n'ont pas toutes des mares, mais certaines en possèdent des centaines. Les mares jouent un rôle majeur, parce qu'elles constituent un habitat unique pour une grande variété d'organismes. En fait, un grand nombre d'espèces de plantes et d'insectes ne se retrouvent que dans ou autour des mares. Les tourbières comportant des mares ont donc une biodiversité beaucoup plus grande que les tourbières sans mare. La création de mares est fortement encouragée, car elle augmente la valeur des tourbières restaurées, notamment si le nombre de mares a sérieusement diminué dans la région.

En Europe, on trouve plusieurs exemples de création de lacs dans les tourbières anciennement exploitées, mais il existe peu de cas de création de mares de tourbières. En 1999, la restauration du site expérimental de Bois-des-Bel comprenait la formation de huit mares. Étant donné le peu de connaissances en cette matière, ces mares ont été réalisées en suivant des règles simples. Celles-ci sont présentées ici à titre informatif :

- **Dimension et forme** : il est suggéré de créer des mares d'environ 75 à 150 m² (figure 22). Il s'agit d'une superficie minimale pour que les mares puissent servir de refuge à différentes espèces fauniques, notamment à certaines espèces d'oiseaux migrateurs. Les mares créées à la tourbière de Bois-des-Bel ont une dimension de 6,5 x 12 m (78 m²) et sont de forme rectangulaire pour faciliter le travail d'une rétrocaveuse.
- **Profondeur** : les mares doivent avoir une profondeur minimale pour permettre la présence d'eau durant tout l'été. Cette profondeur devrait être entre 1 et 2 m. Il est aussi important de ne pas atteindre le substrat minéral.
- **Pentes** : la création d'une pente faible d'un côté et d'une pente abrupte du côté opposé devrait aider à augmenter la biodiversité. C'est aussi la façon la plus simple de créer des mares avec une rétrocaveuse.
- **L'emplacement** : l'emplacement des mares est dicté par la nécessité d'avoir 1 m de tourbe pour éviter d'atteindre le substrat minéral et assurer le maintien d'un plan d'eau permanent. Il n'est pas recommandé de creuser des mares à l'extrémité aval des canaux, parce qu'elles risquent de se remplir de sédiments provenant de l'amont.
- **Structures émergentes** : la présence de structures émergentes, aussi bien dans l'eau qu'à l'extérieur, favorise l'établissement de plusieurs espèces. Un moyen simple de créer de telles structures est de placer des troncs d'arbres (avec leurs branches) de part et d'autre des mares.

Les mares de la tourbière de Bois-des-Bel ont été creusées avec une petite rétrocaveuse. La tourbe retirée a été disposée tout autour des mares, à l'exception du côté amont, pour que l'eau de ruissellement de la surface puisse les alimenter. La tourbe aurait aussi pu être utilisée pour construire des digues.

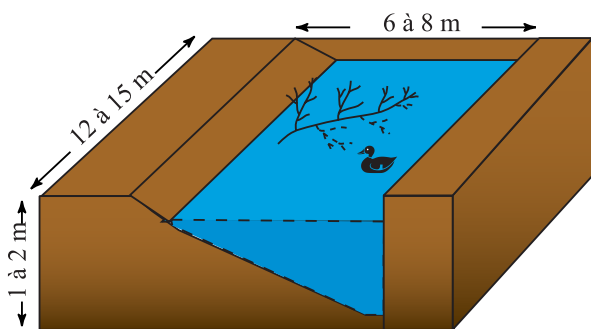


Figure 22. Diagramme illustrant la forme recommandée pour les mares, avec une pente abrupte d'un côté et une pente faible du côté opposé.

Il est important de ne pas oublier que les mares sont des habitats aquatiques qui n'ont pas besoin de qualités esthétiques pour répondre aux exigences de la faune. L'approche utilisée à Bois-des-Bel se révèle être une réussite, car après deux ans, plusieurs amphibiens, insectes et micro-organismes avaient repeuplé les mares. Elles sont aussi visitées par des oiseaux migrateurs, des canards, des oies et de petits et plus grands mammifères. La végétation ne s'établit pas rapidement de façon naturelle, mais à Bois-des-Bel, des arbustes et d'autres espèces de plantes ont été transplantés avec succès sur la pente douce de certaines mares.



- La création de mares est fortement encouragée, car elles augmentent considérablement la biodiversité et la valeur écologique des sites en restauration.
- Pour créer des mares, il est suggéré de suivre les règles simples utilisées à la tourbière de Bois-des-Bel.



Ressources, temps et argent

L'estimation du temps et des ressources requises pour la création de mares peut seulement être basée sur l'expérience de la tourbière de Bois-des-Bel. À ce site, il a fallu une heure à une petite rétrocaveuse pour creuser chaque mare.

Suivi de la restauration

Le suivi est une étape nécessaire dans le processus de restauration, car il représente la seule façon d'évaluer le succès ou l'échec de celle-ci, et de déterminer si les objectifs ont été rencontrés. La collecte de données d'éléments mesurables à différents moments après les travaux de restauration constitue la façon la plus efficace d'évaluer l'évolution d'un site. À court terme, les objectifs de la restauration des tourbières sont définis principalement en regard de l'hydrologie et de la végétation, mais le suivi peut se limiter à la végétation. L'établissement des plantes reflète les conditions générales d'un site, car la survie et la croissance de celles-ci dépendent de facteurs tels que l'hydrologie et l'approvisionnement en éléments nutritifs. Néanmoins, la collecte de données sur l'hydrologie et d'autres paramètres reste très utile et ne devrait pas être mise de côté, parce qu'elle permet une meilleure interprétation des données sur la végétation.

À plus longue échéance, le suivi de différents sites pourra servir à améliorer les méthodes actuelles de restauration des tourbières et contribuer à la mise sur pied d'une banque de renseignements pour l'ensemble du Canada et de l'Amérique du Nord, pouvant aider à identifier les facteurs responsables du succès ou de l'échec de la restauration. Pour que cela se concrétise, on se doit d'uniformiser la cueillette des données sur les conditions de départ et l'évolution des sites ainsi que sur les procédures de restauration qui y ont été mises en oeuvre. Il est important d'utiliser la même méthode de suivi pour tous les sites, afin que les données recueillies puissent être comparables. L'expérience montre que la plupart des irrégularités provient de facteurs humains, tels que les différences de perception d'un individu à l'autre. Pour garantir un suivi adéquat, il est donc primordial de lui allouer les meilleures ressources possibles. Par exemple, on devrait former du personnel pour qu'il soit capable d'identifier les diverses espèces de plantes et évaluer leur pourcentage de recouvrement dans les parcelles. Un autre facteur tout aussi important : les mêmes personnes devraient effectuer ce travail année après année. Il peut aussi valoir la peine d'engager un spécialiste pour effectuer le suivi. Cette section présente la méthodologie utilisée par le GRET pour faire le suivi de l'établissement des plantes dans les sites expérimentaux. On y décrit aussi comment mesurer le niveau de la nappe phréatique et évaluer le contenu en eau de la tourbe.

Végétation

Les objectifs spécifiques concernant la végétation visent à déterminer : i) la rapidité de l'établissement du couvert végétal et ii) la composition de celui-ci, où la présence des sphaignes est primordiale. Les éléments à examiner pour déterminer si les objectifs ont été atteints sont les différentes espèces de plantes, la proportion du sol qu'elles recouvrent et leur évolution respective sur une certaine période de temps. Les procédures recommandées permettent d'évaluer la végétation à trois niveaux : à l'échelle du site, à celui des parcelles permanentes et au niveau du tapis de mousses. Ces trois échelles sont complémentaires et permettent une évaluation relativement précise de la végétation de tout un site.

Le suivi de l'évolution de la végétation doit être effectué à différentes périodes après l'application des procédures de restauration, pour déterminer si le nouveau couvert végétal évolue ou non vers une communauté de plantes propres aux tourbières. L'expérience montre qu'il est inutile de recueillir des données après une seule saison de croissance, car la végétation n'est pas suffisamment développée. Le suivi devrait débiter la deuxième année, pour ensuite être répété après la troisième et la cinquième saison de croissance.

Végétation à l'échelle du site

La procédure proposée consiste à faire une description générale de l'ensemble du site. Il s'agit de noter les traits dominants. Voici des exemples de détails qui devraient être consignés :

- uniformité du site;
- présence et localisation des espèces n'appartenant pas aux tourbières;
- présence et localisation des arbres;
- caractéristiques de la végétation dominante;
- inondations;
- perturbations (pistes de véhicules tout-terrains, soulèvement gélival, etc.).

Ne pas oublier qu'on ne prend jamais trop de notes. Tout commentaire sur les conditions météorologiques locales peut aider à interpréter les résultats, puisque le climat a une incidence directe sur le développement et l'apparence de la végétation. Des photos montrant un aperçu général du site devraient être prises avant les travaux de restauration et une fois par année par la suite.

Végétation à l'échelle des parcelles permanentes

Malgré l'application des mêmes procédures de restauration, la végétation ne se développe pas de façon uniforme sur l'ensemble d'un site, notamment en raison des variations des conditions du substrat. Il est possible de reconnaître des secteurs homogènes où une ou des espèces de plantes dominant le couvert végétal. Les parcelles permanentes servent à caractériser plus précisément la végétation de ces secteurs. Plusieurs parcelles permanentes doivent être placées à des endroits stratégiques, préférablement dans chacun des secteurs homogènes, de façon à donner une image représentative de l'évolution de tout le site. Le nombre de parcelles dépend de la taille et de la diversité des sites : ceux qui sont plus vastes et moins uniformes nécessitent plus de parcelles permanentes. Par exemple, quelques parcelles permanentes localisées de façon stratégique, au sommet et au bas de la pente et près des bordures, peuvent suffire à caractériser un site plat et homogène. Dans le cas de sites plus hétérogènes, par exemple un site avec des pentes complexes et abruptes ou bien bordé par des terres agricoles d'un côté et une forêt de l'autre, tous les habitats (humides, secs, colonisés par les arbres, etc.) qui occupent des surfaces de taille significative devraient être représentés par des parcelles permanentes. Des habitats plus vastes peuvent être représentés par plusieurs parcelles, tandis que de plus petits peuvent ne pas en avoir du tout. Plus le nombre de parcelles permanentes est élevé, meilleurs seront les résultats du suivi. Il est aussi possible de laisser un secteur de quelques centaines de mètres carrés non restauré pour qu'il serve de parcelle de référence ou de témoin auquel on compare le reste du site.

Une parcelle permanente consiste en un carré de 5 m x 5 m, délimité par des piquets, et à l'intérieur duquel la végétation est décrite. La représentativité d'une parcelle permanente doit être soigneusement évaluée par rapport au secteur qu'elle représente. L'importance de chaque **strate de végétation** est évaluée conformément au pourcentage du sol qu'elle recouvre et est formulée en classes. La hauteur de chaque strate, ainsi que la tourbe nue, le paillis et tout autre élément sont aussi notés. Toutes les espèces de plantes sont identifiées et leur **pourcentage de recouvrement** respectif est soigneusement évalué, à l'exception des mousses. Puisque deux strates peuvent se superposer, l'addition des pourcentages peut excéder 100 %.



Strate de végétation

Afin de faciliter sa description, la végétation est souvent divisée en strates, en fonction de la hauteur des plantes. La méthode de suivi recommandée utilise les strates suivantes :

- strate des arbres et arbustes : composée des arbres et des arbustes qui n'appartiennent pas aux éricacées;
- strate des éricacées : composée des espèces d'éricacées;
- strate herbacée : composée des espèces non ligneuses;
- strate muscinale : composée des mousses (incluant les sphaignes) et des lichens.

La date du relevé, le nom du site et de l'observateur, ainsi que l'emplacement de la parcelle dans la tourbière devraient être inscrits. Idéalement, un croquis de la parcelle permanente devrait être dessiné et des photos devraient être prises. Un exemple de formulaire utilisé à cette fin est présenté à l'Annexe D. On encourage l'utilisation de ces formulaires, car ils simplifient grandement le travail de description de la végétation et l'uniformité des données.

Il est important de ne pas marcher sur les parcelles permanentes au cours de la prise des données, car le piétinement risque d'endommager le couvert végétal.



Pourcentage de recouvrement

Pour des personnes peu familières, l'estimation du pourcentage de recouvrement du sol par les plantes semble être une méthode mystérieuse et subjective. Toutefois, des études ont montré que cette méthode est précise. Elle a l'avantage d'être simple et ne nécessite pas l'usage d'appareils spécialisés. Une personne peut facilement estimer le pourcentage de recouvrement d'un grand nombre de parcelles ou de quadrats en une seule journée. Lorsque plusieurs personnes travaillent ensemble, il est recommandé qu'elles comparent leurs estimations pour une même série de parcelles ou de quadrats, de façon à ce que l'évaluation s'effectue ensuite de manière uniforme.

L'utilisation de diagrammes dont le pourcentage de recouvrement a préalablement été établi peut aussi aider à étalonner les estimations (figure 23). Chacun arrive à développer sa propre façon d'estimer le pourcentage de recouvrement. Des pièces de monnaie de 25 cents et de deux dollars représentent respectivement un pourcentage de recouvrement de 0,5 % et de 1 % pour un quadrat de 25 cm x 25 cm.

Les petits pourcentages sont plus faciles à différencier que les pourcentages plus élevés. Par exemple, il est facile de distinguer des recouvrements de 1 % et 5 %, tandis que des couverts de 50 % et de 60 % paraissent presque identiques. Dans certains cas, les pourcentages de recouvrement peuvent aussi être regroupés en classes.

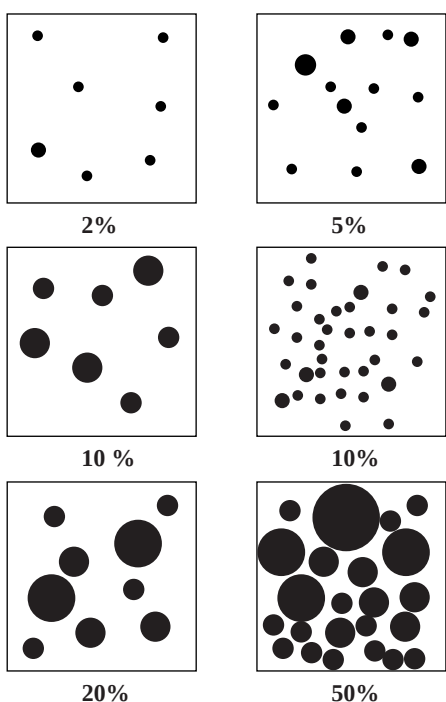


Figure 23. Diagrammes illustrant des pourcentages de recouvrement connus

des mousses et des lichens est évalué. Il est recommandé de faire séparément l'évaluation du pourcentage total du sol recouvert par les mousses, plutôt que de simplement additionner le

Végétation à l'échelle du tapis muscinal

La description du site et des parcelles permanentes ne sont pas appropriées pour évaluer avec justesse l'établissement des mousses. Puisque les sphaignes et les autres espèces de mousses jouent un rôle essentiel dans la restauration de tourbières, il est essentiel de déterminer, de façon précise, la composition du tapis muscinal.

La procédure recommandée consiste à estimer le pourcentage de recouvrement des différentes espèces de mousses, d'hépatiques et de lichens, dans une série de 20 quadrats de 25 cm x 25 cm, répartis systématiquement à l'intérieur des parcelles permanentes (figure 24). Cinq quadrats sont distribués de chaque côté d'une parcelle, à 50 cm de sa bordure. Si la partie centrale d'une parcelle permanente diffère substantiellement de la bordure, il peut être approprié de faire des relevés dans des quadrats à l'intérieur de la parcelle. On utilise un cadre avec les bonnes dimensions pour délimiter les quadrats (figure 25). Après avoir placé le cadre à l'endroit voulu, le paillis est retiré délicatement et le pourcentage de recouvrement

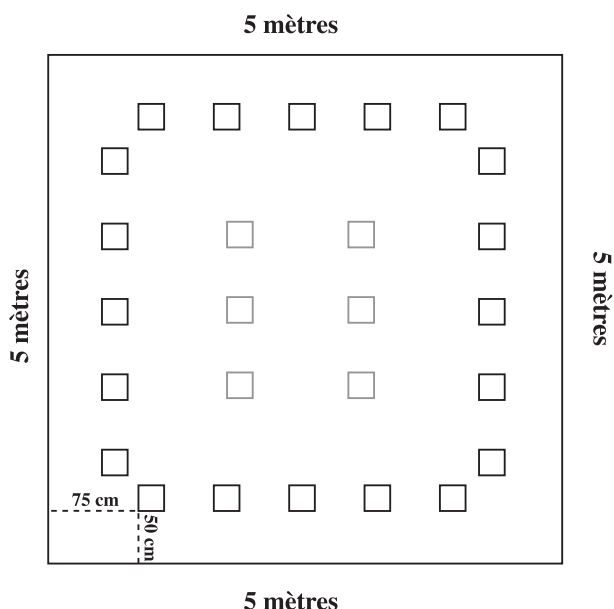


Figure 24. Répartition des quadrats pour l'évaluation de la végétation à l'échelle du tapis muscinal. Les quadrats en gris ne sont utilisés que lorsque les bordures ne sont pas représentatives du centre de la parcelle.



Figure 25. Exemple d'un cadre métallique de 25 cm x 25 cm utilisé pour délimiter les quadrats pour le suivi à l'échelle du tapis muscinal. La paille a été soigneusement déplacée et sera remplacée après avoir fait l'évaluation du pourcentage de recouvrement de chacune des espèces. (Photo: F. Quinty)

pourcentage de chacune des espèces. Les débris de plantes mortes ne sont pas considérés comme du matériel vivant, mais ils devraient être notés. À la fin de l'évaluation, la paille est remise en place et le cadre est déplacé d'environ 75 cm, et ainsi de suite. Un exemple de formulaire utilisé pour ces relevés est présenté à l'Annexe D.

Hydrologie

Un objectif important de la restauration des tourbières est de réussir à élever et stabiliser la nappe phréatique près de la surface de la tourbe. Un autre facteur qui est très important, surtout durant la phase d'établissement du tapis muscinal, est la force par laquelle l'eau est retenue aux particules de tourbe, appelée tension de l'eau. Lorsque l'eau est liée trop fortement aux particules de tourbe, elle ne devient plus disponible pour les sphaignes. La tension de l'eau ne peut être mesurée qu'à l'aide d'appareils spécialisés. Pour simplifier le suivi de la restauration, il est plus pratique de mesurer le contenu en eau du sol, qui donne une estimation de la quantité d'eau présente dans les couches supérieures de la tourbe.

Nappe phréatique

La nappe phréatique peut être mesurée à l'aide de plusieurs méthodes. Pour la restauration des tourbières, on recommande l'utilisation de puits. Ceux-ci sont faits de tuyaux de PVC, habituellement de 2,5 cm (1 pouce) de diamètre et d'environ 1 m de long. On perce des trous ou des fentes sur toute la longueur du tuyau, à l'exception des 20 à 30 cm d'une des extrémités; celle-ci se retrouvera à l'air libre, au-dessus de la surface du sol. Il est recommandé de couvrir la section perforée d'un tissu qui empêchera la tourbe d'entrer à l'intérieur du tuyau (des bas de nylon font très bien l'affaire). On fixe le tissu à ses deux extrémités à l'aide d'une bande adhésive. Le tuyau est ensuite enfoncé dans la tourbe jusqu'à la hauteur des perforations ou jusqu'à ce que le sol minéral soit atteint. Si le substrat tourbeux est sec et dur, il est recommandé de pratiquer un trou avant d'enfoncer le tuyau. Le tuyau doit être bien enserré par les parois du trou. Une journée après son installation, le niveau d'eau dans le puits devrait refléter le niveau de la nappe phréatique du sol environnant.

Il existe plusieurs instruments permettant de mesurer le niveau de la nappe phréatique à l'intérieur des puits. Ils peuvent être fabriqués ou bien achetés de distributeurs d'instruments scientifiques. Une façon simple de mesurer le niveau de l'eau est d'insérer un tube à l'intérieur d'un tuyau tout en soufflant dedans. Lorsque les premières bulles se font entendre, cela signifie que l'on a atteint le niveau de l'eau. On peut alors mesurer la longueur du tube insérée à l'intérieur du tuyau. La profondeur de la nappe phréatique est calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Profondeur de la nappe phréatique} &= \text{Longueur du tube à l'intérieur du tuyau} \\ &\quad - \text{Hauteur du tuyau au-dessus du sol} \end{aligned}$$

Lorsqu'un point d'échantillonnage est inondé au moment même de la prise de mesure, la hauteur de l'eau devrait être notée. Plus la lecture de la nappe phréatique est prise souvent, meilleures sont les données. Habituellement, les mesures sont prises une fois par semaine du printemps à l'automne. Toute présence de glace à l'intérieur du tuyau devrait être notée. La glace peut facilement persister jusqu'en juin et juillet. On peut trouver un exemple de formulaire pour noter les mesures de la nappe phréatique à l'Annexe D.

Les puits peuvent être installés un an avant le début des travaux de restauration d'un site, pour mesurer la profondeur de la nappe phréatique avant les travaux de restauration. Ces données serviront ensuite de point de comparaison pour déterminer l'effet des procédures de restauration sur la nappe phréatique. Les puits sont retirés le temps des travaux, pour ensuite être remis en place.

Contenu en eau de la tourbe

On mesure le contenu en eau de la tourbe en pesant un échantillon de tourbe à son état original puis après séchage. Le contenu est calculé comme ceci :

$$\frac{(\text{Poids humide} - \text{Poids sec}) \times 100}{\text{Poids sec}} = \text{Contenu en eau de la tourbe}$$

Le résultat représente le pourcentage en eau qui était contenu dans la tourbe au moment de la prise de l'échantillon.

En pratique, cette procédure consiste à récolter un volume d'environ 250 ml dans les cinq premiers centimètres de la tourbe et à trois emplacements autour de chaque parcelle permanente ou site d'échantillonnage. Une tasse ou tout autre contenant peut être utilisé pour récolter la tourbe. Les trois échantillons sont ensuite déposés dans un sac hermétique et identifié; ils deviennent alors un échantillon composite représentatif de la parcelle. Tous les échantillons pris sur le même site doivent être récoltés la même journée.

Le poids à l'état frais (poids humide) est obtenu en pesant les échantillons de tourbe à leur état original. Pour calculer le poids à l'état frais, il est recommandé de peser les échantillons dès que possible après l'échantillonnage. Ils peuvent ensuite être entreposés dans un réfrigérateur en attendant d'être traités. Pour mesurer le poids sec, les échantillons de tourbe doivent être séchés pendant 24 heures à 105 °C, puis pesés de nouveau aussitôt sortis du four. Les échantillons séchés mis en attente avant le pesage absorbent l'humidité de l'air, ce qui fausse les données.

pH

On recommande de mesurer le pH à quelques endroits du site de restauration, car il constitue un facteur important pour les plantes, surtout pour les sphaignes qui sont très sensibles au degré d'acidité. Même si le pH a probablement été mesuré lors de la phase de planification de la restauration, il est utile de prendre des mesures additionnelles dans les parcelles permanentes, car les procédures de restauration, telles que la préparation du terrain, peuvent provoquer des changements. Les données de pH aident à interpréter les données de végétation. Il existe une grande variété d'instruments servant à mesurer le pH et qui peuvent être utilisés sur le terrain ou dans un laboratoire.

Conditions du site avant restauration et procédures de restauration

Le suivi de l'hydrologie et de l'établissement de la végétation à la suite des travaux de restauration fournit des données qui nous indiquent si les objectifs ont été atteints ou, en d'autres termes, si le processus de restauration est réellement enclenché. Cependant, ces données peuvent être

insuffisantes pour interpréter les résultats. Tel que recommandé dans la section *Planification de la restauration*, la description des conditions du site avant les travaux de restauration, ainsi qu'un compte-rendu des procédures appliquées lors de la restauration du site, devraient faire partie intégrante du suivi et être incorporés dans une banque de données.

Pour faciliter une meilleure description des conditions du site et des procédures de restauration, plusieurs formulaires simples à utiliser sont présentés à l'*Annexe D*.



- Le suivi de la restauration devrait être effectué deux, trois et cinq ans après les travaux
- Évaluer l'état général et les éléments dominants de la végétation du site
- Identifier les secteurs homogènes et installer des parcelles permanentes représentatives du site
- Identifier les plantes et évaluer le recouvrement de chaque espèce à l'intérieur des parcelles permanentes et à l'échelle du tapis muscinal

Dépannage

À ses débuts au Canada vers 1993, la problématique de la recherche en restauration des tourbières concernait l'ensemble de l'écosystème. Les travaux de recherche ont débouché sur le développement d'une méthode permettant l'établissement d'un couvert végétal composé de plantes propres aux tourbières et l'élévation et la stabilisation de la nappe phréatique à une faible profondeur sous la surface du sol. Si les résultats obtenus sur quelques mètres carrés ont été concluants, le problème était d'obtenir les mêmes résultats à l'échelle des secteurs de tourbières à restaurer. Ce problème a été résolu et les procédures de restauration sont maintenant applicables à grande échelle. Les principales difficultés rencontrées aujourd'hui apparaissent surtout durant le processus de restauration et après que les procédures de restauration aient été appliquées.

Jusqu'à maintenant, l'approche de restauration des tourbières présentée dans ce guide n'a pu être utilisée à grande échelle que sur quelques sites (voir Annexe A). Puisque l'application de cette méthode n'en est qu'à ses débuts, peu de problèmes sont survenus. Les recommandations proposées dans cette section n'ont pas été testées expérimentalement; elles ne sont présentées qu'à titre informatif.

Plantes envahissantes

Les sites en restauration peuvent être rapidement colonisés par de larges populations d'une ou de plusieurs espèces de plantes. Lorsque le résultat attendu de la restauration est un couvert végétal dominé par les sphaignes, l'apparition de ces populations semble inquiétante. Les deux groupes d'espèces envahissantes les plus courantes, les linaigrettes et les bouleaux, ne représentent pas nécessairement un problème.

- **Linaigrette** : la linaigrette, en particulier l'*Eriophorum spissum* qui forme des buttes ou touradons, est une colonisatrice efficace des surfaces de tourbe mise à nu. Elle peut se répandre spontanément ou être introduite lors des procédures de restauration. De récentes études montrent que les linaigrettes ont un effet positif sur l'établissement de la végétation, car elles créent un microclimat humide qui protège et favorise la survie et la croissance des plantes. Si la linaigrette continue de se répandre après la fin des travaux, aucune mesure ne devrait être prise pour la retirer. La linaigrette déjà présente sur le site avant le début des travaux peut être laissée là, si elle ne couvre pas une trop grande partie du terrain. Les touradons trop denses devraient être enlevés, car ils pourraient empêcher les fragments de plantes introduits d'atteindre la surface de la tourbe et d'avoir accès à l'eau du sol. Lors de la préparation du terrain, il arrive souvent que la linaigrette soit partiellement retirée. On ne sait pas encore si les graines de linaigrettes peuvent contaminer la tourbe lorsqu'elles sont transportées sur les planches en exploitation; les études montrent toutefois que la production massive de graines par la linaigrette ne dure que quelques années.
- **Bouleaux** : les bouleaux sont un autre groupe d'espèces qui peuvent coloniser rapidement les surfaces de tourbe nue ou s'établir une fois les travaux de restauration achevés. On a observé que les jeunes bouleaux pouvaient former de grandes colonies, mais qu'ils ne parvenaient pas à devenir des arbres matures si la nappe phréatique était maintenue près de la surface. On ne sait pas encore si la présence des bouleaux peut avoir un impact négatif sur le processus de restauration. On soupçonne que la production de litière pourrait avoir un

effet négatif, car elle serait une source d'éléments nutritifs pouvant favoriser l'établissement d'espèces n'appartenant pas aux tourbières. En pompant l'eau par évapotranspiration, les bouleaux pourraient également contribuer à abaisser la nappe phréatique.

Établissement lent de la végétation

L'établissement peu rapide de la végétation est un problème fréquemment rencontré qui peut être causé par de multiples facteurs.

- **Temps** : le temps est un facteur important dans l'établissement de la végétation, car la formation d'un nouveau couvert végétal est un processus qui est généralement long. L'expérience nous apprend qu'une période d'un an à la suite des travaux de restauration est trop courte pour faire une évaluation pertinente du succès de la reprise de la végétation. Dans certains cas, le pourcentage de recouvrement du sol par les espèces de tourbières connaît une augmentation exponentielle au cours des premières années, passant de moins de 10 % après une saison de croissance à 75 % la troisième année. L'évaluation du succès de l'établissement des plantes devrait commencer après au moins deux saisons de croissance.
- **Qualité du matériel végétal** : tel que mentionné dans ce guide, la qualité du matériel végétal est un facteur important, responsable en grande partie du succès de l'établissement des plantes (voir Récolte des plantes). Une expérience comparant du matériel végétal provenant de deux sites différents a clairement montré que le choix du site d'emprunt est primordial, tout comme la sélection de la bonne communauté végétale. Le type d'équipement utilisé et la profondeur de la récolte influencent aussi la qualité du matériel végétal.
- **Le soulèvement gélival** : le soulèvement gélival peut causer beaucoup de dommages, en empêchant l'établissement des plantes ou en dégradant le tapis muscinal nouvellement établi (voir Planification de la restauration). Le soulèvement gélival survient rarement au cours des deux premières années suivant les travaux de restauration, car le paillis prévient son apparition en agissant sur le microclimat. Il survient lorsque le paillis n'offre plus de protection contre les variations de température. La rapide colonisation du sol par les mousses, aidée par l'ajout de fertilisant, est la meilleure façon de prévenir les dommages occasionnés par le soulèvement gélival. Une deuxième application de paille a été tentée sur un site endommagé par le soulèvement gélival deux ans après les travaux de restauration, mais l'expérience s'est avérée peu concluante. Il n'est pas toujours possible de retourner sur un site en restauration avec de la machinerie après que le drainage ait été bloqué.
- **Paillis** : de tous les traitements qui ont été testés expérimentalement (irrigation, divers couverts protecteurs, etc.), l'application d'un paillis est sans contredit celui qui procure le plus d'avantages pour l'établissement des plantes. L'application de la paille est considérée comme essentielle. La paille doit être appliquée selon les quantités suggérées le plus tôt possible après l'introduction de la végétation (voir Épandage de la paille). Un faible taux de recouvrement par la végétation peut être le résultat de l'application de trop grandes ou de trop petites quantités de paille.

- **Perturbation des plantes** : le passage de la machinerie sur un site après l'épandage du matériel végétal perturbe les fragments de plantes et affecte leur établissement. À certains endroits, les traces laissées par la machinerie forment des zones de tourbe nue, qui ne seront que très lentement colonisées par la végétation.

Gestion de l'eau

Un approvisionnement adéquat en eau est nécessaire pour l'établissement des sphaignes, mais la gestion de l'eau n'est pas une tâche facile, spécialement sous un climat caractérisé par des hivers froids. Les problèmes rencontrés résultent principalement d'un excès ou d'un manque d'eau associés à une mauvaise répartition de l'eau sur l'ensemble du site.

- **Inondation** : de récentes études montrent qu'une inondation pendant une courte période de temps n'est pas nuisible aux mousses et qu'elle peut en fait favoriser leur établissement. L'inondation durant une trop longue période de temps (> 1 mois) ou par une trop grande profondeur d'eau (> 30 cm) pourrait provoquer des perturbations physiques et physiologiques aux fragments de plantes. L'inondation de larges surfaces permet la création de vagues, qui peuvent provoquer de l'érosion et le bris des digues, en plus de déplacer le paillis et les plantes. Si de telles situations surviennent périodiquement, il est nécessaire d'agir et d'assurer une meilleure répartition de l'eau (voir Préparation du site). La construction de digues ou tout autre mode de gestion de l'eau adaptée aux conditions du site devraient être envisagés. Une fois bien établis, les nouveaux tapis de mousses sont plus stables et résistent bien aux inondations.
- **Bris de digues** : les digues constituées de tourbe ont souvent tendance à se rompre sous la pression de grandes quantités d'eau et l'action des vagues. Elles peuvent aussi être érodées par le ruissellement en surface à la suite de fortes précipitations. À moins de déployer plus d'efforts à planifier la préparation du site avant le début des travaux, la seule solution au problème est de colmater les fuites (voir Préparation du site). Si un problème est récurrent, d'autres stratégies de gestion de l'eau mieux adaptées au site devraient être considérées.
- **Sécheresse** : les épisodes de sécheresse et de bas niveau d'eau sont fréquents sur les sites en restauration sous le climat nord-américain. Un déficit en eau peut être résolu de différentes façons : emmagasiner le plus d'eau possible à l'intérieur d'un site, réduire la perte en eau ou procurer une meilleure alimentation en eau. La construction de digues permet d'emmagasiner une grande quantité d'eau en limitant les pertes en eau qui surviennent, surtout à la fonte des neiges. Des digues plus nombreuses contribuent à une meilleure répartition de l'eau et à prévenir les inondations (voir Préparation du site). La présence d'un paillis réduit substantiellement les pertes d'eau par évaporation, mais il faut s'assurer que les digues et le blocage des canaux soient imperméables pour éviter les pertes par ruissellement (voir Blocage des canaux de drainage). Enfin, il est parfois possible d'alimenter un site en eau, en pompant celle d'un canal de drainage voisin par exemple. Dans ce cas, il faut voir à ce que l'eau introduite possède les mêmes caractéristiques chimiques que l'eau des tourbières.

Problèmes associés au vent

La plupart des tourbières exploitées forment de vastes espaces découverts qui sont exposés au vent, notamment celles situées sur le littoral du Nouveau-Brunswick. Plusieurs personnes s'inquiètent du fait que la paille utilisée comme paillis puisse facilement être emportée par le vent et se retrouver sur les planches en exploitation. Étonnamment, de tels problèmes ont rarement été rencontrés, à l'exception de quelques endroits bien spécifiques limités à de petites surfaces. Sur un site expérimental, on a appliqué un filet dégradable sur la paille, aux endroits les plus exposés au vent, et le résultat a montré qu'il n'y avait aucune différence entre les sections qui avaient été recouvertes par le filet et celles qui ne l'avaient pas été. Des observations suggèrent que l'exposition aux précipitations procure une certaine stabilité au paillis qui peut par la suite résister à des vents violents. Les problèmes de déplacement de la paille surviennent généralement peu de temps après son application.

Coût de la restauration

Il est difficile d'estimer de manière précise le coût de la restauration d'une tourbière après l'extraction de la tourbe, parce que les procédures à appliquer changent en fonction des conditions de chaque site. La préparation du terrain et la récolte des plantes sont les deux étapes qui ont le plus de chances de faire varier les coûts de la restauration. Les options spécifiques à la préparation du terrain sont nombreuses et doivent être adaptées aux caractéristiques de la tourbière. Certains sites ne requièrent que quelques interventions, tandis que d'autres en nécessitent beaucoup plus, comme dans le cas de planches au profil convexe et comportant des pentes complexes. La distance et l'accès à un site d'emprunt approprié ont un impact direct sur le coût de la restauration, car le transport est une opération qui demande beaucoup de temps. Un accès difficile au site peut aussi causer des problèmes, tel que l'enlèvement de la machinerie.

On rencontre très peu de problèmes une fois que le site est prêt et que le matériel végétal a été mis en empilements non loin des planches. Le temps requis pour épandre les plantes et la paille, appliquer le fertilisant et bloquer les canaux de drainage ne peut varier que très légèrement. Le temps de manutention des balles de paille est un facteur qui peut parfois accroître le temps requis pour l'épandage de la paille.

L'évaluation des coûts de la restauration doit tenir compte que les coûts d'opération des tracteurs, des équipements et de la main-d'œuvre diffèrent selon les compagnies, et même pour chaque site. C'est pourquoi les coûts sont exprimés en fonction des heures requises pour l'application des procédures (tableau 15). Le coût total de la restauration par hectare a été estimé à 25 heures de travail pour la machinerie et le temps de l'opérateur, et à 800 \$ pour l'achat et la location du matériel. Il est important de mentionner que le temps requis pour effectuer chaque opération a été estimé à partir des expériences menées à grande échelle, notamment au Québec et au Nouveau-Brunswick. Les heures et les montants représentent des approximations; le montant réel peut donc varier. Les sommes sont évaluées en dollars canadiens et reflètent les coûts pour l'année 2002. Le prix de la location d'un épandeur à fumier et d'une pailleuse a été évalué à respectivement 150 \$ et 200 \$ par jour, et ne comprend pas le coût du transport. Le prix de la paille a été estimé à 18 \$/balle pour des balles de paille de 4 pieds de diamètre livrées à la tourbière, à raison de 30 balles par hectare. Le coût du fertilisant est estimé à 500 \$/tonne de roche phosphatée granulaire appliquée à 150 kg/ha, auxquels il faut ajouter 10 \$/ha pour la location d'un distributeur d'engrais.

Tableau 15. Sommaire du temps, des ressources et des montants requis pour la restauration d'une tourbière

	Heures/hectare*	\$/hectare
Préparation du terrain	3,5	0
Récolte des plantes	9	0
Épandage des plantes	4	75
Épandage de la paille	7	640
Fertilisation	0,5	85
Blocage des canaux	1	0
TOTAL	25 heures par hectare	800 \$ par hectare

* Le temps représente le nombre total d'heures requises par la machinerie et les opérateurs pour chacune des interventions. Par exemple, 9 heures peut correspondre à 9 heures de travail pour 1 tracteur et 1 opérateur, ou bien à 3 heures de travail pour 3 tracteurs et 3 opérateurs.

4 Options de réaménagement

Dans certains cas, il peut être impossible de créer des conditions propices à la restauration d'une tourbière ombrotrophe. Il peut ne pas y avoir de source de matériel végétal appropriée essentielle à la restauration. Certaines zones de tourbières, principalement celles localisées en bordure, peuvent difficilement être restaurées, car la tourbe résiduelle y est généralement peu profonde. Ces zones subissent aussi l'influence des terres avoisinantes, souvent drainées, qui sont une source d'éléments nutritifs et d'espèces indésirables. De tels sites pourraient être restaurés en tourbières minérotrophes, mais l'introduction active d'espèces appartenant aux fens en est encore à l'étape de la recherche. Les options qui s'offrent alors sont la conversion en d'autres types de milieux humides ou le réaménagement en faveur d'autres utilisations. Cette section présente brièvement l'approche utilisée en Europe pour la restauration des tourbières, qui s'apparente à la création de milieux humides, ainsi qu'un aperçu de quelques utilisations possibles pour l'agriculture et la sylviculture.

Inondation et gestion de l'eau

L'Allemagne et les Pays-Bas ont été les premiers à s'intéresser à la restauration des tourbières en Europe. L'approche qu'ils ont développée se concentre principalement sur le remouillage et la gestion de l'eau, plutôt que sur la réintroduction de plantes. Le matériel végétal, tel qu'utilisé en Amérique du Nord, est difficilement disponible dans ces pays, en raison de la rareté des tourbières naturelles.

L'objectif visé par cette approche est de stabiliser la nappe phréatique à moins de 40 cm de la surface, afin de fournir des conditions appropriées à la colonisation spontanée par les sphaignes et éviter l'invasion par des espèces n'appartenant pas aux tourbières. L'instabilité de la nappe phréatique est causée par une diminution de la capacité de stockage de l'eau suite à la perte de l'acrotelme. Les efforts sont orientés vers l'amélioration du stockage de l'eau provenant des précipitations, notamment par la construction de digues. Cela se traduit par la création de grands bassins qui sont souvent inondés en hiver, mais où la nappe peut s'abaisser sous la surface en été. Pour plusieurs sites, cette approche a permis la recolonisation spontanée par des espèces de sphaignes adaptées aux plans d'eau, notamment *Sphagnum cuspidatum*. Jusqu'à maintenant, ces interventions n'ont pas conduit au développement d'écosystèmes accumulateurs de tourbe. On rencontre souvent des problèmes associés à l'action des vagues, qui brisent les digues et perturbent la végétation établie. L'invasion par des espèces étrangères aux tourbières est commune, alors que certains sites demeurent sans végétation et forment de grands bassins pauvres et stériles.

Cette approche axée sur le remouillage a été testée à petite échelle en Amérique du Nord, mais a connu peu de succès, principalement à cause des conditions climatiques. L'est et le centre de l'Amérique du Nord connaissent un climat beaucoup plus continental que l'Europe occidentale, caractérisé par un important déficit en eau durant l'été. Malgré un bilan hydrique annuel positif, c'est-à-dire des précipitations excédant l'évaporation, la sécheresse estivale empêche l'établissement spontané des sphaignes. Les conditions hivernales ne favorisent pas non plus le succès de cette approche. Les larges quantités d'eau stockées sous forme de neige deviennent soudainement disponibles en très peu de temps et sont difficiles à contrôler. Il existe un site dans

l'est du Québec qui est inondé de façon permanente et où aucune colonisation spontanée par les espèces propres aux tourbières n'a été observée.

Agriculture

Au Canada, plusieurs tourbières, principalement des fens, ont été utilisées pour l'agriculture, particulièrement dans les régions méridionales. Peu de tourbières à sphaignes ont cependant été utilisées à cet effet après leur exploitation. Le pH bas et la pauvreté de la tourbe résiduelle en éléments nutritifs sont deux facteurs peu propices à l'agriculture. Par contre, la capacité d'échange cationique élevée de la tourbe et ses propriétés de rétention d'eau représentent des avantages non négligeables. L'utilisation des tourbières pour l'agriculture repose principalement sur le choix de méthodes de culture appropriées.

Cultures maraîchères

Les tourbières exploitées peuvent être utilisées pour la culture maraîchère lorsque les conditions le permettent et que le sol a été préparé adéquatement. De bonnes conditions de drainage sont indispensables. Le sol doit être bien drainé, de façon à pouvoir fournir aux plantes un approvisionnement approprié en eau. Cette option ne devrait être choisie que pour des sites ayant une couche substantielle de tourbe résiduelle, car le compactage et la décomposition amènent une perte annuelle de 1 cm d'épaisseur de tourbe, et parce que la faible profondeur de la tourbe ne permet pas un assez bon drainage. Il est suggéré de mélanger le substrat minéral à la tourbe lorsque l'épaisseur de cette dernière est de moins de 25 cm. Le substrat minéral est toutefois souvent imperméable, ce qui peut occasionner de mauvaises conditions de drainage. Pour la plupart des cultures, la nappe phréatique devrait se situer entre 70 et 80 cm sous la surface.

La fertilisation et le chaulage du sol sont nécessaires dans la plupart des cas, mais ils dépendent des caractéristiques du sol et du type de culture visé. Le chaulage est indispensable en raison des conditions d'acidité rencontrées sur les tourbières ombrotrophes. Le but est d'élever et de maintenir le pH entre 5 et 7. Toutefois, la culture de certains petits fruits, tels que les bleuets et les canneberges, nécessite un pH peu élevé. La fertilisation vise à améliorer la disponibilité des éléments nutritifs et des oligo-éléments. Les faibles taux de potassium, de phosphore, de bore et de cuivre trouvés dans la tourbe doivent être compensés par l'ajout de fertilisants et être adaptés selon les cultures. Il est recommandé de mélanger la chaux et les fertilisants dans le sol, puisque ceux-ci ont généralement une faible mobilité dans la tourbe. Dans un premier temps, la couche de tourbe fibrique se décompose, tandis que la teneur en éléments nutritifs, le pH et l'activité biologique augmentent. Il peut s'écouler plusieurs années avant que le nouveau sol ait le temps de se développer, de se stabiliser et qu'il puisse produire un rendement commercial.

Divers types de cultures ont été testés expérimentalement dans quelques tourbières exploitées du Canada. Les expériences ont majoritairement été menées au Nouveau-Brunswick et ont donné des résultats satisfaisants avec les haricots, le chou chinois, le chou-fleur, le céleri, la laitue, les pois et le radis. La culture de la pomme de terre a fait l'objet d'un projet de recherche mené avec la participation du Centre de recherche et de développement de la tourbe. Dans le cadre de cette étude, il a été possible d'obtenir des rendements comparables à ceux de cultures commerciales. La carotte a été cultivée commercialement pendant quelques années dans une partie de la tourbière de Saint-

Charles, au Nouveau-Brunswick. Un autre projet mené en collaboration avec le GRET a expérimenté la culture des oignons, des pommes de terre et du maïs à la tourbière de Saint-Bonaventure, dans le sud du Québec. Les résultats suggèrent qu'il existe un potentiel de production commerciale pour ces cultures.

L'étude menée à la tourbière de Saint-Bonaventure comprenait aussi la plantation du bleuets nain, du bleuets de Corymbe et de l'aronia noir (*Aronia melanocarpa*). Ce site est caractérisé par des profondeurs variables de tourbe et des conditions acides. La préparation du sol s'est limitée à la fertilisation de tous les plants et au buttage de quelques plants de bleuets. La majorité des plants de bleuets ont survécu, mais ils ne se sont pas bien établis. Les espèces indésirables ont rapidement colonisé le site et le buttage a empêché le sarclage mécanique. De meilleurs résultats ont été obtenus avec l'aronia. La croissance des plants a été excellente durant les deux premières années et le rendement semble prometteur. Au Nouveau-Brunswick, la culture de l'airelle (*Vaccinium vitis-idaea*) a été expérimentée sur de petites parcelles, mais les résultats obtenus ont été insatisfaisants. La culture de la chicouté (*Rubus chamaemorus*) est pratiquée sur des tourbières anciennement exploitées en Norvège; l'application en Amérique du Nord des techniques développées dans ce pays est présentement à l'étude.

Pâturage

En Irlande et dans l'est de l'Europe, on convertit fréquemment les tourbières exploitées en pâturages. Au moins deux exemples de ce type de réaménagement existent actuellement au Canada, soit Sugden bog, en Alberta, et East bog, en Saskatchewan. À Sugden bog, il ne restait plus qu'une mince couche de tourbe et le site a été jugé trop sec pour entreprendre des travaux de restauration. Le site a étéensemencé expérimentalement avec des espèces de graminées, puis fertilisé. Les résultats préliminaires suggèrent que cette option pourrait avoir du succès. Il n'existe aucune donnée sur East bog, un site qui a simplement été abandonné vers la fin des années 1980 et qui sert maintenant de pâturage.

Culture de la canneberge

La culture des canneberges présente de l'intérêt, puisqu'elle connaît actuellement un essor considérable et que la demande pour ce fruit ne cesse d'augmenter. Les canneberges sont bien adaptées aux conditions rencontrées dans les tourbières, car elles croissent naturellement dans ces milieux. Elles sont cultivées dans les tourbières depuis près de deux siècles. Les pratiques culturales sont bien connues et ont fait l'objet de plusieurs publications (voir Références). Pour les fins de ce guide, nous présentons un aperçu des conditions et de la préparation requises pour cette culture.

Les conditions requises pour effectuer la culture des canneberges sur une tourbière sont les suivantes :

- **Sol** : un sol acide où le pH varie entre 4,0 et 5,5. Le sol doit être bien drainé dans les couches supérieures et être imperméable à environ 1 à 1,5 m sous la surface. Une couche de 60 cm de tourbe, avec un taux de décomposition faible à modéré (von Post < 6), convient très bien. La couche imperméable est nécessaire pour pouvoir inonder les bassins de culture; autrement, l'eau aurait tendance à s'écouler à travers le substrat. Par conséquent, plus la couche imperméable est profonde, plus grande sera la quantité d'eau nécessaire pour l'inondation.

- **Eau** : un approvisionnement adéquat en eau correspond à 2 à 3 m-ha/ha/an. En d'autres termes, pour chaque hectare en production, une quantité d'eau pouvant remplir un réservoir de un hectare de 2 à 3 mètres de profondeur est nécessaire. L'eau doit être acide (pH 4,5) et pauvre en éléments nutritifs.
- **Sable** : si la culture est effectuée sur des lits de tourbe, il est nécessaire d'appliquer 10 cm de sable la première année, pour ensuite ajouter de 1 à 2 cm à tous les 2 à 4 ans. La couche de sable permet un meilleur enracinement des plants de canneberges. En raison des coûts de transport, il est recommandé qu'une source de sable soit accessible dans un rayon de 10 km.
- **Pente** : comme le fond des bassins de culture doit être plat pour en faciliter l'inondation et le drainage, le site doit avoir une pente douce au départ. On a estimé qu'il n'est pas économique d'aplanir une pente de plus de 2 %.

Les canneberges sont cultivées dans des bassins qui doivent être inondés périodiquement. Elles poussent habituellement sur des surfaces planes, bordées par un canal périphérique d'environ 50 cm de profondeur et entourées par une digue. Pour permettre l'inondation et le drainage, le canal périphérique doit avoir une entrée et une sortie d'eau. De grandes quantités d'eau doivent être emmagasinées dans des réservoirs pour l'inondation. Les canneberges peuvent pousser sur de la tourbe ou sur des lits de sable. On estime qu'il coûte approximativement de 75 000 à 100 000 \$ par hectare pour établir une culture de canneberges et que cela prend environ 5 ans avant que la production atteigne son plein rendement.

Sylviculture

La sylviculture représente une option de réaménagement avantageuse pour les tourbières exploitées, en raison de ses valeurs esthétiques et commerciales. Beaucoup d'études ont été faites sur les façons d'augmenter la croissance et le rendement des peuplements déjà existants sur les tourbières, mais jusqu'à maintenant, on a accordé peu d'importance à la plantation. La plupart des recherches sur le potentiel d'utilisation des tourbières exploitées pour la sylviculture commerciale ont été faites en Irlande et en Finlande, et les perspectives semblent bonnes. En Amérique du Nord, des plantations expérimentales ont été effectuées sur quelques hectares à la tourbière de Pointe-Sapin, au Nouveau-Brunswick, en 1990, 1991 et 1994, et plus récemment, de 2000 à 2002, aux tourbières de Baie Sainte-Anne et de Bai-du-Vin, au Nouveau-Brunswick, et de Saint-Bonaventure, au Québec. Il ressort des études que les facteurs les plus importants responsables du succès de la plantation d'arbres sur des tourbières exploitées sont la fertilisation, l'épaisseur de la tourbe résiduelle, la préparation du sol et les espèces d'arbres utilisées.

Fertilisation : la fertilisation est indispensable, car la tourbe est pauvre en phosphore, en potassium et en oligo-éléments, notamment en bore. Des fertilisants à dégagement lent (slow release), riches en ces éléments, sont habituellement utilisés. La façon selon laquelle le fertilisant est appliqué a aussi une incidence sur le taux de réussite. L'utilisation de pastilles enfouies dans la tourbe est recommandée. Les méthodes de fertilisation en surface donnent lieu à la prolifération d'espèces indésirables qui entrent en compétition avec les arbres.

Profondeur de la tourbe : la profondeur de la tourbe influence le drainage et l'accès au substrat minéral. Dans la majorité des tourbières exploitées, le drainage est déjà présent et prévient les conditions de saturation en eau. Des problèmes de drainage peuvent apparaître lorsque la tourbe résiduelle est peu profonde et qu'elle repose sur un dépôt d'argile. Il est recommandé de laisser un minimum de 60 cm de tourbe pour prévenir de telles situations. Dans d'autres cas, il s'est avéré nécessaire de bloquer les canaux de drainage existants pour pallier aux conditions de sécheresse. Les dépôts de tourbe peu profonds ont toutefois l'avantage de faciliter l'enracinement dans le sol minéral et l'accès aux nutriments. Des études récentes montrent que des arbres plantés sur un dépôt tourbeux de moins de 30 à 35 cm de profondeur ne nécessitent pas de fertilisation à long terme.

Préparation du sol : la préparation du sol vise à faciliter l'enracinement des arbres en rendant la tourbe moins compacte par un labourage ou par l'utilisation d'autres équipements utilisés en agriculture, tels qu'une herse à disques ou un rotoculteur. En Europe, on combine fréquemment le passage d'un rotoculteur avec la fertilisation, afin d'incorporer le fertilisant au sol. Le labourage peut aussi être utilisé pour mélanger la tourbe avec le substrat minéral sous-jacent, lorsque la profondeur de la tourbe le permet.

Espèces d'arbres : le mélèze laricin (*Larix laricina*) et l'épinette noire (*Picea mariana*) sont les deux espèces les plus souvent plantées dans les tourbières exploitées au Canada. Au Nouveau-Brunswick, ces deux espèces ont obtenu d'excellents taux de survie et de croissance. Le pin gris (*Pinus banksiana*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), l'érable rouge (*Acer rubrum*) et le peuplier hybride ont également été plantés dans le sud du Québec.

Les espèces envahissantes représentent un problème majeur pour les plantations forestières. Ce problème survient particulièrement lorsque les fertilisants ou les minéraux sont appliqués à la surface de la tourbe. Un contrôle annuel des espèces indésirables est nécessaire jusqu'à ce que les arbres aient atteint une hauteur suffisante. Dans le sud du Québec, les espèces à feuilles caduques, telles que le peuplier hybride et l'érable rouge, ne se sont pas bien établies et plusieurs plantations ont sérieusement été affectées par le broutage des cervidés (cerf de Virginie). En Irlande, c'est le broutage par les lapins qui représente un problème majeur. Au Nouveau-Brunswick, le coût de la plantation forestière a été estimé à 1 250 \$ par hectare.

5 Guide de référence rapide

Objectifs de la restauration des tourbières

- Rehausser et stabiliser la nappe phréatique près de la surface de la tourbe et répartir l'eau le plus également possible sur tout le site. Pour améliorer l'accès à l'eau pour les plantes et diminuer les probabilités d'inondations et de sécheresses.
- Établir un nouveau tapis muscinal composé d'espèces de tourbières, et plus particulièrement de sphaignes. Ceci implique la récolte de fragments de plantes dans des endroits naturels, pour ensuite les épandre sur les sites en restauration, en prenant bien soin de les protéger avec un paillis et de les fertiliser afin d'accélérer le processus d'établissement.

Procédure pour la restauration

Objectifs	Opération*	À faire/À éviter	Ressources	Temps requis par hectare**	À planifier à l'avance
Préparation du site					
- Retenir le plus d'eau possible à l'intérieur du site - Favoriser une distribution égale de l'eau - Créer des surfaces de tourbe adéquates pour l'établissement des plantes	- Ériger des digues, conformément aux caractéristiques du site - Aplanir les planches au profil convexe - Enlever la tourbe meuble en surface - Retirer ou utiliser la végétation actuelle	- Ne jamais atteindre le sol minéral - Compacter les digues - Une fois les canaux remplis ou bloqués, la nappe phréatique peut s'élever rapidement et créer des conditions de sol mou	- Tout équipement pouvant pousser et compacter la tourbe - Une niveleuse est recommandée	- 3,5 heures au total pour une niveleuse ou tout autre équipement - Varie beaucoup selon les options de préparation choisies	- Visiter le site afin de déterminer les options de préparation requises - Positionner les digues conformément aux caractéristiques du site - Marquer l'emplacement des digues pour faciliter le travail de l'opérateur de machinerie
Création de mares					
- Augmenter la biodiversité et la valeur écologique du site	- Créer des mares où y aura de l'eau en permanence	- Spécifications recommandées pour les mares : • Dimensions 75 - 100m² • Profondeur 1 - 2 m • Une pente douce et une pente abrupte - Ne pas atteindre le substrat minéral	- Rétrocaveuse - Branches ou petits arbres pour les structures émergentes	- 1 heure au total par mare	- Localiser et marquer l'emplacement des mares en respectant les conditions requises d'épaisseur de tourbe

Procédure pour la restauration (suite)

Objectifs	Opération*	À faire/À éviter	Ressources	Temps requis par hectare**	À planifier à l'avance
Récolte des plantes					
- Récolter la bonne quantité de matériel végétal et s'assurer de la qualité du matériel	- Sélectionner et délimiter avec soin le site d'emprunt comportant les communautés végétales recherchées - Déchiqueter les 10 premiers centimètres de la végétation en surface - Ramasser et transporter le matériel végétal au site de restauration	- Il est essentiel que le site d'emprunt comporte les communautés végétales adéquates - La superficie du site d'emprunt doit représenter les 1/10 de celle du site de restauration	- Rotoculteur ou autre équipement pour déchiqueter la végétation en surface - Équipement pour empiler le matériel végétal et le charger dans des remorques - Remorque pour transporter le matériel végétal	- 1 heure pour déchiqueter la végétation en surface** - 8 heures pour ramasser le matériel végétal, en incluant le transport - 9 heures au total - le temps requis varie beaucoup en fonction des distances à parcourir et de l'accès au site d'emprunt	- Mesurer les superficies du site de restauration et du site d'emprunt - Sélectionner et délimiter le site d'emprunt - Choisir un endroit pour l'entreposage du matériel végétal. - Se référer aux procédures de récolte des plantes au printemps, si cela s'applique
Épandage des plantes					
- Couvrir les surfaces du site de restauration avec des fragments de plantes, afin d'établir un nouveau couvert végétal	- Épancher les fragments de plantes sur toute la surface du site de restauration avec un épandeur à fumier	- La couche de matériel végétal devrait être de 1 à 2 cm d'épaisseur et couvrir toute la surface - Éviter de passer sur le matériel végétal une fois qu'il a été épanché - Appliquer la paille le plus tôt possible après avoir épanché le matériel végétal	- Épandeur à fumier (coût de location estimé à 75 \$/ha) - Chargeuse ou autre équipement pour charger le matériel végétal dans l'épandeur	- 1 heure pour une chargeuse - 3 heures pour un tracteur muni d'un épandeur - 4 heures au total	- Louer un épandeur à fumier
Épandage de la paille					
- Améliorer les conditions de croissance des fragments de plantes avec un paillis qui crée une couche d'air plus fraîche et plus humide à l'interface air-tourbe	- Appliquer un paillis de paille au-dessus des fragments de plantes	- Éviter de passer sur le matériel végétal pendant l'épandage du paillis - Appliquer la paille le plus vite possible après avoir épanché le matériel végétal	- Pailleuse (coût de location estimé à 85 \$/ha) - Paille : 25 à 30 balles rondes de 4 pieds de diamètre ou 18 à 20 balles rondes de 5 pieds par hectare (coût estimé à 540 \$/ha)	- 7 heures au total	- Acheter de la paille à l'avance, surtout dans les régions où l'agriculture n'est pas intensive - Transporter les balles de paille sur chaque planche ou près du site de restauration

Procédure pour la restauration (suite)

Objectifs	Opération*	À faire/À éviter	Ressources	Temps requis par hectare**	À planifier à l'avance
Épandage de la paille (suite)					
		- Appliquer la bonne quantité de paille : • Trop de paille empêche les plantes d'avoir accès à la lumière • Pas assez de paille n'offre pas une protection suffisante pour les plantes - Ne pas hacher la paille			- Trouver un endroit d'entreposage sec pour les balles de paille - Louer une pailleuse à balles rondes
Fertilisation					
- Fournir les éléments nutritifs adéquats pour favoriser l'établissement rapide d'un tapis de mousses	- Appliquer un fertilisant riche en phosphate	- Le taux de phosphate (P_2O_5) à appliquer est de 19,5 kg/ha - Dans le cas de roche phosphatée, appliquer 150 kg/ha - Ajuster correctement l'épandeur d'engrais - Éviter le déversement de fertilisant dans les cours d'eau	- On recommande l'utilisation d'un épandeur conique qui s'adapte sur la prise de force d'un tracteur (coût de location estimé à 10 \$/ha) - Le fertilisant recommandé est la roche de phosphate granulaire (coût estimé à 75 \$/ha)	- 0,5 heure au total pour un tracteur équipé d'un distributeur d'engrais conique	- Acheter le fertilisant et l'entreposer dans une endroit sec - Louer un distributeur d'engrais
Blocage des canaux					
- Éliminer les pertes d'eau par les canaux - Retenir le plus d'eau possible à l'intérieur du site - Assurer une répartition de l'eau la plus égale possible sur le site de restauration	- Nettoyer les deux côtés des canaux pour une meilleure étanchéité - Bloquer les canaux et les remplir de tourbe humide décomposée sur une distance de 2 m - Bien compacter la tourbe	- Effectuer le blocage des canaux à la fin des opérations dans les cas où la nappe phréatique pourrait s'élever trop rapidement - Les canaux devraient être bloqués à tous les 50 à 75 m, et plus près dans le cas de planches en pente	- Une rétrocaveuse ou une benne (<i>clamshell bucket</i>) sont recommandées, car elles peuvent nettoyer les surfaces et atteindre plus facilement la tourbe humide et très décomposée en profondeur	- 1 heure au total	- Évaluer les risques d'une élévation rapide de la nappe phréatique et choisir avec soin le meilleur moment pour effectuer le blocage des canaux

Procédure pour la restauration (suite)

Objectifs	Opération*	À faire/À éviter	Ressources	Temps requis par hectare**	À planifier à l'avance
Blocage des canaux (suite)					
		- De la tourbe bien décomposée crée un blocage plus solide et plus plus imperméable - Éviter la présence de bois ou de tout autre matériel dans la tourbe utilisée pour le blocage - Ne jamais atteindre le substrat minéral			

* Les opérations sont présentées dans un ordre chronologique.

** Le temps requis inclut le temps total pour les opérateurs et la machinerie. Par exemple, 2 heures peuvent représenter 1 heure pour un tracteur muni d'un épandeur à fumier, une heure pour une chargeuse et 2 heures pour un opérateur.

*** Le nombre d'heures pour la récolte des plantes représente le temps requis par hectare de la superficie à restaurer et non pas pour un site d'emprunt.

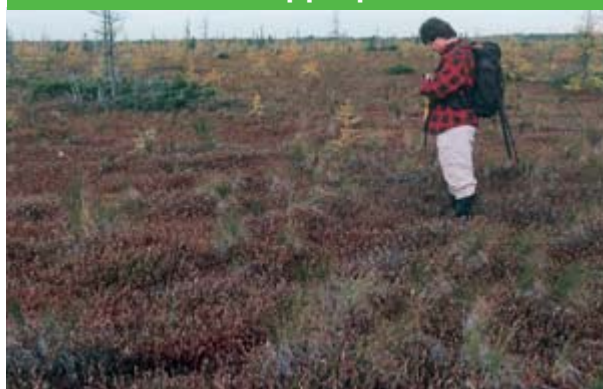
6

Clé d'identification des sites d'emprunt

Cette clé aide à identifier la situation qui correspond le mieux aux secteurs des tourbières naturelles qui peuvent servir de sites d'emprunt, en déterminant s'ils comportent les communautés végétales recherchées pour la restauration. Cette clé ne permet pas une évaluation précise et elle ne s'applique qu'aux communautés végétales des tourbières à sphaignes du nord-est de l'Amérique.

1. Il s'agit d'un site humide où l'eau apparaît sous nos pieds lorsque nous marchons dans des conditions normales d'été.

Site approprié



A. Le tapis muscinal est dominé par *Sphagnum rubellum* avec des éricacées < 40 cm ou des espèces graminoides. (Photo : M. Poulin)

Site inapproprié



B. Le tapis muscinal est dominé par d'autres espèces de sphaignes (principalement vertes ou jaunâtres); présence de mares ou de dépressions recouvertes d'un tapis noir. (Photo : M. Poulin)

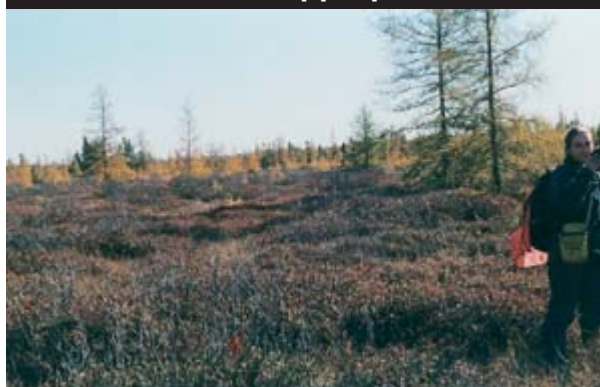
2. C'est un site où l'eau apparaît seulement (ou pas du tout) lorsqu'on presse une poignée de sphaignes.

Site approprié



A. Le tapis muscinal est dominé par *Sphagnum fuscum* ou *Sphagnum rubellum* ou par d'autres mousses (*Polytrichum* ou *Dicranum*), avec ou sans lichens, et avec des éricacées plus ou moins denses de 20 à 50 cm de hauteur. La topographie peut être bosselée ou non. (Photo : M. Poulin)

Site inapproprié



B. Le tapis de mousses est dispersé ou inexistant, la tourbe nue ou la litière sont dominantes avec une strate dense d'éricacées hautes (> 50 cm). (Photo : M. Poulin)

Description de quelques espèces de plantes de tourbières

Pour identifier les communautés végétales les plus appropriées pour la restauration, il est nécessaire de pouvoir reconnaître quelques espèces de plantes. Le rôle joué par les sphaignes, le polytric (*Polytrichum strictum*) et d'autres plantes comme les éricacées est important pour la restauration d'une tourbière. La présence de ces différentes espèces se révèle être un bon critère pour déterminer si un site d'emprunt est approprié ou non. Même si l'on trouve la plupart de ces espèces dans presque toutes les régions du globe, elles reflètent principalement la végétation propre aux tourbières ombrotrophes du nord-est de l'Amérique du Nord.

Sphaignes

Les sphaignes sont un genre de mousses que l'on associe aux tourbières ombrotrophes, car elles forment la majeure partie du tapis muscinal de ces écosystèmes. Les sphaignes possèdent une structure unique qui les différencie des autres mousses. Elles se composent d'une tige principale, sur laquelle se disposent des groupes ou fascicules de branches qui sont recouvertes de feuilles (figure 4). L'élément le plus significatif est le capitule que l'on trouve à l'extrémité de la tige. Au Canada, on compte jusqu'à 60 espèces de sphaignes; elles sont cependant difficiles à différencier pour les personnes qui ne possèdent pas d'expertise en la matière. Deux espèces sont particulièrement importantes lors de la restauration des tourbières, car elles offrent le meilleur potentiel pour l'établissement d'un nouveau tapis muscinal. Ce sont *Sphagnum fuscum* et *Sphagnum rubellum*.

Sphagnum fuscum : petite espèce qui forme des buttes compactes souvent appelées « hummocks ». Les individus de cette espèce sont habituellement bruns, mais ils peuvent être verts dans les habitats ombragés (figure 26). La tige, qui est toujours brun foncé, permet d'identifier facilement *Sphagnum fuscum*. Dans les Maritimes, on trouve une espèce similaire, *Sphagnum flavicomans*, qui est plus grosse, mais qui peut aussi être utilisée pour la restauration des tourbières.



Figure 26. Photo d'un tapis de sphaignes principalement composé de *Sphagnum fuscum*. (Photo : L. Rochefort)

Sphagnum rubellum : petite espèce que l'on peut trouver sur les buttes, les surfaces planes ou dans les dépressions. Les individus de cette espèce sont presque toujours partiellement ou complètement rouges, mais ils peuvent aussi être vert dans les endroits ombragés (figure 27). Sa couleur rouge et sa taille sont les deux meilleures caractéristiques pour reconnaître facilement cette espèce. Elle pousse souvent en présence de *Sphagnum fuscum*.



Figure 27. Photo d'un tapis de sphaignes principalement composé de *Sphagnum rubellum*. (Photo : R. Gauthier)

Polytrichum (polytric)

Le *Polytrichum* ou polytric est un autre genre de mousses présent dans les tourbières ombrotrophes, notamment l'espèce *Polytrichum strictum*. Ces mousses jouent un rôle significatif en restauration de tourbières, puisqu'elles se propagent rapidement après l'application de fertilisant. Les tapis ainsi formés offrent des conditions favorables à l'établissement des sphaignes et stabilisent les substrats de tourbe sujets aux perturbations.



Figure 28. Photo d'un tapis de *Polytrichum strictum* et illustration d'un individu de cette espèce. (Photo : F. Quinty)

Contrairement aux sphaignes, le polytric se distingue par l'absence de capitule et par la présence, à certaines périodes, d'une longue tige terminée par une capsule (figure 28). Plusieurs autres espèces de mousses possèdent des caractéristiques similaires, mais on en trouve peu qui vivent dans les tourbières à sphaignes, à l'exception des espèces du genre *Dicranum*. Le polytric a des feuilles généralement plus foncées et plus épaisses que *Dicranum*, et se caractérise par la présence de petits poils blancs et soyeux qui forment un manchon à la base de la tige.

Dicranella cerviculata

Dicranella cerviculata est une très petite mousse, de 1 à 6 mm de hauteur. Elle se répand facilement sur les sites de restauration et forme un tapis semblable à du velours (figure 29). Elle aide à stabiliser le substrat tourbeux.



Figure 29. Photo d'un tapis de *Dicranella cerviculata*. (Photo : F. Quinty.)

Eriophorum (linaigrette)

Les *Eriophorum* ou les linaigrettes sont des plantes pionnières que l'on trouve fréquemment dans les tourbières abandonnées. *Eriophorum spissum* et *Eriophorum angustifolium* sont les deux espèces les plus communes. Ce sont des plantes graminéoïdes de la famille des laïches ou carex (*sedge* en anglais). La présence de fruits ou infrutescences munis de soies ressemblant à des boules de coton est l'une de leurs principales caractéristiques.

Eriophorum spissum ou linaigrette dense forme des touffes massives créant des buttes appelées touradons (figure 30). Une seule infrutescence blanche se trouve au bout de chaque tige.



Figure 30. Photo montrant un groupe de touradons d'*Eriophorum spissum*. (Photo : F. Quinty)

Eriophorum angustifolium comprend une tige unique qui se développe à partir d'un rhizome souterrain (racine horizontale). Les tiges de cette espèce portent habituellement de 2 à 3 petites infrutescences blanches et pendantes (figure 31).



Figure 31. Photo d'*Eriophorum angustifolium*.
(Photo : S. Boudreau)

Éricacées

Les éricacées sont une famille de plantes à laquelle appartiennent les bleuets et qui forment généralement des arbustes. On les trouve en abondance dans les tourbières, où elles forment un couvert plus ou moins dense de 10 à 100 cm de hauteur. Ces arbustes gardent souvent leurs feuilles en hiver et celles-ci sont habituellement épaisses et résistantes. On peut facilement différencier les espèces les plus communes.

Le *Chamaedaphne calyculata* (cassandre ou petit-daphné caliculé) est l'une des espèces d'éricacées les plus communes dans les tourbières naturelles et les sites en restauration. Elle semble s'établir rapidement à partir du matériel végétal utilisé pour la restauration de tourbières. On l'identifie par ses feuilles souvent orientées vers le haut et tachetées de picots blanc ou roux (figure 32). Les fleurs ressemblent à de petites cloches blanches suspendues sous les branches.



Figure 32. Illustration de *Chamaedaphne calyculata*.

Le *Ledum groenlandicum* (ledon du Groenland ou thé du Labrador) est aussi très commun dans les tourbières et dans les sites restaurés. Il se caractérise par des feuilles aux bords enroulés et munies de poils formant un velours brunâtre sur la face inférieure (figure 33). Les fleurs forment des ombelles blanches au bout des branches.



Figure 33. Illustration de *Ledum groenlandicum*.

Le *Kalmia angustifolia* (kalmia à feuilles étroites ou crevard des moutons) est répandu dans les tourbières naturelles mais ne semble pas aussi bien s'établir que le *Chamaedaphne calyculata* et le *Ledum groenlandicum* à partir du matériel végétal dans les sites en restauration. Ses feuilles sont en groupe de trois; elles sont foncées sur le dessus et pâles en dessous (figure 34). Les fleurs ressemblent à des petites soucoupes roses et elles forment des grappes le long des tiges.



Figure 34. Illustration de *Kalmia angustifolia*.

7 Références

Général

Chapman, D. 2002. Peatlands and Environmental Change. John Wiley and Sons, Chichester, Royaume-Uni.

Groupe de travail national sur les terres humides. 1988. Terres humides du Canada. Série de la classification écologique du territoire, No. 24. Direction du Développement durable, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa, Ontario, et Polyscience Publications Inc., Montréal, Canada.

Hoosten, H. et D. Clarke. 2002. Wise Use of Mires and Peatlands – Background and Principles Including a Framework for Decision-making. International Mire Conservation Group et International Peat Society, Helsinki, Finlande.

Lappalainen, E. (éd.). 1996. Global Peat Resources. International Peat Society et Geological Survey of Finland, Jyskä, Finlande.

Manneville, O. 1999. Le monde des tourbières et des marais. Delachaux et Niestlé S.A. Lausanne, Suisse.

Payette, S. et L. Rochefort (éd.). 2001. Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.

Rochefort, L. et J.-Y. Daigle (éd.). 2000. Pour une gestion harmonieuse des tourbières. Actes du 11^{ème} Congrès international de la tourbe. Canadian Society of Peat and Peatlands et International Peat Society, Edmonton, Canada.

Warner, B. G. et C. D. A. Rubec (éd.). 1997. The Canadian Wetland Classification System, seconde édition. National Wetlands Working Group. Wetlands Research Centre, University of Waterloo, Waterloo, Canada.

Récolte de la tourbe

Daigle, J.-Y. et H. Gautreau-Daigle. 2001. L'extraction de la tourbe et l'environnement au Canada, deuxième édition. North American Wetlands Conservation Council Committee, Sustaining Wetlands Issues Paper, No. 2001-1, Ottawa, Canada.

O'Connell, S. 2000. Cutover and Cutaway Bogs. Irish Peatland Conservation Council, Dublin, Irlande.

Hydrologie

Ingram, H. A. P. 1983. Hydrology. Dans : A. J. P. Gore (éd.) Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor. General studies. Ecosystems of the world 4A: General studies. P. 67-158. Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas.

Price, J. S. 1996. Hydrology and microclimate of a partly restored cutover bog, Québec. *Hydrological Processes*, 10: 1263-1272.

Price, J. S. 1997. Soil moisture, water tension, and water table relationships in a managed cutover bog. *Journal of Hydrology*, 202: 21-32.

Price, J. S. et J. M. Waddington. 2000. Advances in Canadian wetland hydrology and biogeochemistry. *Hydrological Processes*, 14: 1579-1589.

Price, J. S. 2001. L'hydrologie. Dans : S. Payette et L. Rochefort (éd.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. P. 141-158. Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.

Réaménagement

Daigle, J.-Y., A. Arseneau et H. Gautreau-Daigle. 1988. Les utilisations potentielles des tourbières suite à leur exploitation commerciale. Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux et de l'énergie. Dossier public 88-7. Nouveau-Brunswick, Canada.

Hall, I. V., R. A. Murray, C. R. Blatt, C. L. Lockhart, R. W. Delbridge, G. W. Wood et C. J. S. Fox. 1981. La culture des canneberges. Agriculture Canada, Publication 1282F, Ottawa, Canada.

Vasander, H. (éd.) 1996. Peatlands in Finland. Finnish Peatland Society, Helsinki, Finlande.

Restauration

Money, R. P. et B. D. Wheeler. 1999. Some critical questions concerning the restorability of damaged raised bogs. *Applied Vegetation Science*, 2: 107-116.

Rochefort, L. 2001. Restauration écologique. Dans : S. Payette et L. Rochefort (éd.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. P. 449-504. Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.

Rochefort, L. et J. S. Price (éd.). 2003. Restoration of *Sphagnum* dominated Peatlands. *Wetlands Ecology and Management*, 11(1-2; numéro thématique).

Wheeler, B. D. et S. C. Shaw. 1995. Restoration of Damaged Peatlands. Department of Environment. Her Majesty Stationary Office, Londres, Royaume-Uni.

Wheeler, B. D., S. C. Shaw, W. J. Fojt et R.A. Robertson (éd.). 1995. Restoration of Temperate Wetlands. John Wiley and Sons, Chichester, Royaume-Uni.

Sphaignes

Bastien, D.-F. et M. Garneau. 1997. Clé d'identification macroscopique de 36 espèces de sphaignes de l'est du Canada. Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada. Rapport divers No. 61, Ottawa, Canada.

Gauthier, R. 2001. Les sphaignes. Dans : S. Payette et L. Rochefort (éd.). Écologie des tourbières du Québec-Labrador. P. 91-127. Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.

McQueen, C. B. 1990. Field Guide to the Peat Mosses of Boreal North America. University Press of New England, Hanover et Londres.

Rochefort, L. 2000. *Sphagnum*—A keystone genus in habitat restoration. The Bryologist, 103: 503-508.

Tourbe

Bastien, D.-F. 2002. Guide d'identification macroscopique des principaux types de tourbe du Québec méridional. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 2002-15, Québec, Canada.

Annexe A

Projets de restauration de tourbières à grande échelle au Canada

Projets de restauration de tourbières à grande échelle au Canada

Site/Compagnie*	Année	Superficie (hectares)	Conditions du site**	Interventions	Résultats	Commentaires
Chemin-du-Lac, Québec/Premier Horticulture	1995, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002	15,5	Site très sec avec pentes complexes sur des planches courtes. Conditions acides avec un pH de 4,0. La profondeur de la tourbe varie entre 30 et 100 cm. Le substrat minéral est composé d'argile.	Applications de l'approche canadienne. Une topographie ondulée a été créée sur les sites de 1995 et 1997. Des digues en damiers ont été construites dans les sections restaurées en 1999, 2000 et 2001. Tous les canaux ont été remplis, à l'exception de ceux du site de 1995. Aucun fertilisant n'a été appliqué sur les sites en 1999, 2000 et 2001.	Bon établissement des plantes sur tous les secteurs. Sept ans après les travaux de restauration, la végétation recouvre plus de 80 % du sol du site restauré en 1995.	
Rivière-Ouelle, Québec/Tourbières Lambert - GRET	1997	5	Site abandonné depuis 11 ans lors de l'application des procédures de restauration. Site très sec à la marge de la tourbière, bordé par un large canal principal. Topographie plane et conditions acides, avec une épaisseur de tourbe d'environ 120 cm.	Planches aplanies et digues érigées perpendiculairement à la pente. Application de l'approche canadienne, à l'exception de la fertilisation qui a été expérimentée localement en 1998.	Bons résultats après 3 ans, à l'exception des dommages causés par le soulèvement gélival. Moins de dommages dans les zones fertilisées. Plus de polytrich et de plantes vasculaires dans les bandes fertilisées.	Site expérimental comportant des parcelles mises en place en 1993. Dégénération de la végétation établie et retour des conditions sèches après la réouverture des canaux en 1999.
Inkerman Ferry, Nouveau-Brunswick/Compagnie de tourbe Falardeau - GRET	1997	5	Site caractérisé par une pente abrupte (1-2 %) et des conditions sèches. Plus de 175 cm d'épaisseur de tourbe en moyenne et conditions acides. Le site a été hersé périodiquement jusqu'au début des travaux de restauration, pour éliminer les plantes indésirables.	Planches aplanies et canaux remplis de tourbe. Quatre digues ont été construites le long des courbes de niveau, Application de l'approche canadienne, à l'exception de la fertilisation. Le fertilisant a été appliqué à l'automne 1998 sur des parcelles expérimentales.	Bon établissement des plantes durant les deux premières années, suivi d'une invasion de limaçonniers.	Problèmes de soulèvement gélival durant les deuxième et troisième années après les travaux de restauration. Une deuxième application de paille et de fertilisant a été faite localement afin de remédier au problème.
Baie-Sainte-Anne, Nouveau-Brunswick/Tourbières Berger	1998, 2000	6,5	Site exploité jusqu'en 1998. Les canaux sont peu profonds et non fonctionnels. Il reste environ 50 cm de tourbe. Le pH de la tourbe varie entre 3,5 et 4,0.	La surface a été aplanie et les canaux bloqués à intervalles réguliers. En 1998, on a seulement épanché du matériel végétal. En 2000, on a épanché du matériel végétal et de la paille.	Les fragments de plantes n'ont pas survécu après leur introduction sans paillis en 1998. Faible taux d'établissement des plantes après la nouvelle introduction en 2000.	L'établissement des plantes est meilleur près des anciens canaux à cause des conditions plus humides. Les planches au profil convexe ne favorisent pas un bon remouillage.

Projets de restauration de tourbières à grande échelle au Canada (suite)

Site/Compagnie*	Année	Superficie (hectares)	Conditions du site**	Interventions	Résultats	Commentaires
Saint-Henri, Québec/Premier Horticulture	1997	18	Site abandonné depuis environ 10 ans lors de l'application des procédures de restauration. Les secteurs plus secs ont été lentement colonisés par les arbres. La profondeur de la tourbe varie entre 30 et 50 cm.	Des digues périphériques et perpendiculaires à la pente ont été construites. Du matériel végétal à été épandu à la main. Aucune application de fertilisant ou de paille.	Site caractérisé par des sections sèches avec un faible étalement des plantes, et par des sections plus humides avec des sphagnum et d'autres espèces de tourbières.	Des mammifères brisent les digues à chaque année.
Saint-Charles, Québec/Les tourbes Nirom - GRET	1999	1	Site abandonné depuis environ 25 ans lors de l'application des procédures de restauration. La profondeur du substrat résiduel est de 35 à 125 cm, avec du matériel minéral sur la tourbe le long des canaux de drainage. Site avec des variations importantes du niveau d'eau et une topographie plane. Conditions acides. Le site est peu colonisé par la végétation.	Application de l'approche canadienne. La paille a été épandue à la main.	Très bon étalement des plantes avec un pourcentage de recouvrement de plus de 50 % après 2 ans. Grande diversité d'espèces possiblement causée par la présence de matériel minéral.	Inondations superficielles au printemps, mais conditions très sèches pendant l'été.
Bois-des-Bel, Québec/GRET	1999 à 2000	8	Site abandonné depuis environ 20 ans lors de l'application des procédures de restauration. Topographie plane avec 1 à 3 m de tourbe résiduelle. Conditions sèches avec un pH de 3,5 à 4,0. Possibilité de contamination par de l'eau enrichie dans les canaux. Site partiellement colonisé par la végétation.	Surface des planches rafraîchie avec une niveleuse; le matériel de surface et la végétation ont été mis dans les canaux ou utilisés pour construire des digues. Application de l'approche canadienne avec construction de 4 digues le long des courbes de niveaux. Création de 8 mares.	L'étalement de la végétation a été rapide dès le début. Le remouillage a aussi été rapide une fois tous les canaux bloqués. La création des mares a permis le retour de plusieurs espèces fauniques.	Site expérimental faisant l'objet d'un suivi à long terme de la restauration et des fonctions de l'écosystème.
Sainte-Marguerite, Québec/Johnson & Johnson - Planirest environnement	1999 à 2002	162	Site exploité par la coupe par blocs et par aspiration, abandonné depuis moins de 5 ans lors de l'application des procédures de restauration. Conditions relativement humides avec inondation printanière. Topographie plane avec un peu plus de 1 m de tourbe résiduelle. Conditions acides.	Application de l'approche canadienne. Les planches coupées par blocs ont été aplanies par hersage et redrainées. Construction de digues périphériques.	L'étalement des plantes et des sphagnum est favorisé par les conditions humides. Les mousses dominent le nouveau couvert végétal.	Les conditions générales varient selon la méthode d'extraction. Les planches coupées par blocs sont plus humides que celles qui ont été aspirées mécaniquement.

Projets de restauration de tourbières à grande échelle au Canada (suite)

Site/Compagnie*	Année	Superficie (hectares)	Conditions du site**	Interventions	Résultats	Commentaires
Pit Bog, Saskatchewan/Premier Horticulture	1999	43	Site exploité jusqu'en 1997. La profondeur moyenne de la tourbe est de 50 cm et le pH de la tourbe varie entre 4,8 et 5,5. Site très sec.	Application de l'approche canadienne à l'exception de la fertilisation. Une seconde application de paille sur des surfaces mises à nu a été faite en 2000. Le site entier a été restauré en une seule fois.	La végétation établie est dominée par des espèces de fen modérément pauvre à riche en périphérie, et par des espèces de bog au centre du site. Très peu de sphaignes poussent sur le site.	Sites très sec. Les résultats reflètent partiellement les caractéristiques du site d'emprunt, car il est localisé dans une zone de transition entre le bog et la forêt de conifères environnante.
Maisonnette, Nouveau-Brunswick/Sungro Horticulture - GRET	2000	12	Site formé par l'extrémité d'une série de planches à la marge de la tourbière. La profondeur de la tourbe est de 15 à 100 cm et le pH de 3,9 à 4,0. On trouve du matériel minéral sur la tourbe le long des canaux. Topographie plane et conditions sèches.	On a creusé un nouveau canal afin d'isoler le site en restauration des planches qui sont encore en exploitation. Application de l'approche canadienne, à l'exception de la fertilisation qui a été appliquée à différentes périodes pour des fins expérimentales. Application de pailles en 2001 sur certaines planches.	Faible taux d'établissement des plantes durant les deux premières années, avec un couvert de moins de 12 %, vraisemblablement dû à l'impossibilité d'appliquer le fertilisant et la paille au bon moment.	Site expérimental utilisé pour tester le moment d'application du fertilisant. L'élévation rapide de la nappe phréatique a retardé l'application du pailles et du fertilisant.
Kent, Nouveau-Brunswick/Compagnie de tourbe Fafard	2001	4,5	Site sur deux niveaux à topographie relativement plane. La profondeur de la tourbe varie de plus de 100 cm à moins de 50 cm. Conditions acides. Le site est bordé par un canal principal.	Les planches ont été aplanies et des digues ont été construites. Application de l'approche canadienne. Le fertilisant a été épandu manuellement.	Aucun résultat disponible.	

* Compagnie ou organisation responsable des travaux de restauration.

** Pour tous les sites, sauf si indiqué, la tourbe a été récoltée par aspiration.

Annexe B

Projets de réaménagement de tourbières à grande échelle au Canada

Projets de réaménagement de tourbières à grande échelle au Canada

Site/Compagnie*	Année	Superficie (hectares)	Conditions du site**	Interventions	Résultats	Commentaires
Pointe-Sapin, Nouveau-Brunswick/ ASB Greenworld	1990, 1991, 1994	3	Profondeur de la tourbe variant de 15 à 115 cm sur dépôt sableux acide. Le pH de la tourbe est de 3,5.	Plantation de mélèze (1994) et d'épinette noire (1990 et 1991). La terre a été labourée avant la plantation de 1990. Fertilisation locale (<i>spot fertilization</i>) durant quelques années pour les plantations de 1990. Le labourage et le chaulage ont été effectués pour les plantations de 1991 et de 1994.	Le taux de croissance des mélèzes est comparable à celui des plantations commerciales.	
Pokesudie, Nouveau-Brunswick/Groupe Qualité - Lamèque	1990 à 1997	4	Site abandonné exposé au vent en bordure de la mer.	Création de bassins de culture de canneberge sur 2 ha et de réservoirs d'eau. Site expérimental servant à tester des variétés de canneberges et différentes méthodes de récolte, de lutte contre les parasites et de protection hivernale.	La réussite de l'établissement de 2 des 5 variétés de canneberge implantées confirme qu'il est possible de réaménager les tourbières exploitées pour cette culture.	La culture de canneberge a cessé à l'exception de deux bassins.
Sugden bog, Alberta/Sungro Horticulture	2000	133	Site considéré trop sec pour la restauration. Tourbe peu profonde.	Utilisation de différentes combinaisons de fertilisants et de mélanges de graminées pour essayer de transformer le site en pâturage.	Jusqu'à présent, les essais donnent de bons résultats malgré les conditions très sèches.	
Saint-Bonaventure, Québec/Fafard et frères - GRET	2000	11	Site exploité par la méthode Haku. Conditions sèches, sauf au printemps. La profondeur de la tourbe varie entre 60 et 120 cm, avec un pH d'environ 4,0. Le substrat minéral est composé d'argile.	Plantation d'érable rouge, de mélèze laricin, d'épinette noire, de pin sylvestre, d'aulne crispé, de peuplier hybride, d'aronia noir et de bleuets nain et géant. Les planches ont été préalablement aplanies et différentes doses de fertilisant riche en phosphore et en potassium ont été ajoutées. Des canaux additionnels ont été creusés afin de tester divers espacements entre les canaux.	Résultats intéressants avec l'aronia noir et les conifères, avec l'ajout de fertilisant. Les peupliers hybrides ont été broutés par les chevreuils.	Apparition d'espèces indésirables possiblement due à la proximité des terres agricoles et du mode de fertilisation en surface.

Projets de réaménagement de tourbières à grande échelle au Canada (suite)

Site/Compagnie*	Année	Superficie (hectares)	Conditions du site**	Interventions	Résultats	Commentaires
Baie Ste-Anne, Nouveau-Brunswick/ Tourbières Berger	2001 et 2002	14,5	Site exploité jusqu'en 2000. La profondeur de la tourbe varie entre 20 et 180 cm. Conditions sèches et acides. Substrat minéral sableux.	Plantation de mélèze et d'épinette noire. Les plantules, de 15 à 100 cm de hauteur, ont été fertilisées à l'aide de pastilles (20-10-5) à relâchement lent (2 ans). La densité de la plantation est de 2400 plants/ha, avec une distance de 2 m entre les plants. Les canaux ont été bloqués.	À l'automne 2002, le taux de survie était d'environ 80 %.	
Bay du Vin, Nouveau-Brunswick/ Tourbières Berger	2001 et 2002	8	La profondeur de la tourbe varie entre 30 et 145 cm, avec un pH de 3,2.	Plantation de pin gris, de mélèze et d'épinette noire. Les plantules, de 15 à 100 cm de hauteur, ont été fertilisées à l'aide de pastilles (20-10-5) à relâchement lent (2 ans). La densité de la plantation est de 2400 plants/ha, avec une distance de 2 m entre les plants. Les canaux ont été bloqués.	À l'automne 2002, le taux de survie de toutes les espèces se situait entre 90 et 100 %.	

* Compagnie ou organisation responsable des travaux de réaménagement.

** Pour tous les sites, sauf si indiqué, la tourbe a été récoltée par aspiration.

Annexe C

Échelle de von Post pour évaluer le degré de décomposition de la tourbe

Échelle de von Post pour évaluer le degré de décomposition de la tourbe

Degré de décomposition	Apparence de l'eau contenue dans la tourbe	Test de compression avec la main*	Nature des résidus de plantes	Description
H1	Claire, incolore ou jaunâtre.	Très spongieuse. Reprend sa forme après une pression de la main; ne garde aucune forme. Aucune tourbe ne passe entre les doigts.	Partie vivante des plantes.	Non décomposée. Tourbe fibrique.
H2	Presque claire, brunâtre-jaunâtre.	Spongieuse. Reprend sa forme après une pression de la main; ne garde pratiquement aucune forme. Aucune tourbe ne passe entre les doigts.	Structure des plantes entière, presque inchangée.	Presque non décomposée. Tourbe fibrique.
H3	Légèrement trouble avec des débris végétaux, brunâtre-jaunâtre.	Légèrement spongieuse. Laisse une forme passablement définie de l'empreinte de la main avec des bords arrondis. Aucune tourbe ne passe entre les doigts.	Débris végétaux facilement identifiables, mais qui se brisent en morceaux.	Très faiblement décomposée. Tourbe fibrique.
H4	Trouble avec des débris végétaux, brunâtre.	Non spongieuse. Laisse une empreinte distincte de la main. Aucune tourbe ne passe entre les doigts. Très légèrement collante.	Débris facilement identifiables, mais les structures ne sont plus entières.	Faiblement décomposée. Tourbe fibrique.
H5	Fortement trouble, contient un mélange de débris de plantes et de matériel amorphe.	Une petite quantité de tourbe passe entre les doigts. Légèrement collante.	La plupart des débris sont difficilement identifiables. Présence d'un peu de matériel amorphe.	Modérément décomposée. Tourbe mésique.
H6	Boueuse, beaucoup de tourbe en suspension.	Le tiers de l'échantillon passe entre les doigts. Collante.	La plupart des débris sont non identifiables. Presque la moitié de l'échantillon est dans un état amorphe.	Bien décomposée. Tourbe mésique.
H7	Très petite quantité d'eau, fortement boueuse.	La moitié de l'échantillon passe entre les doigts. Pâteuse.	Une petite quantité de débris encore relativement identifiable.	Décomposée. Tourbe humique.

Échelle de von Post pour évaluer le degré de décomposition de la tourbe (suite)

Degré de décomposition	Apparence de l'eau contenue dans la tourbe	Test de compression avec la main*	Nature des résidus de plantes	Description
H8	Boue épaisse, petite quantité ou aucune eau restante.	Les deux tiers de l'échantillon passent entre les doigts. Pâteuse.	Seules quelques racines, fibres et écorces résistantes encore identifiables.	Fortement décomposée. Tourbe humique.
H9	Aucune eau restante.	Presque tout l'échantillon s'échappe de la main. Comme un pudding.	Pratiquement rien d'identifiable.	Presque entièrement décomposée. Tourbe humique.
H10	Aucune eau restante.	Tout l'échantillon s'échappe de la main.	Complètement amorphe.	Complètement décomposée. Tourbe humique.

Adapté de Puustjarvi, V. et R. A. Robertson (1975). Physical and chemical properties. Dans : D. W. Robinson et J. G. D. Lamb (éd.), Peat in Horticulture. London, Academic Press, pp. 23-38; et de Bastien, D. F. (2002) Guide d'identification macroscopique des principaux types de tourbe du Québec méridional. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 2002-05.

*Un échantillon complètement saturé en eau laisse passer plus de tourbe entre les doigts et paraît habituellement plus décomposé qu'il ne l'est en réalité.

Annexe D

Planification - Description du site (1)

Site : _____ Localisation (ville, prov., lat. et long.) : _____ Personne-ressource : _____	
Superficie : Superficie du site de restauration en hectares et/ou en acres.	
Date d'abandon : Dernière année de récolte de tourbe ou de hersage.	
Caractéristique du site avant l'extraction de la tourbe : Présence d'arbres, communautés végétales, nappe phréatique, mares, etc. Informations sur des écosystèmes de référence.	
Milieu hydrique : Possibilités de pertes d'eau, sources d'eau potentielles. Conditions générales d'humidité du site (sec ou très humide).	
Topographie : Pente générale des planches, planches bombées, levés topographiques.	
Caractéristiques de la tourbe : - Épaisseur - Type de tourbe (carex, sphaigne, etc.) - Degré de décomposition (Échelle de von Post) - pH - Matériel minéral (présence de matériel minéral près ou à la surface. Type de matériel : argile, sable, etc.) - Surface des planches (présence de tourbe meuble, soulèvement gélival, croûte, etc.)	
Conditions chimiques : - pH de l'eau et conductivité électrique (site de restauration et source d'eau potentielle) - Signes d'enrichissement en surface (présence d'espèces de milieux non tourbeux)	

Planification - Description du site (2)

Site : _____ Localisation (ville, prov., lat. et long.) : _____ Personne-ressource : _____	
Végétation existante : - Espèces dominantes (espèces de tourbières ou indésirables) - Pourcentage de recouvrement (pourcentage de recouvrement de la végétation incluant les mousses) - Espèces indésirables potentielles (présence de colonies d'espèces indésirables près du site)	
Source de matériel végétal : - Superficie du site d'emprunt (doit être 1/10 de la superficie du site de restauration) - Communautés végétales/sphaignes (s'assurer que les communautés végétales utilisées en restauration et que les sphaignes forment le couvert végétal) - Accès au site d'emprunt (s'assurer que le site d'emprunt est accessible pour les remorques chargées de matériel végétal)	
Milieu environnant : - Changement d'utilisation du territoire (des modifications de l'utilisation du sol peuvent influencer le succès de la restauration) - Drainage (noter tous les changements au drainage régional qui peuvent affecter la tourbière) - Autres tourbières (source potentielle de matériel végétal)	
Photos : Prendre des photos du site avant les travaux de restauration (les photos devraient être correctement identifiées et la date mentionnée)	

Planification - Objectifs (3)

Site : _____ Localisation (ville, prov., lat. et long.) : _____ Personne-ressource : _____	
Potentiel de remouillage : Évaluer la hausse potentielle de la nappe phréatique et de sa stabilisation (quelles sont les probabilités que le site devienne très humide ou qu'il reste sec?). Évaluer les variations possibles de la nappe phréatique sur l'ensemble du site et dans le temps.	
Potentiel d'établissement du couvert végétal : Estimer les probabilités du succès de l'établissement d'une communauté végétale de tourbière, incluant les sphaignes, en se basant sur les caractéristiques du site et sur la qualité du matériel végétal.	
Problèmes potentiels : Évaluer les probabilités d'invasion par des espèces indésirables ou l'apparition d'autres problèmes.	

Procédures pour la restauration

Site : _____		
Localisation (ville, prov., lat. et long.) : _____		
Personne-ressource : _____		
Préparation du terrain : Description des options choisies pour la préparation du terrain avec une carte localisant les principaux éléments (digues, blocages, etc.), ainsi que les équipements utilisés.	Date	
Récolte des plantes : Notes sur les communautés végétales du sites d'emprunt, sa superficie, la profondeur de récolte, la qualité du matériel végétal, les dommages au site d'emprunt et l'équipement utilisé.		
Épandage des plantes : Épaisseur de la couche de matériel végétal, conditions météorologiques durant l'épandage, équipement utilisé.		
Épandage de la paille : Notes sur la qualité de la paille, l'épaisseur du paillis et l'équipement utilisé.		
Fertilisation : Notes sur le type et le taux d'application du fertilisant, les dommages occasionnés aux plantes ou au paillis (ornières), les déversements et les possibilités de contamination des cours d'eau.		
Blocage du drainage : Notes sur la remontée de la nappe phréatique après le blocage du drainage.		
Création de mares : Taille et profondeur des mares, niveau d'eau et végétation introduite.		
Autres opérations :		
Visites du site et suivi :		

Parcelles permanentes

Site : _____		No. parcelle _____	
Date _____		Représentativité _____	
Observateur (s) _____		_____	

Classes de pourcentages de recouvrement 0 = 0 + = <1% 1 = 1 à 10 % 2 = 11 à 25 %	Hauteur moyenne (cm)	Liste des espèces et pourcentage de recouvrement (le recouvrement des mousses est évalué à l'aide de quadrats et noté sur le formulaire strate muscinale)
Arbres/arbustes		_____
Éricacées		_____
Herbacées		_____
Mousses		_____
Recouvrement total des plantes		_____
Tourbe nue et litière		_____
Perturbations		_____
Paillis		_____

Photos	_____
_____	_____
_____	_____
Commentaires	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Strate muscinale

Pourcentage de recouvrement des mousses

Site _____		Date _____	
No. parcelle _____		Observateur _____	

Quadrat	Recouvrement total des mousses	Sphaignes				Mousses				Hépatiques	Lichens
		Total	Fus*	Rub*	Mag*	Total	Poly*				
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

Notes:

* Fus = *Sphagnum fuscum*, Rub = *S. rubellum*, Mag = *S. magellanicum*, Poly = *Polytrichum strictum*

Profondeur de la nappe phréatique

Site : _____[illegible]

Contenu en eau de la tourbe

[illegible]

Glossaire

Acrotelme : L'acrotelme est la couche de surface de la colonne de tourbe où la nappe phréatique fluctue. L'acrotelme comprend la partie vivante des plantes.

Anaérobie : Se dit des conditions d'un environnement caractérisées par un manque d'oxygène.

Anoxique : Se dit des conditions d'un milieu où une faible quantité d'oxygène parvient jusqu'aux cellules des plantes.

Bog : Tourbière qui est exclusivement alimentée par les précipitations, dominée par les sphaignes et caractérisée par un milieu acide et des conditions nutritives pauvres. Synonyme : tourbière ombrotrophe.

Butte : Petit monticule formé par une accumulation de tourbe. On désigne souvent les buttes par le terme anglais *hummock*.

Catotelme : Le catotelme est la couche de tourbe située sous l'acrotelme, qui demeure en permanence sous la nappe phréatique.

Communauté végétale : Groupe d'espèces de plantes qui croissent ensemble dans un habitat particulier.

Convoyeur de chargement : Convoyeur utilisé pour ramasser les racines et appelé en anglais *root picking conveyor*.

Diaspore : Toute partie d'une plante (graine, fruit, branche, racine, etc.), qui peut donner naissance à un nouvel individu.

Écosystème de référence : Écosystème servant de modèle pour la planification d'un projet de restauration écologique et pour son évaluation future.

Fen : Tourbière alimentée par les précipitations et les eaux de ruissellement enrichies en éléments minéraux. Les fens sont souvent dominés par un mélange de carex, d'herbacées et de mousses, avec un pH variable (4 à 8) et un régime trophique de pauvre à riche. Synonyme : tourbière minérotrophe.

Hacheuse : Équipement utilisé pour préparer le sol des tourbières pour la récolte de la tourbe, constitué d'un arbre rotatif horizontal avec des couteaux mobiles. La hacheuse est souvent désignée par le terme anglais *chopper*.

In-kind restoration : Terme anglais désignant la restauration d'un site de façon à retrouver le même type d'écosystème qui existait avant les perturbations.

Matériel végétal : Nom donné au mélange de fragments de plantes récoltés dans des tourbières naturelles et épandus sur les surfaces de tourbe à restaurer, de façon à établir un nouveau tapis muscinal. Le matériel végétal est un mélange de toutes les espèces présentes sur le site d'emprunt.

Niveleuse : Vis sans fin horizontale utilisée pour modifier le profil des planches de récolte de tourbe.

Out-of-kind restoration : Terme anglais désignant la restauration d'un site de façon à retrouver un écosystème de la même catégorie que l'écosystème original, par exemple une tourbière, mais à un stade d'évolution antérieur.

Paludification : Processus par lequel le sol minéral est transformé en milieu humide grâce à l'accumulation de tourbe.

Plantes vasculaires : Les plantes vasculaires regroupent tous les végétaux à l'exception des mousses, des lichens, des champignons et des algues.

Polytrichum : Genre de mousses auquel appartient *Polytrichum strictum*, une espèce commune dans les tourbières. Ces mousses peuvent jouer un rôle important dans la restauration, car elles colonisent rapidement et stabilisent les substrats de tourbe mis à nu.

Réaménagement : Transformation d'un site en un type d'écosystème différent du milieu original et qui implique souvent un changement de vocation.

Rotoculteur : Équipement utilisé pour préparer le sol, constitué d'un arbre rotatif horizontal et de couteaux fixes.

Site d'emprunt : Site habituellement localisé dans une tourbière naturelle ou un secteur naturel d'une tourbière exploitée et qui sert de source de diaspores pour la restauration.

Sphaigne : Groupe de mousses qui forment la majeure partie du tapis de mousses et de la tourbe des tourbières ombrotrophes. La mousse de sphaignes possède des caractéristiques uniques qui lui permettent de jouer un rôle essentiel dans la formation et le fonctionnement des tourbières.

Tension de l'eau : Force ou succion qui retient l'eau aux particules de tourbe ou de sol.

Terrestrialisation : Processus d'accumulation de matières organiques menant au comblement d'un plan d'eau et à la formation d'une tourbière.

Association canadienne
de mousse de sphaigne



Ministère des Ressources naturelles
du Nouveau-Brunswick

