

Chapitre 23

Restauration écologique

LINE ROCHEFORT

Au Canada, différentes compilations des inventaires menés au cours des deux dernières décennies ont permis d'estimer la superficie couverte par les tourbières à 105 millions ha (Tarnocai, Kettles & Lacelle, 2000), 111 millions ha (pour les dépôts de tourbe de plus de 40 cm d'épaisseur; Rubec, 1996) ou 170 millions ha (pour les dépôts de tourbe de plus de 30 cm d'épaisseur; Gorham, 1990). À ces estimés, on peut ajouter un peu moins de 15 millions ha pour d'autres types de milieux humides (marais, marécages, etc.). Ainsi, le Canada est parmi les pays qui possèdent les plus grandes superficies de milieux humides. Au Québec, les tourbières occuperaient entre 8 et 12 millions ha, mais aucun inventaire exhaustif n'existe pour l'ensemble du territoire. Devant l'abondance de cette ressource au Canada et au Québec, pourquoi se préoccuperait-on de sa conservation ou de sa restauration? Depuis le début de la colonisation du Canada, près de 20 000 000 ha de milieux humides auraient été affectés par les activités humaines (Rubec, 1996). On ne connaît pas la superficie exacte pour 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. En effet, l'utilisation se fait essentiellement dans la partie sud de la province, là où la grande majorité de la population du Québec se concentre, alors que les tourbières se répartissent principalement dans la zone de la forêt coniférienne boréale autour de la baie de James ainsi qu'au Labrador (Groupe de Travail National sur les Terres Humides (GTNTH), 1988; Rubec, 1996; voir le chapitre 2). Ainsi, les quelques tourbières minérotrophes et ombrotrophes présentes dans le paysage méridional ont plus de chance d'être affectées par les activités humaines, telles que le drainage agricole ou forestier, l'inondation à la suite de la construction de barrages, le développement urbain, industriel ou autre et l'exploitation de la tourbe. La fragmentation ou la perte des tourbières, même à une échelle locale, pourrait avoir, à long terme, de sérieux impacts sur la biodiversité régionale, sur la qualité de l'eau et sur plusieurs autres fonctions écosystémiques de ces milieux.

RÔLES DES TOURBIÈRES

La biodiversité d'une région est enrichie par la présence de tourbières dont la propre biodiversité dépend des patrons spatiaux des microhabitats et de la structure de l'écosystème. La biodiversité d'une tourbière est directement corrélée avec la diversité des habitats (Glaser, 1992; Vitt, Li & Belland, 1995). Parmi les habitats les plus courants dans le Sud du Québec, on compte les buttes et les dépressions de sphaignes, les mares, les arbustaias d'éricacées, les tapis flottants, les bosquets d'Épinette noire, les herbaçaies, les arbustaias de bordure et les forêts sur tourbe. La structure de l'écosystème procure des conditions d'habitat spéciales : un environnement à fort stress hydrique causé par une inondation quasi permanente du substrat, des conditions extrêmes d'acidité et une faible disponibilité des éléments nutritifs. Cette diversité d'habitats combinée à des conditions de croissance difficile ont contribué à la spécialisation et à la diversification des organismes qui colonisent

les tourbières. Ainsi, on peut dénombrer jusqu'à 50 espèces de sphaignes au Québec (voir le chapitre 3), alors qu'on en compte environ 300 à l'échelle mondiale. Les plantes insectivores sont souvent citées en exemple comme des organismes qui se sont adaptés aux conditions stressantes des tourbières. Les plus connues sont la sarracénie et les diverses espèces de rossolis (*Drosera* spp.) mais on trouve également des utriculaires et des grassettes (*Pinguicula*). À l'échelle régionale, ces plantes sont des éléments d'unicité propres aux tourbières, celles-ci étant très riches en espèces d'insectes, dont la très grande diversité reste à découvrir. Pour le seul ordre des Coléoptères, 40 familles et 247 espèces différentes ont été inventoriées à la tourbière Wagner en Alberta (Finnamore, 1987). Une saison d'échantillonnage a généré 35 000 spécimens, représentant de 3000 à 4000 espèces d'arthropodes. À notre connaissance, aucune tourbière du Québec n'a été étudiée en détail pour l'échantillonnage des arthropodes (voir le chapitre 7). Pourtant on peut encore découvrir de nouvelles espèces non listées pour le Canada, telle la fourmi *Dolichoderus mariaae* Forel, trouvée à la Grande-Plée-Bleue (Rioux, 1998).

Les tourbières sont également des milieux propices à la cueillette de petits fruits, comme les différentes espèces de bleuets (*Vaccinium* spp.), les fruits de *Gaylussacia*, les canneberges (*Vaccinium* spp.), la chicouté (*Rubus chamaemorus* L.) et la camarine noire (*Empetrum nigrum* L.). Plusieurs plantes médicinales et d'infusion sont aussi récoltées dans ces milieux (Fleurbec, 1981). Par ailleurs, les tourbières sont réputées pour être un des milieux privilégiés de plusieurs orchidées. Cependant, l'écologie des différentes espèces d'orchidées est encore peu connue au Québec (Gouvernement du Québec, 2000). Enfin, par rapport aux autres milieux humides, les tourbières comptent le plus grand nombre d'espèces rares ou endémiques, surtout végétales (Bouchard *et al.*, 1983) et entomologiques. Ainsi, selon les taxons et la position géographique, la diversité des espèces d'une tourbière peut contribuer significativement à la biodiversité d'une localité, d'une municipalité régionale de comté ou même d'une région. Un exemple de la contribution d'un groupe taxonomique (celui des oiseaux) à la biodiversité régionale est discuté au chapitre 6.

En tant qu'écosystèmes, les tourbières peuvent fournir plusieurs biens et services écologiques, tant aux hommes qu'à la qualité de l'environnement. À l'échelle hydrographique, les tourbières constituent des réserves d'eau douce dont le pouvoir tampon régularise partiellement les débits de pointe lors de fortes pluies, surtout durant l'été, ce qui permet d'éviter l'érosion et les débordements (Bay, 1969). Cependant, ce phénomène de régulation dépend grandement du type de tourbière (voir le chapitre 5 pour une discussion plus détaillée). Les tourbières à sphaignes sont connues pour leur grande capacité de filtration. Cette caractéristique est d'ailleurs mise à contribution en Amérique du Nord par l'utilisation des tourbières naturelles comme système épurateur ou par l'utilisation de la tourbe comme matériau de construction de systèmes domestiques de biofiltration des eaux usées (Couillard, 1994; Brown, Gill & Allen, 2000; Monson Geerts *et al.*, 2000). En effet, grâce à une capacité d'échange cationique exceptionnelle (Clymo, 1963), les sphaignes peuvent adsorber les éléments minéraux libres dans le milieu aqueux. On suppose que les sphaignes ont développé ce système d'échange hautement efficace pour réussir à se maintenir dans le milieu en compétition avec les plantes vasculaires, car les sphaignes n'ont aucun système racinaire pour puiser leur ressources nutritives. Ainsi, les tourbières peuvent être importantes pour la qualité de l'eau potable (Stoneman, 1997), la décontamination de certains métaux lourds, tel le mercure (Steinnes & Andersson, 1991), ou pour immobiliser des polluants atmosphériques et permettre l'étude historique des activités humaines (Renberg *et al.*, 2000; Shoty *et al.*, 2000). Un autre service écologique potentiel des tourbières est leur contribution à la

régénération après feu. Les tourbières agissent parfois comme barrières à l'invasion du feu. Elles constituent, par le fait même, un réservoir de graines pour la recolonisation des terres brûlées environnantes ou des terres ayant subi une coupe forestière.

Par définition, les tourbières sont des écosystèmes accumulateurs de matière organique, c'est-à-dire un système dans lequel la production annuelle de biomasse végétale dépasse la quantité décomposée par les micro-organismes. La tourbe produite constitue un immense réservoir de carbone. En effet, les tourbières contiendraient trois fois plus de carbone que toutes les forêts tropicales du globe et près de la moitié du carbone total estimé pour la biomasse terrestre (Matthews, 1984). Au niveau mondial, les écosystèmes tourbeux contribuent significativement au cycle du carbone. On estime que les réserves de tourbe contiennent 250 Gt de carbone, ce qui est équivalent à la quantité de CO₂ atmosphérique (Clymo, 1987). Lorsque les tourbières sont drainées (agriculture, foresterie, extraction de la tourbe), la décomposition de la matière organique s'accélère et le carbone oxydé est remis en circulation dans l'environnement. De même, les tourbières inondées remettent une partie de leur carbone en circulation par l'augmentation des flux de méthane (voir le chapitre 8). Malgré leur importance, le stock et les flux de carbone des tourbières sont généralement ignorés dans les modèles de changements climatiques. Certains sont d'avis que la protection des grands dépôts tourbeux se justifie uniquement sur la base du maintien de l'équilibre du cycle du carbone. Cependant, on croit qu'avec le temps, les tourbières perdraient leur capacité à accumuler du carbone et que, progressivement, elles commenceraient à en émettre via des rejets de méthane (Maltby, 1997; Roulet, 2000). On cherche présentement à déterminer si la restauration des tourbières serait une intervention bénéfique dans le budget global du carbone compte tenu des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre énoncés dans le protocole de Kyoto en 1997.

Plusieurs fonctions socio-économiques sont associées aux tourbières. La préservation d'archives écologiques et climatiques dans les végétaux est un outil d'étude scientifique incontestable (voir les chapitres 12 à 18) et les tourbières peuvent aussi représenter des archives archéologiques de grande valeur. À cause de la grande capacité d'échange cationique des sphaignes, la conservation annuelle de la matière organique permet l'entreposage de contaminants et de tout un ensemble d'indicateurs de changements environnementaux (par exemple, la distribution des métaux lourds, les variations des profils magnétiques; Maltby, 1997). La chronoséquence de la tourbe accumulée constitue donc un type d'archives écologiques dont nous ne connaissons pas encore complètement l'étendue des possibilités.

Malgré leur mauvaise réputation, les tourbières sont fréquentées par de nombreuses personnes à la recherche d'espaces sauvages pour la détente, l'observation de la nature (ornithologie, excursion botanique), la chasse (à la sauvagine, à l'orignal) et la récolte de fruits sauvages ou de plantes médicinales. Historiquement, la tourbe fibrique des sphaignes a été utilisée par différents peuples à de multiples fins, comme pour fabriquer des couches de bébé, isoler, calfeutrer, rembourrer ou remplacer le coton absorbant dans les pansements durant la première guerre mondiale. Récemment, le Québec a innové en fabriquant des serviettes sanitaires pour exportation mondiale, produites avec un carton absorbant à base de tourbe fibrique. La tourbe peut servir de combustible et alimenter des centrales thermiques mais, au Québec, cette ressource énergétique n'est pas économiquement viable en raison de la disponibilité de l'hydroélectricité. Par contre, l'utilisation de la tourbe à des fins thérapeutiques est en croissance en Amérique du Nord. À la suite de nombreuses campagnes de sensibilisation, les tourbières sont de plus en plus considérées

comme une richesse naturelle qui fait partie du patrimoine national (surtout, entre autres, en Irlande et en Écosse). L'agriculture et la foresterie dans les tourbières ainsi que l'extraction de la tourbe sont des activités économiques courantes au Québec; elles sont discutées plus en détail aux chapitres 21 et 22, et plus loin dans ce chapitre.

Jusqu'à tout récemment, les tourbières étaient considérées comme des terrains improductifs, dangereux et malsains. Cette perception a justifié leur élimination systématique dans l'entourage de l'homme. On commence toutefois à mieux cerner les biens et les services écologiques que recèlent les tourbières. Ainsi, plusieurs intervenants sont maintenant d'avis qu'il faut se préoccuper de la gestion de l'utilisation de cet écosystème afin qu'il produise des avantages durables pour les générations actuelles, tout en conservant le potentiel de répondre aux besoins et aspirations des générations à venir.

RESTAURATION VERSUS CONSERVATION VERSUS RÉAMÉNAGEMENT

Le terme restauration se définit difficilement dans le cas d'un écosystème ou d'un habitat car il dépend des objectifs visés. Ceux-ci sont généralement déterminés au préalable par une société, un promoteur, une réglementation, un chercheur, une communauté ou par le consensus de plusieurs groupes. Par exemple, la restauration d'un site industriel pétrochimique situé sur le bord du fleuve Saint-Laurent pourrait consister *i*) à seulement décontaminer le site si on cherche à construire un complexe immobilier, *ii*) à décontaminer et reconditionner le site pour réussir à le revégéter, si on cherche à faire un parc ou *iii*) à se débarrasser des matériaux de remblayage si on cherche à restaurer un écosystème de plage. Pour les milieux naturels, on entend en général par restauration la reconstitution d'un écosystème fonctionnel conforme à celui présent avant l'exploitation. À noter ici que par «conforme», on ne parle pas nécessairement d'une restauration à l'état original mais plutôt d'un retour aux fonctions premières de l'écosystème avant perturbation. Dans le cas des tourbières, cela signifie un retour à un écosystème humide accumulateur de tourbe.

La restauration des tourbières vise donc à rétablir un couvert végétal dominé par les sphaignes ou les mousses brunes selon le cas ainsi que les conditions hydrologiques caractéristiques des tourbières (Rochefort, 2000). Ce faisant, la restauration doit aussi assurer le retour de certaines fonctions de l'écosystème nécessaires à son maintien à long terme. Parmi ces fonctions, on peut mentionner une productivité permettant l'accumulation de carbone, le recyclage des éléments nutritifs ainsi que la présence d'une structure de végétation propre aux tourbières qui favorise la biodiversité faunique et floristique et qui permet à l'écosystème de résister aux invasions biologiques.

La restauration constitue également un pas en avant pour atteindre l'objectif d'«Aucune Perte Nette» promu par le Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Lynch-Stewart, 1992). Cet objectif est fondé sur le principe selon lequel les pertes nécessaires de milieux humides doivent être compensées. Il n'est pas possible de mettre totalement fin à l'altération des milieux humides. Certaines altérations se produisent naturellement; plusieurs représentent le prolongement d'activités passées et d'autres, enfin, résultent inévitablement d'activités humaines bénéfiques. Par contre, avant d'acquiescer à l'utilisation d'une tourbière, une compensation par la restauration de tourbières dégradées dans le passé pourrait être demandée ou, en dernier recours, la création d'un milieu humide là où il n'y en avait pas avant.

Le concept de restauration retenu ici s'inscrit dans la notion de développement durable de l'utilisation des tourbières. Ainsi, après l'utilisation d'une tourbière ou l'exploitation de la tourbe, l'écosystème et ses fonctions doivent être restaurés pour que les générations futures puissent encore jouir de la présence de cet habitat généralement peu connu. Le but poursuivi n'est donc pas de renouveler la ressource de tourbe, mais plutôt de gérer l'écosystème pour en empêcher la disparition dans certaines régions. À l'échelle d'une vie humaine, il apparaît impossible d'envisager que la tourbe devienne une ressource renouvelable. En effet, au Canada, la tourbe s'accumule à un taux moyen de 0,64 à 0,74 mm an⁻¹ (Gorham, 1990; Rochefort, Vitt & Bayley, 1990). Il est de plus en plus intéressant d'investir pour exploiter des dépôts de tourbe de moins de 1 m d'épaisseur. Par contre, pour certaines utilisations où seule une tourbe très fibrique est nécessaire (production de mousse florale ou de cartons absorbants), il est possible de penser à un système renouvelable de récolte de fibres de sphaignes, soit la culture de la sphaigne au champ.

Réaménagement : une autre option

Le réaménagement d'une tourbière, contrairement à la restauration, ne vise pas nécessairement le retour à un écosystème humide accumulateur de tourbe, mais plutôt à lui donner une nouvelle vocation. Il peut s'agir, par exemple, de l'implantation d'une production d'arbres de Noël. Dans le cas des tourbières dominées par les sphaignes, le réaménagement après exploitation présente souvent de nombreux problèmes. En général, le mauvais drainage de ces milieux offre des conditions peu propices à l'agriculture. Les dépôts de tourbe à sphaignes possèdent un faible taux de minéralisation de l'azote et les éléments nutritifs y sont extrêmement limités (voir le chapitre 21). C'est pourquoi il est généralement suggéré de procéder plutôt à la restauration de l'écosystème pour assurer la préservation de ce type de milieu humide dans le Sud du Canada. De plus, on ne peut sous-estimer l'importance écologique des tourbières en tant que zones tampons entre les systèmes terrestres et aquatiques, limitant les perturbations hydrologiques régionales, l'eutrophisation et la pollution des plans d'eau. Néanmoins, la décision de restaurer ou de réaménager un site devrait être considérée d'un point de vue régional. À titre d'exemple, il peut s'avérer beaucoup plus avantageux, selon différents critères (biodiversité, etc.), de réaménager une tourbière anciennement exploitée pour la tourbe en atocatière (culture de canneberges ou atocas), plutôt que de détruire une partie d'une tourbière naturelle pour installer une atocatière.

Conservation

Il serait imprudent de se fier uniquement aux surfaces restaurées pour assurer une véritable conservation du capital naturel des tourbières. Nous ignorons, en effet, comment les sites abandonnés sont recolonisés par les espèces autres que les plantes. La composition en espèces des sites abandonnés après exploitation diffère, en effet, passablement de celle des sites naturels, même lorsque le couvert végétal est rétabli (Brodeur, 1996; Desrochers, Rochefort & Savard, 1998). Pour assurer le maintien de la biodiversité à l'échelle régionale, il semble important de conserver dans le paysage des tourbières naturelles ou, à l'échelle des tourbières, des zones non perturbées adjacentes aux parterres exploités (voir le chapitre 6). Les tourbières naturelles tracent l'histoire du passé d'un endroit donné depuis la dernière glaciation et toute utilisation détruit ces archives à jamais. Par l'analyse paléocologique, il devient possible de reconstituer ce passé. C'est pourquoi il faut choisir avec soin la répartition spatiale des tourbières devant être conservées. La préservation de fragments naturels à l'intérieur d'une tourbière exploitée peut aussi assurer la

disponibilité à long terme de matériel source pour le réensemencement des zones à restaurer ou comme refuge pour différentes espèces fauniques en attendant la restauration du reste de l'écosystème.

La restauration : une nécessité au Québec?

Bien que nombreux, ce ne sont pas tous les types de tourbières dont la tourbe peut être récoltée à des fins horticoles. Les tourbières dominées par les sphaignes constituent les seuls milieux contenant de la tourbe propre à la récolte. La plupart des tourbières ombrotrophes, cependant, sont des écosystèmes nordiques, souvent éloignés des réseaux routiers ou fortement influencés par une longue saison froide et humide impropre à l'exploitation, car des conditions humides empêchent la récolte mécanique par aspirateur. Également, plusieurs tourbières ont leur substrat gelé en permanence, soit dans les zones de pergélisol continu ou discontinu (figure 9.3). Ces raisons expliquent le fait que la plupart des activités d'exploitation des tourbières se trouvent dans la zone la plus peuplée du Québec. Localement, certaines régions subissent ou ont subi de fortes pressions d'exploitation, par exemple la région du Bas-Saint-Laurent - Gaspésie (figure 23.1). Il s'avère donc indispensable de restaurer entièrement certains sites, lorsque peu de tourbières naturelles sont disponibles dans la région pour la conservation.

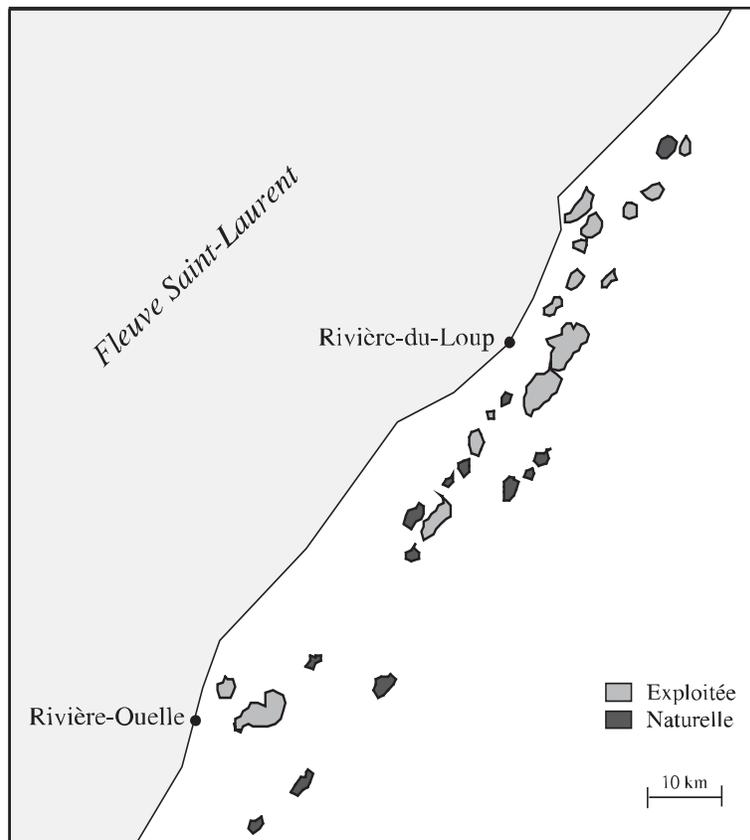


FIGURE 23.1. Répartition des tourbières qui supportent ou qui ont déjà supporté des activités d'extraction de la tourbe dans la région du Bas-Saint-Laurent, Québec méridional (illustration : A. Desrochers).

ÉTAT DES TOURBIÈRES UTILISÉES AU QUÉBEC

Les tourbières ayant longtemps été considérées comme des lieux incultes, leur disparition a souvent été jugée comme une perte mineure lors des grands travaux d'ingénierie, notamment lors de la construction de routes ou de barrages et de l'établissement de parcs industriels. L'abondance des tourbières acquises à un faible coût a souvent conduit les gens à drainer ces terres à des fins agricoles ou forestières. De plus, il existe encore plusieurs programmes gouvernementaux destinés aux producteurs forestiers qui désirent procéder au drainage des tourbières arborées. Mais quel est réellement l'état de la situation? Au Québec, près de 175 000 ha de tourbières naturelles auraient été utilisés ou détruits par les activités humaines, ce qui paraît peu par rapport à un estimé, même minimal, de 8 millions ha d'écosystèmes tourbeux. Cette perte est tout de même plus importante que la superficie totale en tourbières du Nouveau-Brunswick. Ce sont les inondations créées par la construction des barrages hydroélectriques qui ont causé la plus grande perte de ce type d'habitat, suivies par le drainage forestier, la culture maraîchère, le pâturage et l'exploitation de la tourbe (tableau 23.1). Les différentes utilisations des tourbières au Québec sont examinées plus en détail dans les sections suivantes, sauf les aménagements forestiers qui sont discutés au chapitre 22.

Pertes par inondation

La région de la baie de James possède une concentration élevée de milieux tourbeux (GTNTH, 1988; Rubec, 1996); les grands barrages hydroélectriques des années 1970 ont entraîné l'inondation d'une vaste portion de ce territoire, dont une partie était occupée par des tourbières. En effet, dans un rapport de la Société d'Énergie de la Baie-James (SEBJ, 1978), il est mentionné que 67 400 ha de tourbières ont été inondés après la mise en eau des trois réservoirs de la rivière La Grande : pour le réservoir Opinaca, 12 200 ha (surtout de tourbières ombrotrophes) ont disparu, tandis que pour les réservoirs LG2 et Caniapiscau, respectivement 11 900 ha et 23 300 ha (surtout de tourbières minérotrophes) ont été inondés. Dans le Sud du Québec, plusieurs petits barrages ont inondé des tourbières; il existe toutefois peu de données sur les superficies réellement perdues. Au total, près de 120 000 ha ont été inondés par la construction de barrages.

Utilisation pour la culture maraîchère

Ce sont surtout les tourbières minérotrophes de la Montérégie et de Lanaudière qui ont été drainées pour la culture maraîchère (voir le chapitre 21). À l'exception de la production de canneberges, peu de cultures sont directement produites dans

Tableau 23.1. État des tourbières utilisées au Québec en 1997.

	Superficie (ha)
Travaux hydroélectriques ¹	120 000
Culture intensive ²	11 000
Extraction de la tourbe ³	6000
Drainage forestier ⁴	35 000
Autres (dépotoirs, remblais, construction de routes, etc.)	2000
Total des tourbières utilisées	174 000
Superficie totale des tourbières au Québec	8 à 12 millions

Données compilées par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) de l'Université Laval : ¹rapports de la Société d'Énergie de la Baie-James (SEBJ, 1978), ²chapitre 21 et J. Painchaud (comm. pers.), ³information des compagnies de tourbe, ⁴chapitre 22 et site Internet du ministère des Ressources naturelles du Québec (3500 ha an⁻¹ pour la dernière décennie).

des tourbières ombrotrophes. La culture de canneberges est présentement en pleine expansion au Québec. En effet, en 1997, elle s'est étendue sur plus de 500 ha dont 100 ha situés directement dans les milieux tourbeux. Les 400 ha restants se trouvaient en bordure de tourbières dont l'eau était canalisée dans des réservoirs pour l'irrigation des cultures (J. Pincheau, 1997, comm. pers.). Il est prévu que la culture de canneberges double d'ici l'an 2003.

Utilisation pour l'extraction de la tourbe

L'exploitation de la tourbe est une activité économique importante dans plusieurs régions éloignées des grands centres (Bas-Saint-Laurent, Côte-Nord et Lac-Saint-Jean au Québec, péninsule acadienne au Nouveau-Brunswick, Île-du-Prince-Édouard), où elle permet de maintenir des emplois et des activités de recherche et de développement. Au Canada, les ventes de tourbe et les retombées économiques qui en découlent génèrent plus de 487 millions de dollars annuellement. Cette activité est principalement concentrée dans l'est du pays. L'industrie canadienne de la tourbe est actuellement en pleine croissance et fait figure de leader mondial avec le développement de nouveaux produits à haute valeur ajoutée (biofiltres, carton absorbant, terreaux spécialisés). Au Québec, l'exploitation de la tourbe se répartit dans six régions (tableau 23.2). Pour des raisons de coûts de transport et de saisons relativement courtes pour permettre de bonnes conditions de séchage de la tourbe, on ne fait plus d'extraction de tourbe en Abitibi-Témiscamingue. Par contre, dans les régions du Saguenay-Lac-Saint-Jean et de la Côte-Nord, les activités d'extraction de la tourbe sont en développement.

En résumé, le Québec est une province riche en ressources tourbeuses et en tourbières naturelles. Ce n'est toutefois pas nécessairement le cas des pays qui ont une plus longue histoire d'utilisation des tourbières. En raison de la dégradation et de la perte de milieux humides en Europe et aux États-Unis, les groupes environnementalistes de ces pays militent pour une réduction de l'utilisation des produits de la tourbe ou un bannissement total. Les consommateurs exigent des produits moins dommageables pour l'environnement. Or, l'industrie canadienne de la tourbe dépend de ces marchés où elle exporte près de 80 % de sa production (Keys, 1992). Avant que l'image européenne du début des années 1990 n'affecte les marchés américains, l'industrie canadienne s'est impliquée dans le développement de techniques de restauration. L'industrie de la tourbe veut être un joueur actif dans la gestion intégrée de la ressource de tourbe et contribuer à la remise en fonction des écosystèmes tourbeux après exploitation, pour assurer la survie de ses marchés.

Tableau 23.2. Superficie des tourbières à sphaignes qui sont actuellement en exploitation ou qui ont été exploitées par le passé et qui sont maintenant abandonnées ou en processus de restauration.

Régions	Superficie en exploitation en 1997 (ha) ¹	Superficie abandonnée ou en processus de restauration en 1997 (ha) ²
Abitibi-Témiscamingue	0	150
Saguenay - Lac-Saint-Jean	850	125
Côte-Nord	1000	70
Bas-Saint-Laurent - Gaspésie	3000	470
Chaudière-Appalaches	110	115
Mauricie - Bois-Francs	80	60
Total	5040	990

¹Données compilées par enquête téléphonique auprès des producteurs de tourbe.

²Données compilées par le (GRET), à partir d'inventaires sur le terrain et d'interprétation de photos aériennes.

CARACTÉRISTIQUES DES TOURBIÈRES ABANDONNÉES APRÈS EXTRACTION DE LA TOURBE

La suite de ce chapitre présente les caractéristiques des substrats qui ont été utilisés pour la récolte de la tourbe et les façons de restaurer le couvert végétal. Les pertes encourues par la construction de routes, barrages, dépotoirs, etc. sont plus ou moins irréversibles et aucune étude n'a été faite sur la restauration de tourbières dans l'Est du Canada par suite de leur utilisation pour la foresterie ou l'agriculture. D'un autre côté, la récolte de la tourbe est une activité qui laisse des substrats asséchés qui pourraient redevenir des milieux humides si des actions appropriées étaient prises. Une meilleure connaissance des caractéristiques des substrats naturels et résiduels est indispensable au développement des techniques de restauration.

L'extraction de la tourbe perturbe profondément les tourbières. Celles-ci sont d'abord drainées puis débarrassées de toute la végétation vivante qui pousse à leur surface. Par la suite, une épaisseur variable de tourbe est prélevée. Il en résulte un milieu dont deux des caractéristiques les plus importantes ont été modifiées : *i*) la nappe phréatique se situe à un niveau très bas pour une tourbière et fluctue beaucoup; *ii*) le couvert végétal est dorénavant absent. Voyons comment ces modifications du milieu influencent le retour vers un écosystème fonctionnel.

Réservoir de graines - diaspores

Plusieurs études ont montré que le sol des tourbières abandonnées après exploitation est dénué de graines ou de rhizomes viables (Salonen, 1987; Salonen & Setälä, 1992). La recolonisation végétale naturelle des sites s'effectuerait uniquement grâce à un apport extérieur de graines et de spores. Depuis le début de la récolte mécanisée de la tourbe, les superficies en exploitation ont sans cesse augmenté et certains champs d'aspiration se trouvent éloignés de plus de 750 m des parcelles non exploitées, ce qui est bien au-delà de la distance maximale de dissémination des diaspores de la plupart des plantes de tourbières (Salonen, 1987). La dissémination des diaspores de bryophytes est encore peu connue; il demeure néanmoins peu probable que les spores ou fragments de tiges parcourent des distances de plus de quelques mètres (McQueen, 1985; Poschlod, 1995). La lenteur de la recolonisation végétale des champs d'aspiration pourrait être due, en partie, à l'éloignement des sources de diaspores (Campbell, Rochefort & Lavoie, 2000).

Conditions hydrologiques

L'impact du drainage des tourbières sur le régime hydrique de ces écosystèmes est discuté dans les chapitres 5 et 22. La comparaison des bilans hydriques des tourbières naturelles et des tourbières résiduelles, où les canaux de drainage ont été bloqués, ne montre aucune différence majeure du point de vue des flux hydriques. Au niveau hydrologique, l'élément qui distingue le plus les tourbières résiduelles des tourbières naturelles est la capacité de stockage de l'eau, qui dépend largement de l'acrotelme. En effet, c'est la couche supérieure de surface, formée de sphagnes fibriques ou mésiques, qui est responsable de la régulation des fluctuations et du maintien de la nappe phréatique près de la surface. Lors de l'extraction de la tourbe, il y a disparition de l'acrotelme. Le drainage entraîne de plus l'oxydation et la compression de la tourbe. En conséquence, le niveau d'eau sera généralement plus bas et surtout plus variable dans les tourbières résiduelles que dans les tourbières naturelles. La plus grande densité et le petit diamètre des pores de la tourbe

des substrats résiduels font aussi que l'eau y est très fortement retenue et donc peu disponible aux sphaignes que l'on voudrait réintroduire en surface. En somme, un dépôt de tourbe qui est drainé et aéré se comporte fort différemment des dépôts n'ayant subi aucune perturbation (voir le chapitre 9).

Propriétés physico-chimiques

La chimie de la tourbe et de l'eau des substrats résiduels diffère peu de celle des tourbières naturelles dominées par les sphaignes, du moins chez celles étudiées au Québec (Croft, 1996; Wind-Mulder, Rochefort & Vitt, 1996). Le pH et la conductivité de la tourbe sont comparables entre ces deux types de milieux. Les tourbières résiduelles inventoriées au Québec montrent un pH toujours inférieur à 4,6 et une conductivité inférieure à $103 \mu\text{S cm}^{-1}$. Ainsi, les surfaces à restaurer sont encore dominées par des tourbes acides semblables à ce que l'on trouve en milieu naturel (voir le chapitre 4), ce qui devrait faciliter la recolonisation des substrats par des plantes de tourbières.

Les concentrations en éléments minéraux et nutritifs sont plus variables dans les tourbières résiduelles que dans les tourbières naturelles, peut-être en raison des variations de l'humidité, de l'aération, de la température ou du degré de revégétation et d'exploitation de ces écosystèmes. Tous les sites résiduels étudiés ont révélé des teneurs en ammonium et en nitrate plus élevées que celles trouvées normalement dans les tourbières naturelles (Wind-Mulder, Rochefort & Vitt, 1996; Wind-Mulder & Vitt, 2000). Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces valeurs plus élevées en azote : *i*) une croissance accrue des bactéries nitrifiantes, causée par l'augmentation de l'aération de la tourbe et du pH, *ii*) une plus grande minéralisation de l'azote organique et *iii*) l'absence de végétation permettant d'assimiler l'azote. Une étude plus approfondie de la microbiologie et du cycle de l'azote des tourbières (Croft, 1996) a révélé que c'est surtout la minéralisation de l'azote organique en ammonium qui est responsable de l'accroissement des teneurs minérales en azote dans les tourbes résiduelles. Le processus d'ammonification serait favorisé par des régimes thermique et hydrique propices à l'activité des bactéries dans les substrats résiduels (William & Crawford, 1983). En effet, l'activité des bactéries ammonifiantes serait stimulée par *i*) une fluctuation de la température journalière plus importante à la surface des tourbières résiduelles qu'à celle des tourbières naturelles, *ii*) une plus faible teneur en eau de la tourbe en surface, *iii*) une nappe phréatique moyenne plus basse avec de plus grandes fluctuations et *iv*) de fréquentes périodes de sécheresse. Également, à pH acide, l'ammonium ne se volatilise pas facilement et a tendance à se fixer à la matière organique (Pochon & De Barjac, 1958). Une fixation de l'ammonium à la matière organique et l'absence de végétation pour soutirer cet ammonium expliqueraient les plus fortes concentrations observées dans les tourbières résiduelles. Selon l'étude de Pochon et De Barjac (1958), l'activité de minéralisation de la matière organique serait moins intense en nitrate qu'en ammonium, ce qui expliquerait les teneurs relativement plus élevées en ammonium qu'en nitrate entre les deux types de milieux. Ceci peut s'expliquer par des concentrations plus faibles de bactéries nitrifiantes que de bactéries ammonifiantes dans les tourbières à dominance de sphaignes (Collins, D'Sylva & Latter, 1978).

En ce qui concerne les propriétés physiques des tourbes résiduelles, des mesures du taux de décomposition et d'épaisseur de tourbe résiduelle ont été obtenues lors d'un inventaire floristique de toutes les tourbières abandonnées de l'Est du Canada (GRET, données non publiées). Le taux de décomposition moyen

(échelle de von Post) est de 4, les résultats allant de 2 à 6. En moyenne, 3,4 m de tourbe résiduelle sont laissés dans les tourbières abandonnées, avec des variations d'épaisseur de 0,6 à 7,5 m.

Quelles sont les conséquences de l'état chimique et physique des surfaces de tourbe résiduelles pour les perspectives de restauration? Lors des premiers balbutiements sur la recherche de techniques de restauration des tourbières au Canada (au début des années 1990), deux équipes de recherche étaient alors impliquées dans ce domaine. Ainsi, le groupe de D. H. Vitt de l'Université d'Alberta et celui de L. Rochefort de l'Université Laval croyaient qu'il était primordial de bien caractériser la répartition spatiale des propriétés physico-chimiques des substrats résiduels pour choisir avec précision les espèces végétales à réintroduire (Wind-Mulder, Rochefort & Vitt, 1996). En effet, plusieurs espèces de bryophytes occupent des niches écologiques étroites dans les tourbières (Gignac, Vitt & Bayley, 1991; Gignac *et al.*, 1991). Il a donc été proposé de jumeler les espèces et les substrats résiduels en fonction des conditions chimiques du sol en choisissant l'espèce qui, en tourbière naturelle, se comporte le mieux dans telle ou telle condition (ce qui correspond à la niche d'habitat; *sensu* Grubb, 1986). De cette façon, les chances de rétablir avec succès un couvert végétal, surtout en sphaignes, pourraient être augmentées. Depuis, des travaux expérimentaux en laboratoire et sur le terrain, entre 1993 et 1996, ont montré que plusieurs espèces de sphaignes possédant des niches différentes sont capables de s'établir sur un même substrat, qu'une même espèce peut s'établir sur des substrats différents, et cela, en autant que de bonnes conditions d'humidité à l'interface tourbe-atmosphère soient présentes (Campeau & Rochefort, 1996; Ferland & Rochefort, 1997; Rochefort, Quinty & Campeau, 1997; Rochefort & Bastien, 1998). Ces résultats indiquent que, pour certaines espèces de sphaignes, la niche de régénération (*sensu* Grubb, 1986) serait différente de celle de l'habitat. Cette question fait maintenant l'objet de recherches plus spécifiques.

Une autre des conséquences de l'état des surfaces de tourbe résiduelle en matière de restauration est liée à leur plus grande richesse en éléments nutritifs azotés en comparaison avec celles des substrats des tourbières naturelles. En général, la croissance des sphaignes est stimulée par de faibles apports en éléments nutritifs (Rochefort, Vitt & Bayley, 1990; Aerts, Wallen & Malmer, 1992; Bridgham *et al.*, 1996; Williams & Silcock, 1997). Ainsi, l'enrichissement en nutriments des tourbes résiduelles ne devrait pas nuire à la recolonisation par les sphaignes, puisque cet enrichissement *in situ* est faible par rapport aux teneurs atmosphériques déposées dans l'Est du Canada.

Les micro-organismes

Dans les tourbières, les populations de bactéries, de champignons et de micro-organismes hémi-cellulolytiques et cellulolytiques sont plus élevées que dans un sol agricole sous monoculture, mais plus faibles que dans l'horizon organique d'un sol forestier (tableau 23.3). Par exemple, les populations de micro-organismes dans un sol arable québécois pauvre en matière organique sont à un maximum de 4×10^5 UFC (unité formant des colonies) g^{-1} de sol sec chez les bactéries, de 2×10^4 UFC g^{-1} de sol sec chez les champignons, de 4×10^5 UFC g^{-1} de sol sec pour les micro-organismes cellulolytiques et de 4×10^5 UFC g^{-1} de sol sec chez les micro-organismes hémi-cellulolytiques (Tardif, 1996). Pour un sol forestier québécois riche en matière organique (17 % de matière organique), ces valeurs sont à un maximum de $1,8 \times 10^8$ UFC g^{-1} de sol sec chez les bactéries, $9,8 \times 10^6$ UFC g^{-1} de sol

sec chez les champignons et $9,1 \cdot 10^7$ UFC g^{-1} de sol sec chez les micro-organismes cellulolytiques (Lévesque *et al.*, 1992). Les micro-organismes hémi-cellulolytiques et cellulolytiques, ainsi que les populations de bactéries et de champignons, sont en concentration plus faible dans les tourbières résiduelles que dans les tourbières naturelles (tableau 23.3). Cette différence entre les deux types de tourbières pourrait être liée à la plus faible teneur en eau des tourbières résiduelles. Dans une expérience de restauration, la microflore des substrats a pu se reconstituer rapidement à la suite de la réintroduction de matériel végétal provenant d'une tourbière naturelle (Croft, 1996), suggérant que les changements dans les communautés microbiennes seraient liés à la présence de carbone facilement biodégradable, exsudé par les plantes vivantes.

La biomasse microbienne constitue une mesure du carbone des constituants cellulaires des bactéries, des actinomycètes, des champignons, ainsi que des protozoaires et des autres organismes vivant dans la tourbe. Elle représente donc l'ensemble des populations de micro-organismes présents. Les mesures de la biomasse microbienne (tableau 23.3) corroborent les résultats des dénombrements, c'est-à-dire que les micro-organismes sont plus nombreux dans les tourbières naturelles que dans les tourbières résiduelles. La biomasse microbienne pourrait donc être utilisée comme paramètre témoin de l'état microbiologique d'un écosystème tourbeux (voir la section sur l'évaluation du succès des projets de restauration).

La faune

Chez les oiseaux, il n'y a pas de différence majeure au niveau de la richesse en espèces et de l'abondance totale d'individus entre les sites naturels et les tourbières résiduelles bien revégétées qui avaient été exploitées manuellement (voir le chapitre 6). Plusieurs espèces des tourbières naturelles sont toutefois absentes des sites exploités par aspirateur (les méthodes d'extraction sont décrites à la section suivante), et ce, même plusieurs années après l'abandon des sites (Desrochers, Rochefort & Savard, 1998). Quatre espèces (Bruant des prés, Grive solitaire, Paruline à couronne rousse et Bruant de Lincoln) ont été reconnues comme étant sensibles aux perturbations (bio-indicatrices). L'exploitation exerce, par ailleurs, une influence sur la composition de la faune aviaire des bandes étroites de tourbières naturelles adjacentes aux zones exploitées (Delage, Fortin & Desrochers, 2000). De plus, le succès de nidification des oiseaux dans les sites naturels semble plus variable et moins élevé en moyenne dans les tourbières exploitées que dans celles non exploitées (Haddad, Desrochers & Savard, 2000).

Lors d'une étude portant sur l'impact des variations naturelles et artificielles des caractéristiques des tourbières sur les populations d'arthropodes, trois groupes qui reflètent assez fidèlement les conditions locales, puisque étroitement associés au substrat, ont été retenus : les araignées, les fourmis et les carabes (Brodeur 1996).

TABLEAU 23.3. Paramètres microbiologiques mesurés dans les tourbières naturelles ($n = 5$) et les tourbières résiduelles ($n = 6$) en 1993 et en 1994 (moyennes; calculées à partir de Croft, 1996).

Paramètre	Unité	1993		1994	
		Résiduelle	Naturelle	Résiduelle	Naturelle
Bactéries	105 UFC g^{-1} (p.s.) ¹	7,6	35,5	6,6	57,5
Champignons	105 UFC g^{-1} (p.s.)	1,0	2,0	4,7	30,4
Micro-organismes cellulotiques	105 UFC g^{-1} (p.s.)	5,8	24,6	17,3	99,4
Micro-organismes hémi-cellulotiques	105 UFC g^{-1} (p.s.)	8,3	43,6	11,3	65,1
Biomasse microbienne	$\mu g g^{-1}$ (p.s.)	2750 ± 566	9064 ± 2129	881 ± 655	5219 ± 1265

¹ p.s. = poids sec.

En général, les araignées et les carabes sont plus nombreux dans les tourbières résiduelles que dans les tourbières naturelles, alors que ces dernières s'avèrent les plus riches en espèces de fourmis et en nombre d'individus récoltés. Il semble donc que ces trois groupes d'arthropodes soient de bons indicateurs pour caractériser les différents types de tourbières. L'abondance relative des araignées-loup et la diversité des espèces de carabes et de fourmis permettent de déterminer si une tourbière résiduelle est en bonne voie de régénération.

VÉGÉTATION DES TOURBIÈRES RÉSIDUELLES

Toutes les tourbières abandonnées et recensées par le GRET au Québec et au Nouveau-Brunswick ont été parcourues dans le but de savoir comment ces sites ont évolué à la suite de l'arrêt de l'extraction de la tourbe. Chaque secteur de récolte (tranchées et terre-pleins dans le cas des tourbières exploitées selon l'ancienne méthode d'extraction et planches pour les tourbières exploitées par aspirateurs) s'est vu attribuer une cote en fonction de la structure de la végétation en présence. Certains secteurs choisis au hasard ont fait l'objet de relevés de végétation plus détaillés. Un sommaire de cet inventaire floristique est présenté ici, ainsi qu'un certain nombre d'études de cas où le processus de revégétation a été analysé de façon détaillée. Par exemple, la répartition spatiale des types de végétation (bien ou mal régénérée) a été étudiée dans la tourbière de Cacouna (Lavoie & Rochefort, 1996). D'autre part, deux sites bien régénérés en sphaignes ont été choisis pour l'étude de la succession végétale ayant mené au rétablissement d'un tapis de

sphaignes depuis l'arrêt de l'exploitation (Robert, Rochefort & Garneau, 1999).

Méthode de récolte manuelle : coupe par blocs

En 1995, la majeure partie des superficies abandonnées avait fait l'objet d'une récolte de tourbe par des moyens artisanaux. En effet, avant l'avènement des aspirateurs à la fin des années 1960, la tourbe était extraite à la main sous la forme de blocs, grâce à des bêches spéciales (figure 23.2). La topographie de ces sites est constituée de tranchées de minage alternant avec des terre-pleins où la tourbe n'a pas été récoltée aussi profondément (figures 23.3 et 23.4).

Un inventaire floristique a révélé que les sites où la tourbe a été extraite manuellement sont en général bien recolonisés par les plantes vasculaires (plus de 90 % de couvert végétal), surtout par des éricacées arbustives, telles que *Chamaedaphnae calyculata* (L.) Moench, *Kalmia angustifolia* L., *Ledum*



FIGURE 23.2. Jusqu'à la fin des années 1960, l'extraction de la tourbe se faisait par la coupe par blocs. Les blocs de tourbe étaient taillés manuellement à partir d'une tranchée puis déposés sur les terre-pleins pour le séchage (photo : Risi *et al.*, 1953).

groenlandicum Oeder, *Rhododendron canadense* (L.) Torr. et *Vaccinium angustifolium* Ait., et des arbres tels que *Larix laricina* (DuRoi) K. Koch., *Pinus banksiana* Lamb. et *Betula populifolia* Marsh. Ils sont toutefois très pauvres en sphaignes et autres bryophytes (figure 23.5). Seulement 17,5 % des tranchées et moins de 1 % des terre-pleins possèdent un couvert de sphaignes de plus de 50 %. Comme la largeur



FIGURE 23.3. Tranchée issue de la coupe par blocs et transport de la tourbe hors de la tourbière (photo : Risi *et al.*, 1953).



FIGURE 23.4. Vue d'ensemble de la topographie d'une tourbière en exploitation selon la méthode de coupe par blocs; tranchées de minage alternant avec des terre-pleins (photo : Archives provinciales du Nouveau-Brunswick, document P93G61).



FIGURE 23.5. Les tourbières résiduelles, exploitées par la coupe par blocs, sont généralement complètement recolonisées par les éricacées et certaines espèces arborescentes. Elles donnent ainsi l'impression d'un retour aux conditions originales. Quand la strate muscinale et les sphaignes sont absentes et qu'il n'y a pas d'accumulation de tourbe, comme c'est souvent le cas, on ne peut qualifier ces sites d'écosystèmes tourbeux fonctionnels (photo : C. Lavoie).

des terre-pleins est souvent similaire à la largeur des tranchées, on peut estimer qu'environ 10 % des superficies qui ont été exploitées de manière artisanale ont été recolonisées par des sphaignes. Le tableau 23.4 décrit la fréquence et le recouvrement des espèces rencontrées dans les tourbières résiduelles exploitées par la coupe par blocs.

Méthode de récolte mécanique : aspirateurs

De nos jours, la tourbe est récoltée par des aspirateurs géants motorisés ou tirés par des tracteurs qui n'enlèvent, chaque année, qu'une mince couche de tourbe (figure 23.6). Ce type d'exploitation mécanisée exige un drainage efficace des tourbières pour faciliter le passage de la machinerie et réduire le contenu en eau de la tourbe. La végétation ligneuse de surface est également enlevée ou incorporée à la tourbe sous-jacente lors de l'ouverture d'une tourbière. L'exploitation d'un champ d'aspiration s'étend sur plusieurs années. La récolte mécanique de la tourbe laisse de vastes champs d'aspiration plus ou moins convexes et séparés par des canaux de drainage espacés d'une trentaine de mètres (figures 23.7 et 23.8).

Dans les sites où la tourbe a été aspirée mécaniquement, la recolonisation végétale est lente, même par les éricacées arbustives. Plus de 55 % des champs d'aspiration ne présentent aucune sphaigne et seulement 1 % ont une couverture en sphaignes excédant 25 % de la surface. Les tourbières abandonnées, et plus particulièrement celles ayant fait l'objet d'une récolte mécanisée, sont donc caractérisées par l'absence presque totale des sphaignes (figure 23.9; tableau 23.5), qui

TABLEAU 23.4. Végétation colonisant les tourbières résiduelles, exploitées par la coupe par blocs. Seules les espèces qui ont une fréquence de plus de 25 % sont présentées. Un total de 198 sites abandonnés après exploitation par la méthode de coupe par blocs ont été inventoriés. La fréquence relative (%) est le nombre de fois qu'une espèce donnée était observée dans les 198 sites.

Espèces	Recouvrement moyen	Recouvrement maximal	Fréquence relative
	(%)	(%)	(%)
Tourbe mise à nu	6,5	97	49
PLANTES VASCULAIRES			
<i>Kalmia angustifolia</i> L.	45,4	99	99
<i>Ledum groenlandicum</i> Oeder	40,0	98	98
<i>Vaccinium angustifolium</i> Ait.	34,3	97	97
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	22,8	96	96
<i>Rhododendron canadense</i> (L.) Torr.	12,0	78	78
<i>Picea mariana</i> (Mill.) BSP.	7,7	74	68
<i>Larix laricina</i> (DuRoi) K. Koch	7,4	73	73
<i>Betula papyrifera</i> Marsh.	3,7	61	61
<i>Eriophorum vaginatum</i> var. <i>spissum</i> (Fern.) B. Boivin	3,2	54	37
<i>Pinus banksiana</i> Lamb.	2,9	45	34
<i>Kalmia polifolia</i> Wang.	1,9	39	39
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	1,7	41	41
<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Ell.	1,2	40	29
BRYOPHYTES			
<i>Polytrichum strictum</i> Brid.	7,1	79	79
<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.	4,8	52	52
<i>Mylia anomala</i> (Hook.) S. Gray	3,5	57	57
<i>Cladina rangiferina</i> (L.) Nyl.	2,6	58	58
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	2,4	60	60
<i>Sphagnum fuscum</i> (Schimp.) Klinggr.	2,0	55	27
<i>Sphagnum rubellum</i> Wils.	1,9	45	26
<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.	1,9	47	47
<i>Sphagnum fallax</i> (Klinggr.) Klinggr.	1,7	43	31
<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.	1,5	26	26
<i>Cladonia cristatella</i> Tuck.	1,1	26	25
<i>Sphagnum russowii</i> Warnst.	0,9	24	25
<i>Cladonia deformis</i> (L.) Hoffm.	0,9	29	29
<i>Cladonia mitis</i> (Sandst.) Hustich	0,7	26	26
<i>Dicranum undulatum</i> Brid.	0,6	27	27
<i>Dicranum polysetum</i> Sw	0,6	26	26

constituent pourtant le groupe végétal le plus important des milieux tourbeux ombrotrophes.

Les patrons généraux décrits précédemment ne rendent pas compte de certaines particularités de la revégétation naturelle. Certaines tourbières résiduelles, exploitées par la coupe par blocs, se sont bien régénérées. Par exemple, les sphaignes peuvent être abondantes localement dans les tranchées des tourbières de l'Île-aux-Coudres et de Bagotville (figures 23.10 et 23.11). Certaines sections de la tourbière de Cacouna présentent un couvert en sphaignes très important dans les tranchées, alors que d'autres sont complètement forestières (figure 23.12).

Étude de cas : tourbière de Cacouna

La tourbière de Cacouna a fait l'objet d'un grand nombre de travaux dans le but d'identifier les facteurs qui favorisent la revégétation des sites exploités de façon artisanale ou mécanisée (figure 23.13). Girard (2000) a déterminé qu'un haut



FIGURE 23.6. Machinerie spécialisée (aspirateur) servant à récolter la tourbe sur de grandes surfaces légèrement convexes et bien drainées (photo : M. Poulin).

niveau de nappe phréatique (à moins de 40 cm de la surface du sol) permet, dans la plupart des cas, le retour d'une végétation similaire à celle présente à l'origine. La surface du sol n'a pas besoin d'être inondée pour que les sphaignes puissent s'établir. Néanmoins, seulement 10 % de la superficie du site a retrouvé des conditions propices au développement des sphaignes. D'ailleurs, dans chaque section de la tourbière, le retour d'un haut niveau d'eau dépend en bonne partie du processus d'abandon. Ainsi un site abandonné de façon isolée au sein de secteurs toujours en exploitation (donc drainés) aura tendance à être colonisé très rapidement par des arbres plutôt que par des sphaignes.

Une analyse détaillée de l'aspect hydrologique a montré que la tourbière, bien que grandement affectée par les opérations de drainage au cours du 20^e siècle, retrouve peu à peu ses conditions hydrologiques originales, et ce, au fur et à mesure que la végétation se réinstalle et que les canaux, désormais non entretenus, sont obstrués. La nappe phréatique fluctue davantage dans la tourbière de Cacouna que dans une tourbière naturelle voisine (les fluctuations sont 67 % plus importantes à Cacouna). Bien que la moitié des canaux de drainage soient maintenant inopérants, ceux encore actifs évacuent toujours une quantité appréciable d'eau, soit entre 12 et 24 % des précipitations estivales. Ceci explique, en partie, la faible régénération en sphaignes de la tourbière (Van Seters & Price, 2001).

L'étude des conditions hydrologiques locales dans les tranchées est une approche intéressante pour identifier les conditions d'humidité du substrat requises pour favoriser l'établissement des sphaignes. À la tourbière de Cacouna, les sphaignes ont colonisé les dépressions des tranchées où la nappe phréatique était près de la surface du sol ($-24,9 \pm 14,3$ cm) et où les valeurs d'humidité du substrat et de potentiel de l'eau du sol étaient plus élevées que 50 % et -100 cm pendant la saison



FIGURE 23.7. Topographie typique créée par les champs d'aspiration convexes alternant avec les canaux de drainage de 75 cm de profondeur en moyenne. a) À l'avant plan, un canal de drainage principal généralement profond (2 à 3 m), dans lequel se drainent les canaux secondaires perpendiculaires à ce dernier. La flèche indique la partie centrale bombée de la planche où la surface est plus sèche que près des canaux de drainage. b) Vue d'ensemble (photos : L. Rochefort).



FIGURE 23.8. Aujourd'hui, la tourbe est récoltée par d'immenses aspirateurs. Pour faciliter le travail de la machinerie, le drainage est beaucoup plus intense et agit durant une période plus longue qu'anciennement. Les superficies en exploitation ont augmenté de même que l'impact sur l'environnement. À remarquer, la partie exploitée de la tourbière (bas de la photo) et la partie naturelle (haut de la photo) (photo : L. Rochefort).

de croissance (Price & Whitehead, 2001). Ces résultats confirment l'hypothèse que les sphaignes ne sont pas capables d'extraire l'eau de la tourbe lorsque la pression hydrique du sol est inférieure à -100 cm (Hayward & Clymo, 1982; Price, 1997). Il reste à déterminer si le maintien de conditions hydrologiques défavorables pendant de courtes périodes de temps influence aussi l'établissement des sphaignes ou la survie des colonies déjà établies.

Le contraste entre la régénération naturelle des sections récoltées de façon artisanale et celle de la section aspirée est évident : dans ce dernier cas, les sphaignes sont totalement absentes, et le site est massivement envahi par les bouleaux (figure 23.14). Quoique la recolonisation végétale par les éricacées progresse rapidement dans la section aspirée, il n'en demeure pas moins que les sphaignes, même plus de 10 ans après abandon, sont toujours incapables de recoloniser le site. Parmi les facteurs à l'origine de cet insuccès, on peut noter la sécheresse de la surface du sol et l'action perturbatrice du gel-dégel au printemps et à l'automne (Lavoie & Rochefort, 1996; Bérubé & Lavoie, 2000).

Étude de cas : tourbières de Rivière-du-Loup et de Shippagan

L'approche paléoécologique a été privilégiée dans l'étude de deux tourbières bien régénérées par les sphaignes, après exploitation par coupe manuelle (Robert, Rochefort & Garneau, 1999). Une de ces tourbières se trouve au Québec (tourbière de Rivière-du-Loup) et l'autre au Nouveau-Brunswick (tourbière de Shippagan). Cette étude avait pour but de mieux comprendre le dynamisme de la régénération

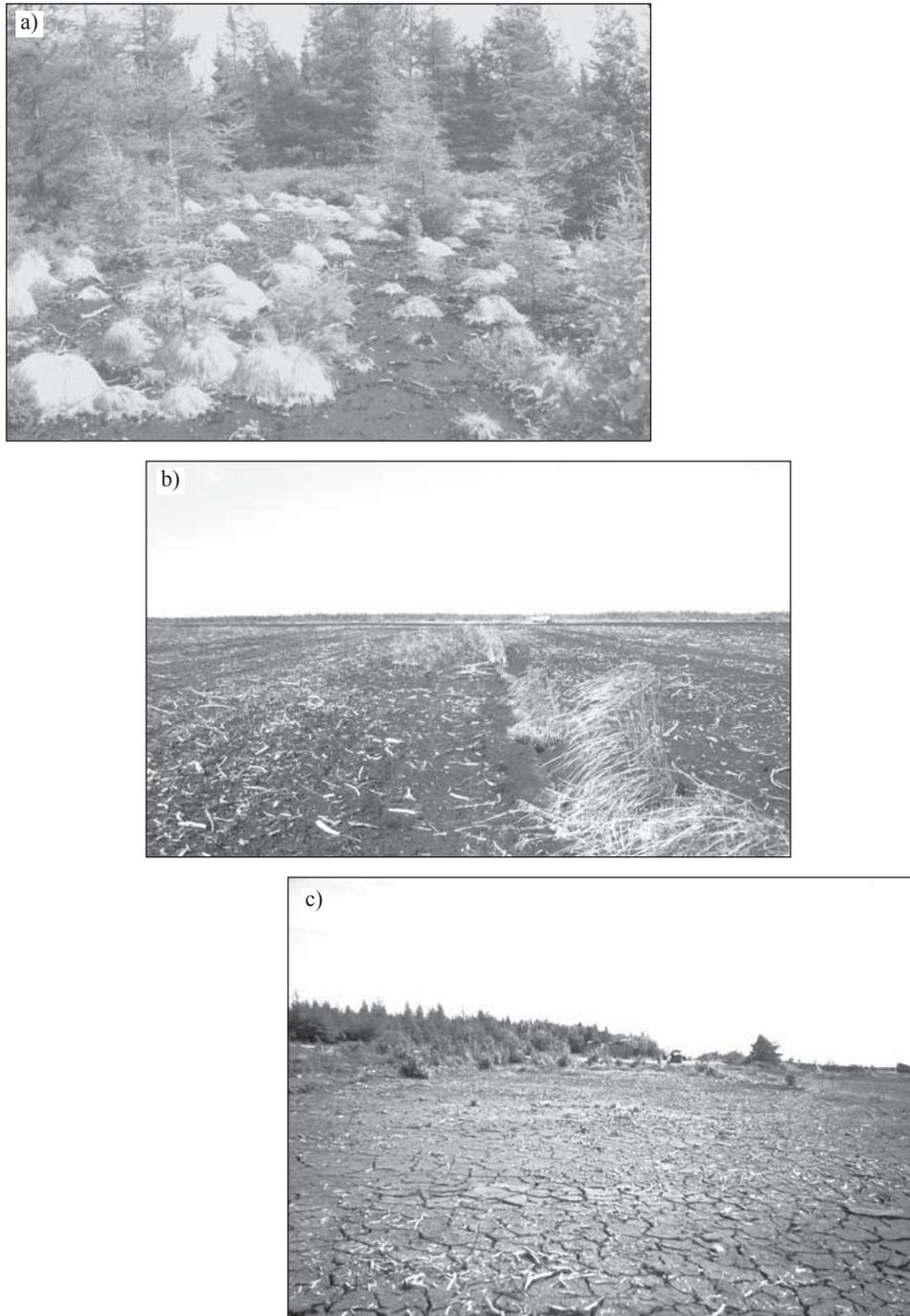


FIGURE 23.9. Les conditions sèches et l'instabilité du substrat des tourbières résiduelles, exploitées par aspirateurs, en font des milieux difficilement recolonisés par la végétation. Les plantes sont presque totalement absentes de certains sites plusieurs années après l'arrêt de l'exploitation. a) Champ résiduel d'aspiration bien revégété mais dont les touradons d'*Eriophorum vaginatum* var. *spissum* montrent des signes de croissance difficile. b) Champ résiduel d'aspiration où le soulèvement gélival, l'érosion éolienne et l'oxydation de la tourbe mettent en évidence les fragments ligneux du dépôt. c) Champ résiduel d'aspiration où les fentes de dessiccation sont évidentes (photos : L. Rochefort).

TABLEAU 23.5. Végétation colonisant les tourbières résiduelles exploitées par aspiration. Seules les espèces qui ont une fréquence de plus de 25 % sont présentées. Douze sites abandonnés après exploitation par aspiration ont été inventoriés. La fréquence relative (%) est le nombre de fois qu'une espèce donnée était observée dans les 12 sites.

Espèces	Recouvrement moyen	Recouvrement maximal	Fréquence relative
	(%)	(%)	(%)
Tourbe mise à nu	48,7	82	83
PLANTES VASCULAIRES			
<i>Kalmia angustifolia</i> L.	15,6	69	75
<i>Eriophorum vaginatum</i> var. <i>spissum</i> (Fern.) B. Boivin	13,2	65	83
<i>Ledum groenlandicum</i> Oeder	12,8	56	92
<i>Vaccinium angustifolium</i> Ait.	12,6	38	75
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	8,1	36	83
<i>Betula papyrifera</i> Marsh.	6,7	32	67
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	3,7	17	58
<i>Betula populifolia</i> Marsh.	2,7	21	33
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honckeny	2,1	13	25
<i>Scirpus atrocinctus</i> Fern.	2,0	12	25
<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Ell.	1,4	5	42
<i>Rhododendron canadense</i> (L.) Torr.	1,3	5	42
<i>Larix laricina</i> (DuRoi) K. Koch	0,9	3	58
<i>Populus tremuloides</i> Michx.	0,8	3	25
<i>Picea mariana</i> (Mill.) BSP.	0,5	3	42
<i>Vaccinium oxycoccos</i> L.	0,5	4	25
<i>Salix</i> spp.	0,4	3	25
<i>Kalmia polifolia</i> Wang.	0,3	1	33
BRYOPHYTES			
<i>Pohlia nutans</i> (Hedw.) Lindb.	4,9	57	25
<i>Polytrichum strictum</i> Brid.	4,5	15	50
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	1,6	9	25
<i>Mylia anomala</i> (Hook.) S. Gray	1,2	12	25
<i>Dicranella cerviculata</i> (Hedw.) Schimp.	1,0	10	25

spontanée des tourbières, ce qui pourrait aider le développement de pratiques de restauration de sites abandonnés. Au moment de l'échantillonnage de la tourbe, les sites étudiés étaient principalement composés de buttes et de platières dominées par des sphaignes de la section *Acutifolia* sous un couvert plus ou moins dense d'éricacées. L'analyse des macrorestes végétaux de 20 carottes de tourbe néoformée révèle que les sphaignes et les éricacées, essentiellement représentées par des fragments ligneux et des radicelles, sont les principales composantes botaniques de l'horizon pionnier. Une paludification directe du substrat résiduel serait donc à l'origine du développement d'une végétation de composition et de structure similaires à celle des tourbières non perturbées. Cette étude n'a permis d'identifier ni les régimes hydriques et trophiques initiaux, ni la séquence exacte de paludification de l'ensemble des tranchées. Les profils stratigraphiques de la succession végétale confirment toutefois la capacité des sphaignes à influencer l'évolution des communautés végétales. Les résultats montrent une convergence des successions vers la formation des biotopes actuels (buttes et platières de *Sphagnum fuscum*, *S. capillifolium* et *S. magellanicum* sous couvert d'éricacées), même lorsque des colonies de *Polytrichum strictum* ou des touradons d'*Eriophorum vaginatum* var. *spissum* ont formé un couvert végétal dominant ou important lors des premiers stades de revégétation (figure 23.15).

La dominance initiale ou rapide des sphaignes indique que le dynamisme de

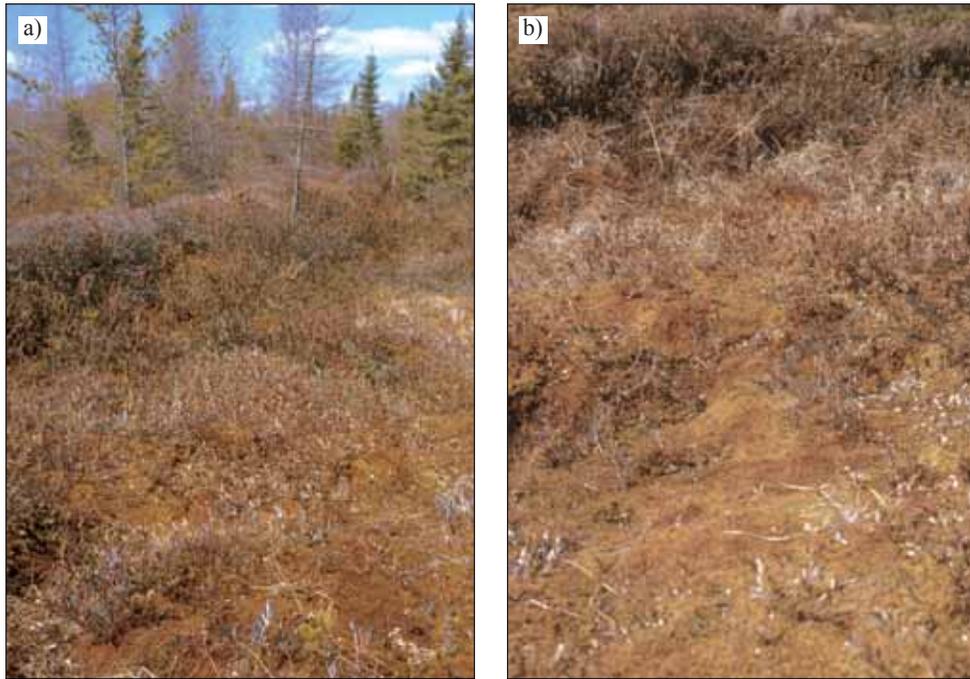


FIGURE 23.10. Tourbière de Bagotville, Saguenay. a) Vue d'ensemble. Sur ce site, on note la structure ouverte de la végétation et la présence d'un tapis continu de sphaignes. Les éricacées ne forment pas de couvert dense comme dans la plupart des tourbières résiduelles exploitées par la coupe par blocs (figure 23.5). On remarque la variété des biotopes, notamment des buttes séparées par des dépressions et, à l'arrière-plan, le terre-plein. b) Vue rapprochée (photos : S. Campeau).



FIGURE 23.11. Dans quelques cas, les sphaignes se sont rétablies dans les tourbières résiduelles exploitées par la coupe par blocs. Elles peuvent former un tapis continu et accumuler plus de 20 cm de tourbe en 25 ans. On remarque le contact net entre l'ancienne surface et les nouvelles fibres de sphaigne accumulées (photo : L. Rochefort).

paludification leur a permis d'enfouir entièrement les touradons d'*Eriophorum vaginatum* var. *spissum* et presque entièrement les colonies de *Polytrichum strictum*. La représentation constante de *Chamaedaphne calyculata*, *Kalmia angustifolia* et *Ledum groenlandicum* dans les profils stratigraphiques, ainsi que la position que ces espèces occupent dans la végétation actuelle confirment leur participation au développement de la structure de la végétation (Malmer, Svensson & Wallen, 1994).

La convergence de la succession végétale témoigne ainsi de l'étonnante capacité des sphaignes à créer des conditions ambiantes qui sont favorables à leur croissance et à la formation de dépôts tourbeux (Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995; Robert, Rochefort & Garneau, 1999). Ces travaux nous portent à croire que les efforts de restauration devraient continuer à viser la réintroduction des sphaignes et l'établissement de petites colonies. Leur



FIGURE 23.12. Zone forestière de la tourbière de Cacouna après exploitation. Section dominée par le Pin gris (photo : GRET).

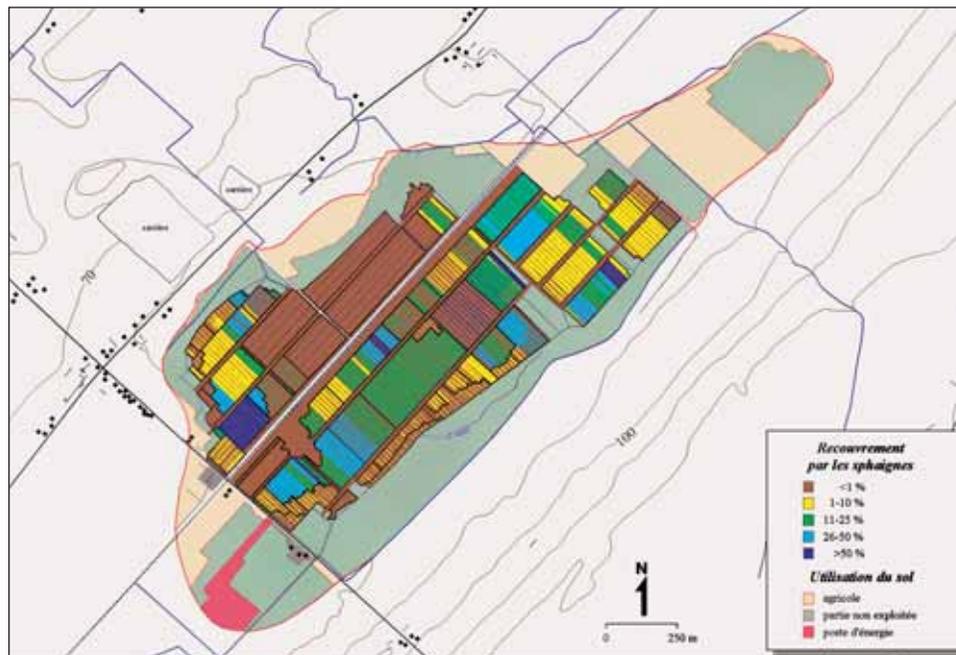


FIGURE 23.13. Recouvrement de la surface du sol par les sphaignes dans la zone exploitée de la tourbière de Cacouna (tiré de Girard, 2000).



FIGURE 23.14. Site récolté par aspiration et massivement colonisé par le Bouleau gris un an après son abandon. Les caractéristiques physiques de la tourbe et les conditions hydrologiques des tourbières exploitées par aspirateurs en font des milieux rarement recolonisés par la sphaigne (photo : C. Lavoie).

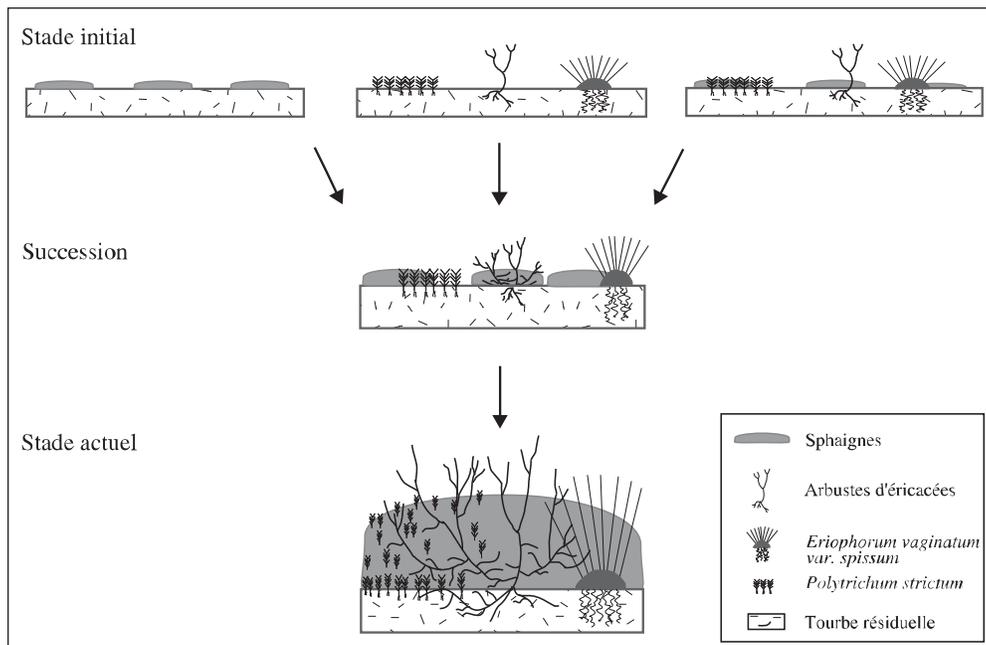


FIGURE 23.15. Séquences de paludification possibles, des successions végétales et du stade actuel de la végétation (modifié de Robert, Rochefort & Garneau, 1999).

croissance est, en effet, susceptible de promouvoir rapidement des mécanismes de contrôle interne de saturation en eau, d'oligotrophie et d'acidité, gages de la régénération d'écosystèmes fonctionnels similaires à ceux d'origine.

APPROCHES DE RESTAURATION DES TOURBIÈRES AU QUÉBEC

Objectif de la restauration

La recherche sur l'écologie de la restauration des tourbières au Canada n'a débuté que durant les années 1990. À cette époque, l'industrie canadienne de la tourbe se questionnait déjà quant à la gestion des sites tourbeux une fois l'exploitation de la ressource terminée. Un atelier de travail portant sur le réaménagement des tourbières a permis de réunir tous les intervenants du milieu de la tourbe, dont des représentants des gouvernements (fédéral et provinciaux), de l'industrie et des universités à Fredericton, au Nouveau-Brunswick, en 1992 (Centre de recherche et de développement de la tourbe, 1992). L'objectif général de la restauration des tourbières qui s'est dégagé de cette rencontre est de restaurer, dans la mesure du possible, les tourbières résiduelles en de nouveaux écosystèmes humides accumulateurs de tourbe, selon un régime de succession végétale de tourbière. Dans un premier temps (1992 à 1996), les efforts de recherche ont porté sur *i*) la comparaison des substrats tourbeux résiduels et naturels pour mieux comprendre les différences fonctionnelles entre ces deux types de substrats (voir les sections précédentes), *ii*) l'évaluation de l'impact de la récolte de tourbe sur les populations d'oiseaux et d'arthropodes (voir le chapitre 6) et les communautés de plantes (voir la section précédente), ainsi que sur *iii*) le développement de techniques de réintroduction des sphaignes dans les sites perturbés. Depuis 1996, les objectifs de recherche sont orientés vers la restauration et la conservation des tourbières à grande échelle, ce qui inclut deux aspects complémentaires, soit la restauration des tourbières abandonnées en écosystèmes fonctionnels et le choix de critères scientifiques permettant d'identifier les sites à conserver en tant qu'écosystèmes tourbeux naturels.

Importance de la sphaigne

Les tourbières dominées par les sphaignes, qui sont celles exploitées par l'industrie, se caractérisent par un lien très étroit entre la végétation et l'hydrologie (Ingram, 1983). Les sphaignes modifient les conditions physico-chimiques au point de ralentir les processus de décomposition (Clymo, 1987). Il en résulte une accumulation de tourbe qui s'élève graduellement au-dessus des eaux de ruissellement et un appauvrissement du milieu désormais alimenté uniquement par les précipitations (Glaser & Janssens, 1986). La structure fibrique et très poreuse du tapis de sphaignes lui confère une grande capacité de stockage de l'eau et limite considérablement les fluctuations de la nappe phréatique (Ingram, 1983). Les sphaignes créent ainsi un certain équilibre qui leur est favorable (van Breemen, 1995). C'est pourquoi une attention particulière est accordée au succès à long terme de la réimplantation de ces mousses lors du développement des techniques de restauration (Rochefort, 2000).

Facteurs pouvant faciliter la restauration d'un couvert végétal

Les sections qui suivent présentent les résultats de l'expérimentation de diverses techniques de restauration sur des secteurs abandonnés après exploitation au Québec. L'idée directrice des expériences réalisées repose sur deux postulats qui

découlent d'observations faites sur le terrain. Il a d'abord été présumé que le mode de dispersion des plantes ne permet pas la recolonisation à moyen terme des sites résiduels par des espèces végétales de tourbières, particulièrement par les sphaignes. La revégétation dépend donc d'un apport extérieur de matériel. Deuxièmement, nous avons émis l'hypothèse que l'état actuel des surfaces abandonnées après exploitation est peu favorable à l'établissement des plantes de tourbières; le déficit hydrique important, qui afflige les tourbières résiduelles, constitue un facteur limitant l'établissement et la croissance des végétaux. Ainsi, dans le cheminement suivant, les conditions propices au rétablissement d'un couvert végétal constitué de plantes de tourbières sont identifiées et des méthodes pratiques pouvant recréer ces conditions sur le terrain sont proposées.

Les sphaignes qui dominent la strate muscinale des tourbières possèdent un potentiel de régénération élevé (voir le chapitre 3), mais les facteurs qui régissent ce potentiel en conditions naturelles commencent à peine à être connus. Les observations sur le terrain montrent que la recolonisation des écosystèmes tourbeux ne se fait pas facilement dans les sites résiduels exploités par aspirateur (en effet, des sphaignes y sont observées sur seulement 1 % des superficies; voir la section sur la méthode de récolte mécanique). Tous les essais de réintroduction de sphaignes sur des substrats de tourbe mise à nu, qui ont été faits en 1991 et 1992, ont d'ailleurs connu très peu de succès, que ce soit par l'épandage de fragments végétaux sur la tourbe, par l'introduction de plantes entières dans des dépressions ou canaux remplis d'eau pendant une bonne partie de l'année ou par la transplantation de «blocs» entiers de tourbières naturelles (petites carottes de 10 cm 10 cm 10 cm ou blocs de 1 m 1 m 50 cm de profondeur). C'est en réalisant l'importance du microclimat à l'interface air-tourbe et de la protection des diaspores contre le dessèchement qu'il a été possible de développer des techniques de restauration et d'améliorer le succès d'établissement de la végétation.

Au début des recherches, une attention particulière était portée dans le choix de la ou des espèces de sphaignes dont la niche écologique se rapprochait le plus des conditions physico-chimiques des substrats résiduels. Ces caractérisations fines sont coûteuses et plusieurs observations faites au champ nous indiquent qu'il n'existe pas nécessairement de relation entre la niche et la capacité de la sphaigne à coloniser et à s'établir sur la tourbe. Par exemple, Bugnon, Rochefort et Price (1997) ont testé le succès d'établissement de huit espèces de sphaignes le long d'un gradient d'humidité dans la tourbière de Rivière-du-Loup. Leurs résultats montrent que, pour toutes les sphaignes, c'est le degré d'humidité de la tourbe qui constitue le facteur déterminant et non l'espèce. Plusieurs raisons pourraient expliquer la différence entre les dimensions connues des niches de sphaignes et leur comportement aux stades initiaux de succession secondaire :

1. Dans les tourbières naturelles (qui n'ont pas été récemment perturbées par des éléments naturels), l'eau est transportée aux capitules des sphaignes par tension capillaire et les nutriments (N, P, K) subissent une translocation vers la partie apicale des plantes durant la croissance (Pakarinen & Tolonen, 1977; Malmer, 1986; 1988; Malmer & Wallen, 1993). Ces ressources facilement disponibles pour les sphaignes «adultes» n'existent pas pour les diaspores.
2. Les espèces de sphaignes occupent des habitats bien circonscrits dans les tourbières naturelles. Ces habitats ne reflètent pas nécessairement les

conditions dans lesquelles l'espèce croît le mieux : par exemple, *Sphagnum fuscum* croît très bien dans les dépressions en conditions expérimentales, alors qu'elle est observée sur les buttes en milieu naturel (Rydin, 1993).

3. Dans la nature, les sphaignes ne poussent pas en individus isolés, mais plutôt en communautés entrelacées sous forme de petits îlots, buttes ou tapis. Cette organisation en communauté leur permet de se protéger contre les conditions adverses du milieu (Ingram, 1983; van Breemen, 1995). On s'attend donc à ce que les diaspores de sphaignes isolées, c'est-à-dire avant la formation de petites colonies, soient très sensibles aux conditions de l'environnement. C'est pourquoi, il semble que la dimension des niches de sphaignes aux stades initiaux de recolonisation soit différente de celle connue pour les sphaignes «adultes» des tourbières naturelles.

Le développement des techniques de restauration doit donc attacher une grande importance à la protection des diaspores après leur réintroduction au champ.

RÉINTRODUCTION DES PLANTES

Sphaignes

Le défi de la restauration des tourbières résiduelles consiste à rétablir un couvert végétal dominé par les sphaignes. L'établissement d'un tapis de sphaignes permettra la reconstitution de l'acrotelme qui formera, en retour, l'habitat qui leur est le plus favorable. La méthode de réintroduction des sphaignes est assez simple. Elle consiste à récolter les 10 premiers centimètres de la couche muscinale d'une tourbière, de les déchiquter ou de les séparer pour briser l'entrelacement du tapis et d'épandre ce matériel végétal sur le substrat de tourbe nue à restaurer. Il est recommandé d'épandre les sphaignes selon un rapport de 1/15 à 1/20, c'est-à-dire que chaque mètre carré récolté est épandu sur une surface de 15 à 20 m². Il est préférable de réaliser toutes ces étapes en quelques jours (maximum quelques semaines) pour préserver au maximum la viabilité du matériel. Il est possible de cultiver artificiellement des diaspores de sphaignes afin de diminuer les quantités de matériel à prélever en milieu naturel. La technique consiste à produire une multitude de nouvelles pousses de sphaignes en serre ou en système de pépinière au champ. En serre, des fragments de sphaignes de l'espèce désirée sont épandus sur une mince couche de tourbe dans des bacs de propagation troués, arrosés au besoin avec une solution nutritive. Après quelques semaines, le matériel est récolté puis entreposé jusqu'au moment des réintroductions dans des congélateurs à des températures de -2 à -4 °C. En système de pépinière, des secteurs sont cultivés à répétition à l'aide d'un système d'arrosage pour maintenir des conditions d'humidité adéquates tout au long de la saison de croissance. Les premiers essais à petite échelle révèlent que le matériel ainsi produit est d'excellente qualité (GRET, données non publiées).

Type de diaspores

Presque toutes les portions d'une sphaigne vivante, à l'exception des feuilles, peuvent régénérer un nouvel individu lorsqu'elles sont isolées de la plante-mère (voir le tableau 3.3). C'est ce potentiel de reproduction végétative qui est utilisé lors de la réintroduction des fragments de sphaignes sur un substrat de tourbe mise à nu dans le but de reformer un tapis muscinal. Dans les deux sections suivantes, l'influence de la taille et du type de fragment sur le potentiel de régénération des

sphaignes est présentée.

En laboratoire, le nombre d'innovations ou de régénérants obtenus sur une tige de sphaigne est beaucoup plus élevé en l'absence du capitule, c'est-à-dire en l'absence de dominance apicale. Les tiges pourvues de leur capitule forment peu ou pas de nouvelles innovations (voir le chapitre 3). Dans le présent contexte, la dominance apicale se définit par l'absence de régénération d'autres capitules, due à la présence d'un premier capitule sur le fragment. Cependant, lorsque des sphaignes avec capitules sont réintroduites sur un substrat tourbeux en serre ou sur le terrain, on observe souvent la présence de plusieurs innovations sur une même tige, et ce, particulièrement lorsque le niveau d'eau n'est pas maintenu près de la surface (Rocheffort, Gauthier & LeQuéré, 1995; figure 23.16). D'autres expériences en laboratoire montrent que, lorsque les diaspores de certaines espèces de sphaignes sont soumises à une courte période de dessiccation, de nombreuses innovations peuvent être produites malgré la présence du capitule. Ces résultats corroborent les observations faites sur le terrain (données non publiées). Ainsi, il n'apparaît pas nécessaire de séparer le capitule du reste de la tige, pour les réintroductions sur le terrain, car la dominance apicale s'exprime faiblement au champ.

Origine des diaspores dans la colonne de tourbe

Les sphaignes poussent par le haut, à partir du capitule, et meurent par le bas, accumulant ainsi une colonne de tourbe. Clymo et Duckett (1986) suggèrent l'existence d'un certain potentiel de régénération (soit par spores ou à partir de fragments de sphaignes) jusqu'à une profondeur de 30 cm dans la colonne de tourbe. Il est important de déterminer la profondeur à laquelle le matériel végétal peut être prélevé, afin d'assurer une bonne qualité des diaspores, c'est-à-dire avec un potentiel élevé de régénération, tout en minimisant autant que possible les surfaces à récolter en milieu naturel (zones d'emprunt). Plus grande sera la profondeur de prélèvement du matériel végétal possédant un bon potentiel de régénération, plus petites seront les superficies nécessaires devant être perturbées. Une expérience comparant des diaspores de sphaignes prélevées à trois profon-

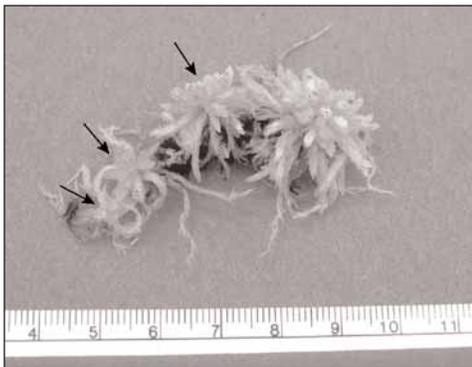


FIGURE 23.16. Innovations formées sur une tige de sphaigne avec capitule. La dominance apicale du capitule semble faible, lorsqu'un individu de sphaigne n'est pas maintenu dans des conditions d'humidité idéales. Les flèches indiquent trois nouveaux capitules formés sous le capitule initial. L'échelle est en centimètres (photo : L. Rocheffort).

deurs (0 à 10 cm, 10 à 20 cm et 20 à 30 cm sous la surface) a montré que le pouvoir de régénération de trois espèces de sphaignes communes aux tourbières ombrotrophes semble limité à la portion située entre 0 et 10 cm de profondeur (Campeau & Rocheffort, 1996). Des études plus détaillées portant sur des fragments de huit espèces de sphaignes établissent que la longueur de la portion vivante des tiges de sphaignes varie selon les espèces; elle se trouve même en deçà de la limite du 10 cm chez plusieurs d'entre elles. Par exemple, *Sphagnum fuscum* a déjà perdu 60 % de sa vitalité à 4 ou 5 cm sous le capitule. *Sphagnum riparium* Ångstr. fait exception; il s'agit d'une espèce aquatique à croissance rapide qui montre un fort potentiel de régénération jusqu'à plus

de 20 cm sous le capitule (GRET, données non publiées).

Source des diaspores

Comme il n'existe pas de source commerciale de diaspores de sphaignes, ces dernières doivent être prélevées dans les sites naturels. Le but poursuivi est donc d'obtenir une quantité optimale de diaspores à épandre pour assurer le rétablissement du couvert végétal dans des délais raisonnables, tout en minimisant l'impact sur l'environnement (Campeau & Rochefort, 1996). Les densités de sphaignes se doivent d'être élevées pour permettre l'établissement d'un couvert végétal à court terme.

Ainsi, après plusieurs essais au champ (figure 23.17), on recommande un rapport surface de récolte/surface d'épandage de 1/15 (Quinty & Rochefort, 1997a) pour les travaux de restauration de tourbières à grande échelle, c'est-à-dire 1 m² de diaspores récoltées qui sont épandues sur 15 m². Ce rapport permet de minimiser l'impact de prélèvement dans les tourbières naturelles tout en assurant une densité de matériel végétal suffisante pour le rétablissement rapide d'un bon couvert végétal.

Taille des diaspores

Puisque toute portion d'une sphaigne vivante peut se régénérer, il importe de déterminer la taille minimale à laquelle les fragments peuvent être coupés ou déchiquetés, dans le but, encore une fois, de minimiser la quantité de matériel prélevé en milieu naturel. En contrepartie, il est possible que, sur le terrain, les chances de survie des fragments de petite taille ou des fragments de grande taille

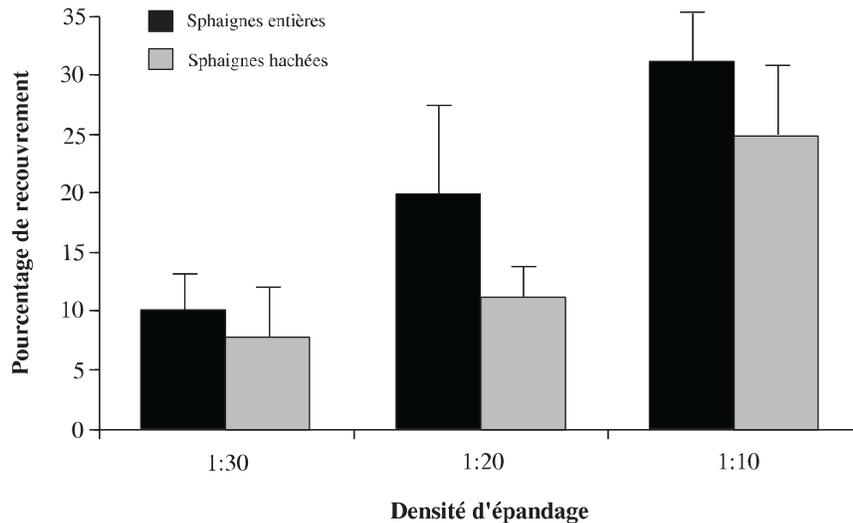


FIGURE 23.17. Effet de la densité d'épandage et de la méthode de préparation des fibres de sphaigne sur l'établissement d'un couvert végétal sur un substrat de tourbe nue après trois saisons de croissance au champ (\pm erreur-type). Le matériel ensémené est un mélange d'espèces communes des tourbières ombrotrophes (*Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum* et *S. angustifolium* C. Jens. ex Russ.). L'épandage a été effectué au printemps sur des parcelles de 10 m \times 12 m avec des sphaignes entières (fibres d'environ 10 cm de longueur) et des sphaignes hachées en fragments de 0,5 à 3 cm de longueur à l'aide d'un hache-paille. Un paillis a été appliqué.

sans capitule soient plus faibles que celles des sphaignes entières; en effet, ces dernières seraient vraisemblablement moins sujettes à la dessiccation et au transport par le vent lors de l'épandage.

En serre, il ne semble pas y avoir d'avantage notable à utiliser des diaspores de petite taille (0,5 à 2 cm de longueur) plutôt que des diaspores de grande taille pour assurer le rétablissement rapide d'un tapis muscinal (Campeau & Rochefort, 1996).

Par contre, au champ, les sphaignes entières ont montré un succès de recolonisation nettement supérieur aux sphaignes hachées mécaniquement (figure 23.17), ce qui pourrait s'expliquer par l'écrasement des capitules et des tiges lors du passage des plantes dans le hachoir. Il est aussi possible que les sphaignes hachées offrent moins de résistance au déplacement par le vent et à la dessiccation que les sphaignes entières lors de l'épandage. Dans l'optique d'une application à grande échelle, il semble donc plus important de minimiser le stress mécanique subi par les diaspores lors de leur collecte et de leur épandage, plutôt que de porter une attention particulière à l'obtention de diaspores de taille précise et contrôlée.

Période de récolte et d'épandage

Des facteurs d'ordre physiologique peuvent également influencer le potentiel de régénération au cours d'une saison de croissance. Dans le cadre d'expériences réalisées sur le terrain et en laboratoire, on cherche à déterminer le potentiel de régénération de diaspores recueillies à différents moments d'une même saison de croissance. De façon préliminaire, l'expérience en laboratoire suggère que le succès de régénération des sphaignes prélevées au milieu de l'été est plus faible que celui de sphaignes récoltées au printemps ou à l'automne, et qu'il existe peu ou pas de différence entre ces deux dernières saisons (figure 23.18; Johnson, Maly & Malterer, 2000). Pour des travaux d'envergure, il serait donc préférable d'épandre du matériel de sphaignes récoltées au printemps ou à l'automne, tout en se rappen-

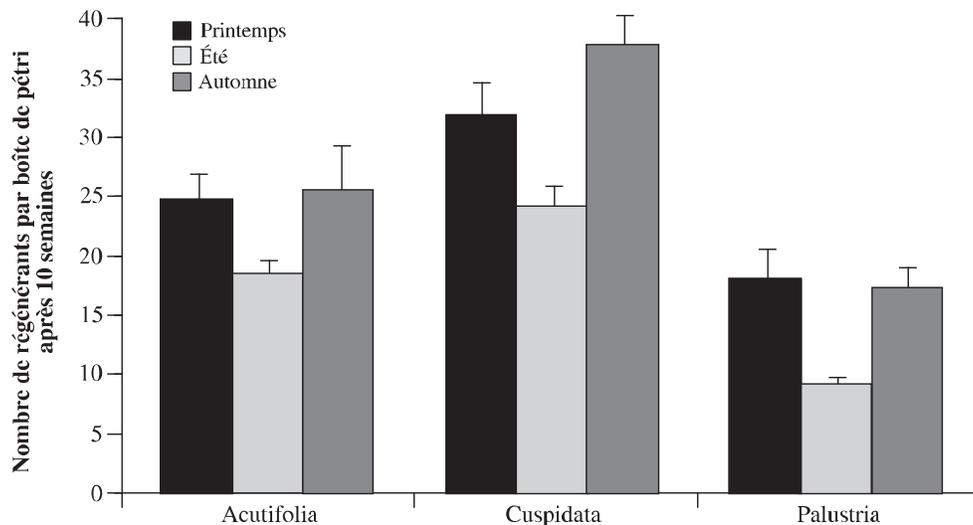


FIGURE 23.18. Effet de la période de récolte sur le potentiel de régénération de différentes espèces de sphaignes (moyenne et erreur-type, $n = 5$). Les espèces suivantes représentent les différentes sections de classification : Acutifolia = *Sphagnum fuscum* et *S. capillifolium*; Cuspidata = *Sphagnum angustifolium* et *S. fallax*; Palustria = *Sphagnum magellanicum*.

lant que ce sont les conditions du substrat prévalant au moment de l'épandage qui sont déterminantes pour une recolonisation végétale réussie.

Tolérance des diaspores à la dessiccation

Des essais en laboratoire ont établi que les sphaignes peuvent survivre à d'assez longues périodes sans apport d'eau direct, en dépit du fait qu'elles sont des plantes de milieu humide sans mécanisme physiologique de rétention ou de transport d'eau. Dans une étude portant sur la tolérance à la dessiccation (Sagot & Rochefort, 1996), des tiges de sphaignes isolées, laissées à sécher à l'air libre (température ~20 °C, humidité relative ~60 %) pendant des périodes allant jusqu'à 14 jours, ont montré encore des signes de reviviscence lorsque mises en culture sur boîtes de pétri. D'autres travaux sur la tolérance à la dessiccation des sphaignes attestent que la période de séchage tolérée par des fragments de sphaignes dépend directement de l'humidité relative de l'air à laquelle ils sont exposés (figure 23.19). À 14 % d'humidité relative, la survie des diaspores de sphaignes sans capitule était nulle après 12 heures. Lorsque l'humidité relative de l'air était maintenue à 76 %, elles pouvaient tolérer des périodes sans apport d'eau de plus de trois jours. À 94 % d'humidité relative, les fragments de sphaignes de deux des trois espèces en cause (*Sphagnum magellanicum* et *S. fallax*) ont pu supporter des périodes sans apport d'eau allant jusqu'à 28 jours. À des taux moyens et bas d'humidité relative, les diaspores avec capitule ont connu une meilleure tolérance à la dessiccation que celles sans capitule. Ces expériences sur l'effet de l'humidité relative sur la survie des fragments de sphaigne se sont déroulées à la température ambiante. Sagot et Rochefort (1996) estiment que les diaspores pourraient être sensibles à la température, mais l'expérience testant les effets de la température s'est déroulée dans des conditions d'humidité relative non contrôlée. Il faudrait donc clarifier le rôle joué par la température de l'air sous des conditions d'humidité relative contrôlées.

Besoins en lumière

L'utilisation d'un paillis ou d'un autre type de couvert protecteur peut contribuer à créer un microclimat favorable pour les diaspores, notamment en conservant une humidité relative plus élevée (facteur discuté plus loin). Elle entraîne néanmoins une diminution de la quantité de lumière incidente sur les

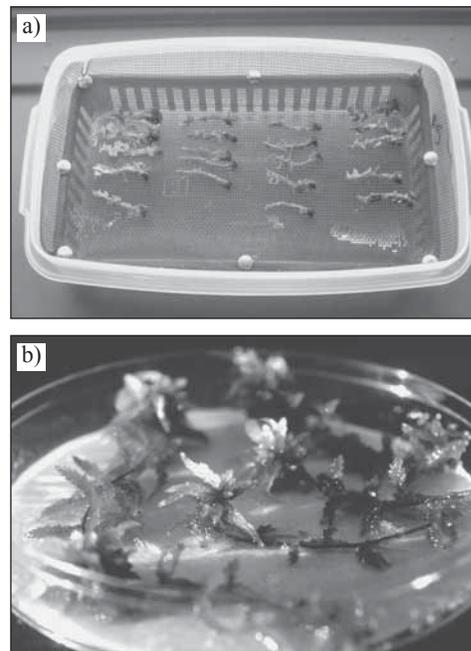


FIGURE 23.19. Expérience sur la survie des diaspores de sphaignes exposées à différents taux d'humidité relative pendant des périodes variables. a) Cette expérience consiste à laisser, pour des périodes de temps variables, des fragments isolés dans des contenants fermés où l'humidité relative est contrôlée. L'humidité relative est maintenue constante à l'aide d'une solution aqueuse saturée mise en contact avec un excès d'un sel en phase solide, à une température donnée (photo : GRET). b) Les fragments sont ensuite placés en culture (pendant 8 semaines) dans des boîtes de pétri afin de déterminer leur taux de survie (photo : C. Sagot).



FIGURE 23.20. Effet d'une diminution de la lumière incidente sur le potentiel de régénération de la sphaigne (expérience effectuée en chambre de croissance dans des boîtes de pétri). Six espèces de sphaignes ont été soumises pour une durée de 10 semaines à une photopériode de 15 heures de lumière par jour et à une température de 21 °C. En chambre de croissance, la quantité de lumière incidente, produite à l'aide de tubes fluorescents, est de l'ordre de 5 à 10 W m⁻² (photo : S. Campeau).

diaspores nouvellement réintroduites. Deux expériences, l'une en serre et l'autre en chambre de croissance, ont tenté de déterminer jusqu'à quel point une diminution de la lumière ambiante peut affecter la régénération de fragments de sphaignes.

L'expérience en chambre de croissance (figure 23.20) a montré qu'une diminution de la régénération des fragments ne se fait sentir que lorsque la luminosité est très faible (80 % de la lumière incidente coupée par l'ombrière pour un éclairage résiduel de l'ordre de 1 W m⁻²). Même dans ces conditions, le nombre d'innovations obtenu par boîte de pétri n'était que de 15 à 30 % inférieur à celui du témoin sans ombrière. En serre, l'utilisation d'ombrières a toujours produit un succès de recolonisation plus élevé que celui du témoin en pleine lumière (figures 23.21 et 23.22). Les plantes produites sous une ombrière produisant 80 % d'ombrage avaient cependant une allure plus étiolée que celles produites avec les ombrières de 40 % et 60 %. Les résultats de cette expérience montrent que l'effet potentiellement négatif d'une diminution de la lumière incidente par une ombrière est plus que contrebalancé par l'amélioration des conditions d'humidité pour la reprise des diaspores. Il serait donc possible qu'il en soit de même sur le terrain, là où la quantité de lumière incidente est initialement plus élevée et où les conditions microclimatiques à l'interface tourbe-air sont sans doute plus limitatives qu'en serre. En fait, une trop forte luminosité pourrait nuire à la reprise des sphaignes sur le terrain. Murray, Tenhunen et Nowak (1993) ont montré que la capacité photosynthétique des sphaignes est réduite à des intensités lumineuses supérieures à 175 W m⁻² (photo-inhibition). Si tel est le cas, l'effet positif de l'utilisation d'un paillis sur le

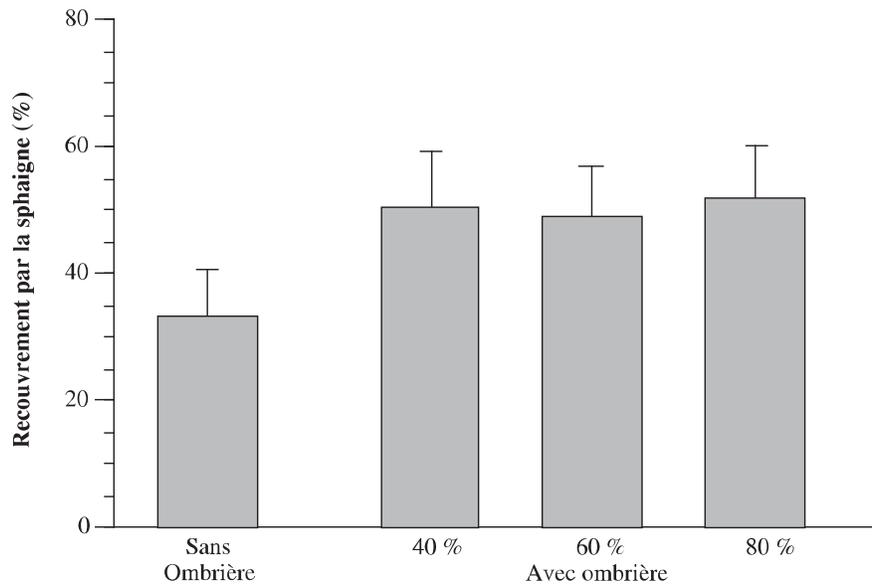


FIGURE 23.21. Effet d'une diminution de la lumière incidente sur la régénération des sphaignes (expérience effectuée en serre) : *Sphagnum magellanicum*, *S. papillosum* Lindb., *S. riparium*, *S. angustifolium*, *S. fuscum* et *S. capillifolium* (moyenne \pm erreur-type).



FIGURE 23.22. Effet d'une diminution de la lumière incidente sur le succès de recolonisation de la sphaigne en serre. Six espèces de sphaignes épanchées sur la tourbe ont été mises en culture pour une durée de 3 mois, sous 4 conditions d'ombrage : 3 ombrières coupant chacune 40 %, 60 % et 80 % de la lumière incidente et un témoin sans ombrière (photo : S. Campeau).

terrain pourrait à la fois s'expliquer par l'amélioration du microclimat à l'interface tourbe-air et par la diminution de la lumière incidente. Cette hypothèse reste cependant à confirmer.

Besoins en eau

Une des différences majeures entre les substrats naturels et résiduels concerne les conditions beaucoup plus sèches existant au sein des zones résiduelles (nappe phréatique basse, dessiccation importante due à l'exposition au soleil et au vent, etc.) par rapport aux zones naturelles. Il importe donc de savoir jusqu'à quel point l'eau influence le potentiel de régénération des sphaignes. Au cours des expériences portant sur l'apport en eau, plusieurs espèces de sphaignes ont été utilisées de façon à déterminer lesquelles se prêtent le mieux à la réintroduction, selon les diverses conditions pouvant être rencontrées sur les surfaces en restauration.

Des expériences réalisées en serre (Rocheffort, Gauthier & LeQuéré, 1995; Campeau & Rocheffort, 1996) ont clairement montré que le niveau d'eau dans la tourbe

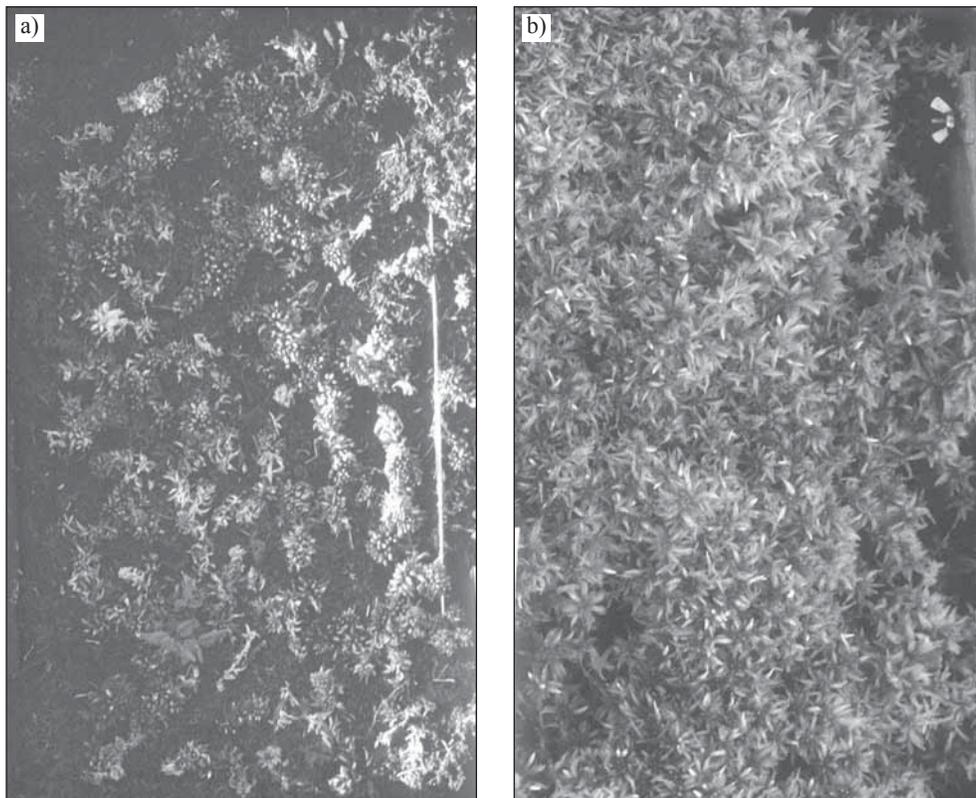


FIGURE 23.23. Régénération de *Sphagnum magellanicum* sous deux régimes de maintien du niveau de la nappe phréatique. a) À 25 cm sous la surface de tourbe, notez les zones de tourbe à nu. b) À 5 cm sous la surface de tourbe, notez le recouvrement complet de la tourbe par les sphaignes. Les fragments de différentes tailles de *Sphagnum magellanicum* (testés dans les 3 sous-divisions du bac) peuvent reformer un tapis continu en six mois, lorsque la nappe phréatique est maintenue à 5 cm sous la surface et que certaines conditions sont contrôlées, comme par exemple le maintien d'une température entre 15 et 25 °C et d'une humidité de l'air élevée. Le pourcentage de recouvrement est alors 5 à 10 fois supérieur qu'à un niveau d'eau se situant à 25 cm sous la surface (photo : S. Campeau).



FIGURE 23.24. Une expérience sur le terrain avait pour but de procurer un approvisionnement en eau adéquat afin de favoriser la régénération des fragments de sphaignes. Un ancien canal de drainage entre deux champs aspirés (au centre) a été maintenu plein d'eau tout l'été afin de stabiliser la nappe phréatique près de la surface dans les parcelles expérimentales adjacentes (à gauche). C'est le transport latéral de l'eau dans la tourbe, entre le canal de recharge et les parcelles, qui permet de maintenir le substrat humide (photo : S. Campeau).

influence le taux de régénération et l'établissement des sphaignes (figure 23.23; voir aussi la figure 4 de Campeau & Rochefort, 1996). Par contre, lors d'expériences similaires réalisées cette fois-ci au champ où la nappe phréatique était maintenue élevée par le remplissage régulier de canaux de recharge (figure 23.24), les résultats

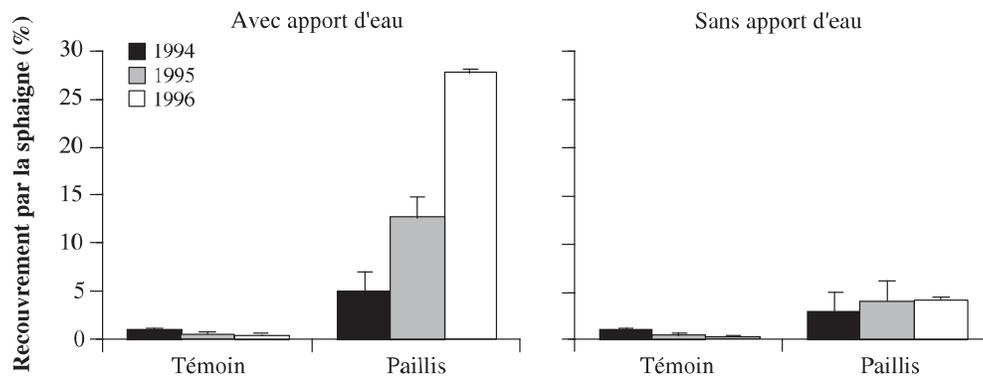


FIGURE 23.25. Effet d'un apport en eau par transport latéral à partir d'un bassin de recharge sur le développement de la sphaigne pendant trois saisons de croissance. Témoin : sans aucun couvert protecteur; Paillis : parcelle recouverte de paille à une densité de 3000 kg ha⁻¹. La mesure de dispersion présentée est l'erreur-type ($n = 3$).

ont été fort différents. Les apports en eau n'ont pas apporté de différence significative sur la recolonisation du substrat pour les parcelles témoins sans aucun couvert protecteur (Larose, Price & Rochefort, 1997; figure 23.25). Il est important de souligner que l'augmentation de l'humidité du substrat n'a pas eu, à elle seule, d'effet sur le développement de la sphaigne. C'est l'utilisation d'un paillis protecteur qui a permis d'améliorer le succès de recolonisation, et ce, même à un niveau de nappe phréatique relativement bas (figure 23.25). Par contre, lors d'étés très secs, comme celui de 1995, l'apport d'eau par transport latéral peut avoir un impact important sur les parcelles possédant un couvert protecteur (figure 23.25).

Ces résultats confirment l'importance de bien remouiller les tourbières résiduelles lors des travaux de restauration pour augmenter les chances d'établissement des sphaignes, tel que suggéré dans d'autres études (Money, 1995; Wheeler & Shaw, 1995). Toutefois, les conditions hydroclimatiques à l'interface air-tourbe sont importantes dans le développement d'un couvert muscinal de sphaignes. Les meilleurs résultats de développement des sphaignes obtenus en combinant un apport en eau et l'application d'un paillis (figure 23.25) illustrent l'interrelation des facteurs responsables de l'établissement des sphaignes, ce qui influence directement le développement des techniques de restauration.

Autres mousses

Des essais de réimplantation de bryophytes autres que des sphaignes sur de la tourbe nue (Li & Vitt, 1995; Ferland; 1996; Quinty & Rochefort, 1997b; Rochefort, Quinty & Campeau, 1997) ont cherché à vérifier si ces espèces peuvent faciliter l'établissement des sphaignes en jouant un rôle de plantes compagnes (Withgott, 2000). Tout comme pour la sphaigne, le succès d'établissement des bryophytes au champ dépend des conditions d'humidité qui prévalent à l'interface air-tourbe. Dans des conditions idéales d'humidité, l'établissement des bryophytes peut être très rapide. Sans aucune protection physique, l'établissement de *Polytrichum strictum* est meilleur que celui des sphaignes mais demeure tout de même faible après deux saisons de croissance ($\leq 2,5$ à 10 % de recouvrement selon les différents essais par rapport à plus de 1 % pour les sphaignes; données non publiées; Rochefort, Quinty & Campeau, 1997). Le succès d'établissement de *Polytrichum strictum* est néanmoins nettement amélioré avec la protection d'un paillis de paille (50 % de recouvrement après deux saisons de croissance). Parmi les espèces qui ont été utilisées au cours des essais, *Dicranum* spp. ont été celles qui ont eu le plus de difficulté à s'implanter (Ferland; 1996; Quinty & Rochefort, 1997b; Rochefort, Quinty & Campeau, 1997). *Aulaacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr. obtiendrait quant à lui des résultats de recouvrement supérieurs à *Polytrichum strictum* en serre (Li & Vitt, 1995). Toutefois, *Aulaacomnium palustre* ne réussit pas à se maintenir dans le tapis muscinal en maturation, alors que *Polytrichum strictum*, plus lent à se reproduire végétativement, produit des individus possédant une plus grande longévité, ce qui augmente ses habiletés compétitives.

La restauration pourrait donc tirer profit de la propriété qu'ont certaines espèces de mousses à coloniser la tourbe nue. *Aulaacomnium palustre* et *Polytrichum strictum*, qui s'établissent bien en présence d'un couvert protecteur, constituent des espèces à privilégier au champ. En effet, la croissance clonale de *Polytrichum strictum* ainsi que la présence d'un manchon de rhizoïdes qui lie les pousses ensemble sont des caractères particuliers qui permet au *Polytrichum* de coloniser des milieux instables. Les clones de *Polytrichum strictum* résistent bien au vent et captent les particules stabilisant ainsi le substrat de tourbe. *Polytrichum strictum* semble aussi pouvoir

supporter un enfouissement par la tourbe. Ceci peut être un atout lorsque des travaux de restauration se font à proximité de sites encore en exploitation, car les tracteurs-aspirateurs peuvent soulever des quantités non négligeables de tourbe lors des journées venteuses. *Polytrichum strictum* pourrait donc être utilisé comme plante pionnière pour stabiliser le sol organique ou comme plante compagne facilitant l'établissement de la sphaigne en une deuxième phase de recolonisation, en fournissant de meilleures conditions d'humidité près du sol. Tel que mentionné précédemment dans l'étude de cas des tourbières bien régénérées, *Polytrichum* a été identifié comme une espèce pionnière dominante qui perd rapidement sa dominance au profit des sphaignes dans ce type d'écosystème (Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995; Robert, Rochefort & Garneau, 1999). Ainsi, *Polytrichum strictum* ne devrait pas dominer à long terme. *Dicranella cerviculata* est souvent inventorié, dans les tourbières résiduelles, dans des zones où le substrat est stabilisé. On ne sait toutefois pas encore si c'est parce que cette petite mousse ne croit que sur un substrat organique stable ou si elle peut y jouer un rôle stabilisateur.

Plantes vasculaires

Éricacées

Un seul essai de réintroduction d'éricacées dans une tourbière résiduelle a été effectué au Nouveau-Brunswick, en 1993 (Ferland & Rochefort, 1997). Quatre espèces d'éricacées (*Ledum groenlandicum*, *Kalmia angustifolia*, *Chamaedaphne calyculata* et *Andromeda glaucophylla* Link.) ont été prélevées au printemps dans un fragment naturel de la tourbière à restaurer; les individus ont été séparés tout en conservant un bout de rhizome et replantés. Durant la première saison de croissance, les éricacées ont bien survécu et ont pu jouer un certain rôle de protection pour les sphaignes. Par contre, une importante mortalité des plants a été observée après la première saison hivernale, atteignant jusqu'à 75 % dans les parcelles avec fertilisation et 95 % dans les parcelles sans fertilisation. La transplantation de groupes de plants serait peut-être plus avantageuse pour diminuer les dommages aux rhizomes; cette méthode a d'ailleurs connu du succès lors de l'établissement de bruyères sur des dépôts miniers (Merrilees, Tiley & Gwynne, 1995). En somme, les moyens de propagation et de transplantation des éricacées indigènes de l'Amérique du Nord (*Ledum*, *Chamaedaphne*, *Andromeda*, *Kalmia*) sont encore peu connus (Hartmann, Kester & Davies, 1990). Le développement des connaissances dans ce domaine profitera grandement à la restauration des tourbières.

Cypéracées

Transplants

La transplantation d'un ramet d'*Eriophorum angustifolium* associé à un bout de rhizome est une recette de réintroduction végétale à haut taux de succès dans les tourbières résiduelles (Richards, Wheeler & Willis, 1995; Ferland & Rochefort, 1997). De légers amendements en phosphore ou en chaux améliorent sa survie. *Eriophorum angustifolium* est un bon choix pour la revégétation des tourbières résiduelles pour plusieurs raisons : *i*) il s'implante facilement à partir de transplants; *ii*) il a une grande amplitude écologique; *iii*) il se propage rapidement et *iv*) il possède un système de rhizomes entrelacés qui aide à stabiliser le substrat tourbeux. *Eriophorum vaginatum* var. *spissum* montre également un bon potentiel de revégétation. Des individus séparés d'un touradon principal ont été repiqués dans la tourbière de l'Ascension, au Lac-Saint-Jean. Après une saison de croissance, le

taux de survie a atteint 50 % et l'espèce s'est développée pour former un bon couvert durant la deuxième saison de croissance. Le taux de survie des transplants recouverts d'un paillis de paille a, par contre, été pratiquement nul.

Graines

L'implantation d'*Eriophorum* spp. à partir de graines doit être envisagée pour la restauration à grande échelle. Une expérience menée en serre montre, toutefois, que la germination des graines d'*Eriophorum angustifolium* et d'*E. vaginatum* var. *spissum* est assez faible lorsqu'elles sont récoltées à maturité (début juillet) et ensemencées quelques semaines plus tard (fin août), après un séjour au réfrigérateur. Ainsi, sans stratification, les taux de germination des graines ont été de 10 % chez *Eriophorum vaginatum* var. *spissum* et de 15 % chez *E. angustifolium*. Une fertilisation de 25 à 50 g m⁻² de poudre d'os améliore le taux de germination d'*Eriophorum angustifolium* (25 %). Paradoxalement, une excellente germination de graines d'*Eriophorum vaginatum* var. *spissum* sur le terrain, provenant vraisemblablement du pourtour de la tourbière résiduelle, a été observée dans des parcelles fertilisées à la poudre d'os.

REMOUILLAGE DU SUBSTRAT RÉSIDUEL DE TOURBE

Une des premières étapes d'aménagement, lors de la restauration d'une tourbière, est la préparation du terrain pour favoriser le maximum de rétention d'eau. Même si cette étape à elle seule n'est pas garante d'une reprise d'un couvert muscinal, elle est essentielle pour le maintien à long terme d'un couvert végétal à dominance de sphaignes une fois ce dernier établi, spécialement lors des années plus sèches. Selon le site à restaurer et sa situation dans le paysage environnant, trois façons de remouiller une tourbière sont possibles, soit *i*) le blocage des canaux de drainage de l'ancienne exploitation, *ii*) le profilage des planches et *iii*) la construction de digues ou remblais. Le profilage des planches et la construction des remblais se font avant la réintroduction du matériel végétal. Par contre, le blocage de l'ancien système de drainage se fait le plus souvent après l'épandage des plantes pour faciliter la circulation de la machinerie.

Blocage des canaux de drainage

Pour une surface d'exploitation relativement plane et toujours entourée de zones naturelles, un simple blocage des canaux de drainage peut suffire à remonter la nappe phréatique (figure 23.26) de 20 à 40 cm par rapport à une tourbière drainée pour exploitation. Cette option est simple et efficace (Quinty & Rochefort, 1997a), car il suffit de remplir le canal sur une distance de 2 à 3 m avec de la tourbe décomposée (humique ou mésique), puis de la compacter. La tourbe très décomposée constitue le matériel idéal pour bloquer les canaux, car sa faible conductivité hydraulique empêche l'infiltration de l'eau à travers le barrage. Il est recommandé de procéder au blocage des canaux à des intervalles de 50 à 75 m afin de répartir l'eau emmagasinée sur toute la planche et en limiter le brassage par le vent. Ces sections de canaux qui se remplissent d'eau créent des mares pouvant constituer un habitat important pour certaines espèces végétales et animales, ce qui permet d'augmenter la biodiversité de la tourbière restaurée. Un autre avantage de la création de ces plans artificiels d'eau libre est qu'ils servent de réservoir, contribuant à l'amélioration des conditions hydrologiques du substrat résiduel qui ont été dégradées par la perte de l'acrotelme (LaRose, Price & Rochefort, 1997). C'est pourquoi il est recommandé de ne pas remplir de tourbe les canaux de drainage



FIGURE 23.26. Remouillage de la tourbière Bois-des-Bel à l'aide du blocage des canaux de drainage (photo : L. Rochefort).

sur toute leur longueur (voir le chapitre 5).

Profilage du terrain

Pour les cas où le profil bombé (convexe) des planches subsiste, il est préférable de le rabattre avec une vis sans fin (ou niveleuse) de manière à créer une dépression centrale (Quinty & Rochefort, 1997a) ou, à tout le moins, d'aplanir les planches. En effet, une expérience menée par Bugnon, Rochefort et Price (1997) montre qu'il est ainsi possible d'améliorer les conditions locales d'humidité de la tourbe résiduelle. Ce changement de profil en V (c'est-à-dire l'inversion du profil convexe) des champs de tourbe a permis aux sphaignes réintroduites dans la zone centrale de profiter d'un plus grand taux d'humidité du substrat près de la surface. Le succès d'établissement des diaspores de sphaignes sur des planches présentant une dépression a été supérieur à celui des sphaignes réintroduites sur des planches à surface plane. Puisque le blocage des canaux de drainage seul est souvent insuffisant pour restaurer des conditions hydrologiques favorables aux sphaignes, le profilage du terrain en série de dépressions entre les canaux représente une option pouvant résoudre le problème de restauration d'une nappe phréatique haute et stable. Il faut cependant éviter de créer des dépressions trop profondes lorsque le substrat tourbeux est instable (meuble), ce qui entraînerait des problèmes d'érosion.

Construction de digues

Certaines tourbières possèdent une forme très bombée ou sont entourées de zones agricoles. Dans ce cas, les zones à restaurer forment souvent des îlots surélevés. Il peut donc s'avérer avantageux de construire des digues en paliers, perpendiculaires à la pente. La création, par ces digues, de bassins de rétention

d'eau peut aussi s'avérer efficace dans les régions affectées par de grands vents où il est difficile de limiter l'érosion de la tourbe. La technique de construction de digues est largement utilisée en Allemagne, en Angleterre et aux Pays-Bas. Wheeler et Shaw (1995) décrivent en détail la construction et l'aménagement de ces digues. Dans l'Est du Canada, cette technique commence à peine à être testée. Les premiers travaux d'aménagement de digues ont débuté en 1997 à Rivière-Ouelle, à Rivière-du-Loup et au Nouveau-Brunswick; les premières réintroductions de plantes à l'intérieur de ces ouvrages n'ont été effectuées qu'en 1998. Ce n'est après 3 ou 4 ans que l'efficacité de cette technique sur le succès de rétablissement des plantes pourra être évaluée.

Conditions hydrologiques du substrat

En général, toutes les options de remouillage mentionnées plus haut réussissent à rehausser la nappe phréatique près de la surface au printemps et à l'automne, c'est-à-dire lors des périodes de plus fortes précipitations. En été, cependant, la nappe phréatique tend à s'abaisser en deçà du niveau moyen le plus bas observé dans les tourbières naturelles (environ 40 cm) et montre de grandes fluctuations (Campeau & Rochefort, 1996; Price, 1996; Rochefort & Campeau, 1997). Ce sont pendant ces périodes de relative sécheresse que les plantes réintroduites sont les plus vulnérables à la dessiccation, avant la formation d'un couvert végétal continu. Cette difficulté à restaurer les conditions hydrologiques originales provient des profonds changements des propriétés physiques de la tourbe, engendrés par le drainage de la tourbière lors de son exploitation (voir le chapitre 5). Ainsi, durant les journées chaudes de l'été, les surfaces qui ne sont pas remouillées en permanence peuvent non seulement s'assécher, mais aussi se couvrir d'une croûte empêchant les diaspores de sphaignes de bénéficier de l'humidité de la tourbe sous-jacente (Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995).

Un microclimat humide est nécessaire à l'implantation des sphaignes. Un paillis ou la présence de plantes compagnes comme le polytric ou les linaigrettes peuvent créer un microclimat humide aidant à protéger la végétation réintroduite contre la dessiccation. Ces moyens palliatifs devraient favoriser l'établissement de la végétation et sa survie à court terme, en attendant que la formation d'un nouveau tapis végétal contribue à la restauration de l'acrotelme. Les prochaines sections décrivent les moyens palliatifs qui ont été expérimentés au Québec.

AMÉLIORATION DES CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU COUVERT VÉGÉTAL

Malgré leur potentiel de régénération élevé (voir le chapitre 3), les sphaignes ont besoin d'un environnement relativement humide pour s'implanter et former de nouveaux individus. Les sphaignes ne forment pas de racines; leur croissance et leur survie sont étroitement liées à la présence d'une source d'eau près de la surface du sol ou d'un environnement humide à l'interface air-tourbe. L'assèchement de la tourbe résultant du drainage constitue donc un problème de taille. L'acrotelme est absent et le niveau de la nappe phréatique varie considérablement, privant ainsi les plantes de leur source d'eau habituelle. Les options de remouillage ne suffisent pas toujours à restaurer les conditions hydrologiques originales des sites à réhabiliter. Il faut donc développer des méthodes pour améliorer les conditions d'implantation des diaspores dans les sites à restaurer.

Cette section présente les résultats d'expériences portant sur l'influence de l'apport artificiel d'eau, de l'application de couverts protecteurs, de la modification de la topographie et des méthodes d'épandage des diaspores sur l'établissement d'un couvert végétal, sur les surfaces à restaurer. D'autres approches, telles que

les brise-vent et la fertilisation, ont aussi été vérifiées. La régénération des sites d'emprunt, où ont été récoltées les plantes réimplantées sur les sites expérimentaux, et la restauration des tourbières résiduelles, exploitées par la méthode de la coupe par blocs, ont également fait l'objet d'expériences. Une autre section discute de la mise à l'échelle des techniques de restauration, c'est-à-dire de la mécanisation des opérations.

Gestion de l'eau

Les premières expériences entreprises en serre et sur le terrain ont montré l'importance d'un niveau d'eau élevé pour assurer le rétablissement rapide d'un tapis de sphaignes. Sur le terrain, diverses méthodes peuvent être utilisées pour augmenter l'apport en eau des sphaignes réintroduites. Certaines de ces méthodes font appel au blocage des canaux de drainage, à la création de bassins de réserve et de digues (voir la section précédente) et au profilage des planches résiduelles. Jusqu'à maintenant, ces méthodes semblent être insuffisantes pour maintenir un approvisionnement en eau adéquat durant la période estivale, notamment pour réduire les fluctuations de la nappe phréatique. D'autres techniques de gestion de l'eau, par pompage, ont donc aussi été testées. Elles visent à assurer un apport d'eau constant aux diaspores de sphaignes, particulièrement durant les journées chaudes et sèches de l'été.

Irrigation

Deux expériences effectuées au Lac-Saint-Jean (Rocheffort & Bastien, 1998) et à Rivière-Ouelle (figure 23.27) ont évalué l'efficacité de l'irrigation à l'aide de gicleurs. Une expérience en serre a également permis de comparer le succès de

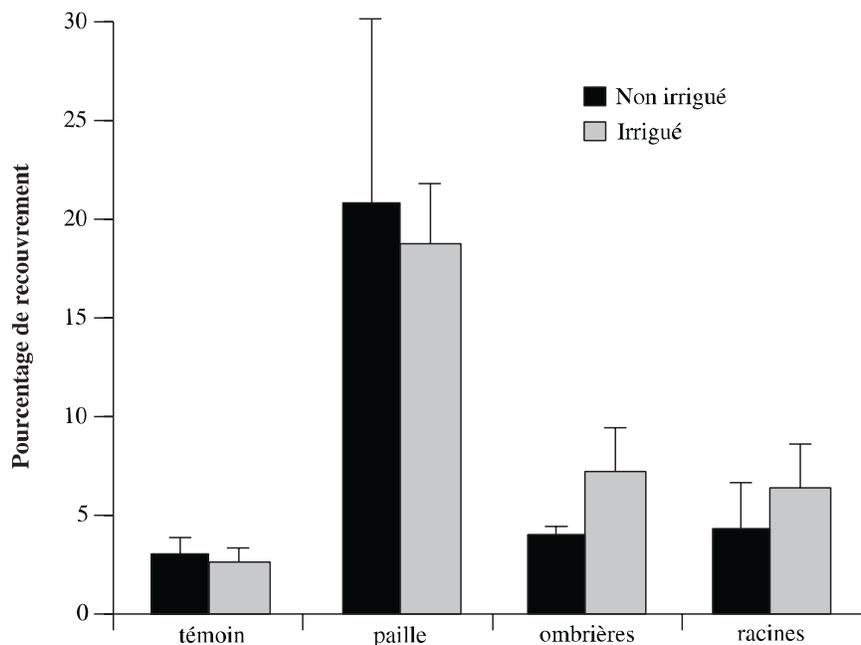


FIGURE 23.27. Effet de l'irrigation par gicleurs sur le développement de la sphaigne (surtout *Sphagnum fuscum*) après trois saisons de croissance (1994 à 1996) et en présence de différents couverts protecteurs à la tourbière de Rivière-Ouelle. La mesure de dispersion est l'erreur-type ($n = 3$).

recolonisation de diaspores de sphaignes soumises à des régimes d'arrosage par irrigation de fréquence variable (de 1 à 5 fois par semaine) et à différents niveaux d'eau.

L'utilisation d'un système de gicleurs a donné des résultats mitigés, et ce, autant au Lac-Saint-Jean qu'à Rivière-Ouelle. Au Lac-Saint-Jean, l'irrigation n'a que légèrement favorisé l'établissement des sphaignes. (Rocheffort & Bastien, 1998). Il est possible que ces résultats moins intéressants que prévus puissent être liés, en partie, aux types de gicleurs utilisés avec le système d'irrigation. Par leur taille relativement grande, les gouttes produites par les gicleurs ont pu entraîner le déplacement ou l'entourbement des diaspores et limiter ainsi leur établissement. Puisque l'approvisionnement en eau se faisait dans un bassin creusé à même la tourbière, où l'eau était fortement chargée de particules organiques, il s'est produit un noircissement des diaspores. L'utilisation de gicleurs de type brumisateur causerait moins de perturbations aux diaspores mais nécessiterait un système de filtration élaboré.

À Rivière-Ouelle, les données recueillies ne montrent aucune différence significative entre les parcelles irriguées et non irriguées, après avoir appliqué ce traitement durant trois saisons de croissance (figure 23.27). Dans cette expérience, l'irrigation a été faite à la fois sur des parcelles sans protection physique et sur des parcelles recouvertes d'ombrières, de racines ou de paille.

Inondation superficielle

Afin de tester l'effet de l'inondation superficielle, des dépressions ont été creusées et des diaspores d'espèces de sphaignes d'habitats humides y ont été



FIGURE 23.28. Expérience sur l'inondation superficielle ayant pour but de procurer un approvisionnement en eau adéquat aux fragments de sphaignes par une série de tuyaux perforés. Quatre espèces de sphaignes ont été introduites dans des bassins peu profonds de 10 m × 12 m × 20 cm et la moitié des parcelles principales ont été recouvertes d'une ombrière coupant 60 % de la lumière incidente (photo : L. Rocheffort).

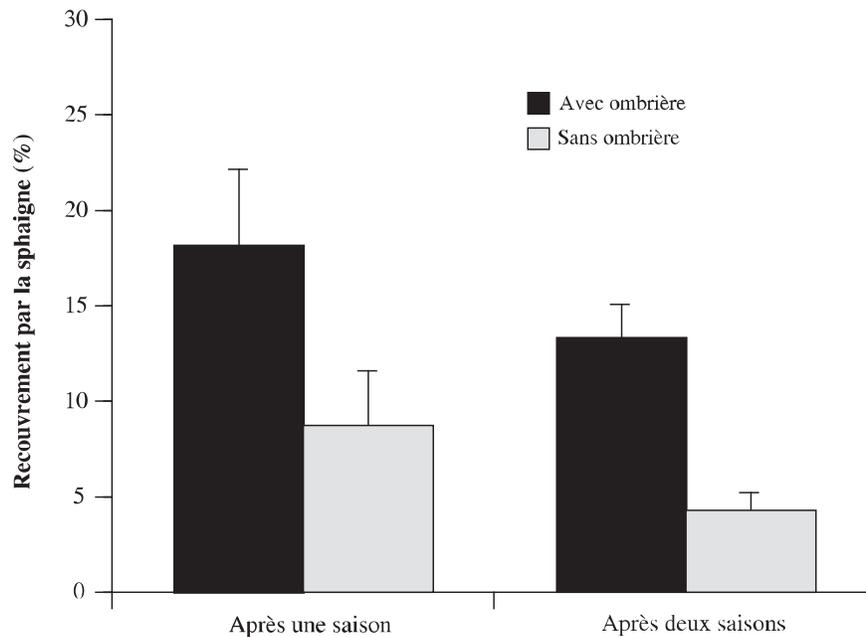


FIGURE 23.29. Développement d'un mélange d'espèces de sphaignes d'habitats humides (*Sphagnum angustifolium*, *S. riparium*, *S. capillifolium* et *S. papillosum*) dans des bassins peu profonds recevant un apport en eau par inondation superficielle périodique, avec et sans la protection d'une ombrière coupant 60 % de la lumière incidente. La mesure de dispersion est l'erreur type ($n = 3$).

épandues. Les parcelles ont été inondées à intervalles plus ou moins réguliers selon la pluviométrie, de façon à maintenir le substrat constamment humide. L'eau provenait, par gravité, d'un canal voisin et s'écoulait à travers un réseau de tuyaux perforés. La densité de réintroduction utilisée correspondait à un recouvrement initial en capitules d'environ 10 % de la surface. Les réintroductions ont été réalisées avec ou sans le couvert protecteur d'une ombrière (figure 23.28).

Malgré un apport d'eau constant sur la surface de tourbe, seules les sphaignes réintroduites sous ombrière ont pu s'établir avec un certain succès en 1994 (figure 23.29). En l'absence d'ombrière, les taux de recouvrement obtenus après une saison sont restés de l'ordre du recouvrement initial, soit sous les 10 %, sauf chez *Sphagnum angustifolium*. La plupart des espèces n'ont pas réussi à maintenir, au cours de l'été très sec de 1995, le recouvrement établi en 1994, et ce, malgré un apport en eau régulier (de 1 à 2 fois par semaine) et la présence d'une ombrière. L'inondation superficielle des parcelles s'est avérée difficile à contrôler, malgré les efforts de nivellement de la surface : la distribution de l'eau se faisait de façon très inégale, créant des zones sporadiquement submergées (S. Campeau, observ. pers.). Les diaspores de sphaignes ont aussi eu tendance à être déplacées par l'écoulement d'eau, créant une surface de tourbe plutôt instable. L'inondation superficielle s'avère donc une méthode d'apport d'eau peu efficace, autant pour l'établissement des sphaignes que pour sa mise en application sur le terrain.

Apport d'eau latéral (par conductivité hydraulique)

La dernière technique de gestion de l'eau expérimentée consistait à remplir, jusqu'à 3 fois par semaine (au besoin), un canal de recharge bordant des parcelles où des sphaignes étaient réintroduites (figures 23.24 et 23.25). Les résultats de cette expérience, présentés à la section sur les besoins en eau, confirment l'importance

de remouiller le substrat tourbeux et de favoriser un microclimat humide autour des diaspores.

En définitive, l'irrigation à l'aide de gicleurs et l'inondation superficielle donnent des résultats peu convaincants. Ce sont aussi les deux solutions les plus coûteuses, compte tenu de l'équipement qu'elles exigent. L'irrigation par transport d'eau latéral est une technique attrayante par sa simplicité d'exécution et par les résultats obtenus. Il reste cependant à déterminer l'efficacité et la rentabilité d'une telle méthode, à moyenne et à grande échelles. Dans tous les cas, cependant, la présence d'un couvert protecteur reste essentielle pour assurer un établissement rapide de la sphaigne.

L'utilisation de couverts protecteurs

Selon les récentes études en hydrologie de la restauration des tourbières, les conditions hydroclimatiques prévalant à l'interface air-sol ont une influence plus importante sur les sphaignes que des conditions d'ordre plus général comme, par exemple, la hauteur de la nappe phréatique (voir le chapitre 5). Les méthodes visant le contrôle de ces conditions hydroclimatiques occupent donc une place importante dans les techniques de restauration des tourbières. L'emploi de paillis naturels ou artificiels (*mulching*) est une pratique largement utilisée en agriculture pour diminuer l'amplitude des variations thermiques au sol et réduire l'évaporation (Rosenberg, Blad & Verna, 1983; Enz, Brun & Larsen, 1988). Différents types de matériaux ont été mis à l'essai : de la pellicule de plastique (polyéthylène), du matériel de clôtures à neige en plastique, des ombrières, de la paille et des résidus



FIGURE 23.30. Expérience testant l'effet de divers couverts protecteurs sur l'établissement des sphaignes. On note à l'avant plan le traitement avec ombrière, suivi d'une parcelle témoin, puis du traitement avec paillis de paille. On ne distingue pas le dernier traitement d'un paillis avec résidus de racines. Ce bloc de traitements n'était pas irrigué, contrairement aux blocs situés à l'arrière-plan qui étaient irrigués à l'aide de gicleurs (photo : F. Quinty).

de racines rejetées lors du tamisage de la tourbe (figure 23.30). Même si, dans la plupart des cas, les diaspores se sont mieux établies dans les parcelles sous couvert que dans les parcelles sans couvert protecteur, les résultats varient grandement selon le matériau utilisé.

L'instabilité du substrat causée par le soulèvement gélival est devenue un problème dont on avait sous-estimé l'importance pour la restauration des tourbières. En effet, le phénomène de formation de pipkrakes, tel que décrit au chapitre 9, est une perturbation qui s'observe fréquemment dans les tourbières résiduelles avec tourbe mise à nu. Comme le soulèvement gélival est un phénomène plus actif lorsque la tourbe est gorgée d'eau, le fait de remouiller les substrats en restauration contribue à créer des conditions plus propices à la formation de cristaux de glace. L'utilisation de couverts protecteurs, qu'ils soient composés d'un paillis ou de plantes compagnes, est une technique présentement étudiée pour réduire les perturbations créées par les pipkrakes.

La pellicule plastique

Dans l'étude des couverts protecteurs, une des premières expériences a cherché à comparer l'effet d'un couvert de polyéthylène perforé avec celui d'ombrières. Des parcelles expérimentales ont été recouvertes d'une pellicule plastique claire perforée ou d'ombrières coupant 40 % ou 60 % de la lumière (Rochefort & Bastien, 1998). Les deux types de matériaux étaient fixés sur des cadres de bois et maintenus à quelques centimètres (10 à 20 cm) au-dessus du sol. La pellicule de plastique a été percée de trous régulièrement espacés pour permettre à la pluie de s'infiltrer jusqu'au sol. Les deux types d'ombrières ont permis le développement d'environ deux fois plus de sphaignes que la pellicule de plastique. L'augmentation de la température à l'interface air-sol en présence de la pellicule de plastique a probablement nui au développement des sphaignes. Ces résultats invalident la recommandation, faite à partir d'essais effectués en serre par Grosvernier, Matthey & Buttler (1995), d'utiliser au champ des couverts protecteurs de plastique plutôt que des ombrières.

Filets de plastique des clôtures à neige

Un matériel de plastique couramment utilisé pour fabriquer les clôtures à neige au Québec (clôture de plastique verte ou orange que certains appellent clôture à construction), et dont la porosité atteint 66 %, a été comparé à un paillis de paille (Quinty & Rochefort, 1997b; Rochefort, Quinty & Campeau, 1997). Le matériel de plastique a simplement été déroulé à plat sur le sol et a été maintenu en place par des bouts de bois présents sur le site. Il a été enlevé durant la période hivernale pour éviter qu'il n'écrase les plantes sous le poids de la neige. Pour le traitement de comparaison avec paillis de paille, celle-ci a été épandue à la main à une densité de 1500 kg ha⁻¹. Après une première saison de croissance, le nombre de sphaignes recensées était comparable chez les deux types de couverts, mais plus élevé que celui du témoin (Quinty & Rochefort, 1997b). Après une deuxième et une troisième années de croissance, la paille s'est nettement démarquée en permettant un établissement des sphaignes nettement meilleur (Rochefort, Quinty & Campeau, 1997). Il est possible que le matériel de plastique de clôture ait écrasé une partie des diaspores empêchant ainsi leur développement. L'érosion près des trous du matériel de plastique a probablement aussi nui aux plantes.

Les ombrières

Les ombrières sont spécialement conçues pour réduire le rayonnement solaire et la température en serre et au champ. Elles ont été utilisées dans plusieurs expériences de restauration où elles ont prouvé leur efficacité. Par exemple, dans l'expérience avec apport en eau par inondation superficielle (figure 23.28), le pourcentage de recouvrement du sol par les sphaignes, en présence d'une ombrière, était près du double de celui du témoin dépourvu de couvert protecteur (figure 23.29). Les ombrières ont été comparées à tous les autres types de matériaux, exception faite du matériel de plastique de clôture à neige. L'effet positif des ombrières sur l'établissement d'un couvert végétal est supérieur à celui de la pellicule de polyéthylène et il se compare à celui du couvert de racines (voir la section suivante). Il demeure toutefois inférieur à celui de la paille (figure 23.27). Le recours obligatoire à un support de fixation en fait de plus un matériau peu pratique pour une utilisation à grande échelle, car les ombrières ne peuvent pas être étalées directement sur le substrat à restaurer.

Les racines

Les racines qui sont aspirées lors de la récolte de la tourbe constituent un résidu de récolte. Elles sont parfois obtenues en grande quantité; leur utilisation comme couvert protecteur aurait l'avantage de valoriser ce type de résidu organique. L'efficacité des racines paraît comparable à celle des ombrières; elle est cependant inférieure à celle de la paille (figure 23.27). L'utilisation des racines à grande échelle poserait toutefois certains problèmes de manipulation. Entreposées en amoncellements, elles forment un lacis inextricable et se séparent difficilement. Leur épandage manuel sur les parcelles s'est avéré problématique et a demandé beaucoup de temps. Avant d'envisager l'utilisation des racines sur une plus grande échelle, il faudra trouver des solutions à ces problèmes.

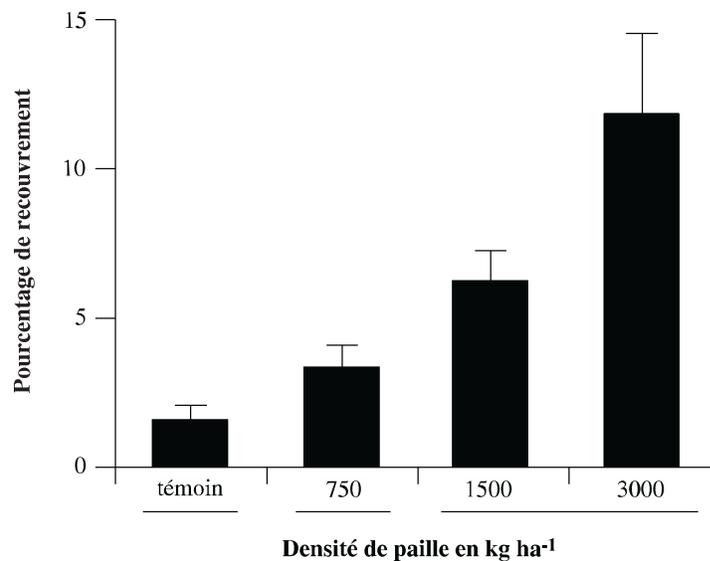


FIGURE 23.31. Effet de différentes densités de paille sur l'établissement des sphaignes sur une surface labourée après la deuxième saison de croissance. Les traitements regroupés sous une même barre ne diffèrent pas significativement ($n = 8$). La dimension des unités expérimentales était de 10 m par 10 m (moyenne \pm erreur-type).

La paille

À l'instar des ombrières, la paille a été utilisée dans plusieurs expériences où elle s'est avérée un matériau efficace pour la protection des diaspores (Quinty & Rochefort, 1997b; Rochefort, Quinty & Campeau, 1997; Price, Rochefort & Quinty, 1998). Dans toutes les expériences, la paille a procuré un effet positif supérieur à celui des autres types de couverts. Ces résultats ont été corroborés par ceux d'une expérience portant exclusivement sur la densité de la paille; ils ont montré que le pourcentage de recouvrement en sphaignes obtenu après deux ans augmente avec la quantité de paille pour les densités testées (figure 23.31). Cette valeur double lorsqu'on passe de 750 à 1500 kg ha⁻¹, puis augmente un peu plus faiblement quand la quantité de paille est de nouveau doublée.

La paille agit directement sur le microclimat de l'interface air-sol. Selon l'expérience menée au Lac-Saint-Jean en 1995, en présence de paille, l'environnement de l'interface air-sol est plus humide et légèrement plus frais (figure 23.32). Les variations de l'amplitude thermique et les pertes d'eau par évaporation sont également réduites (Price, Rochefort & Quinty, 1998). Cet ensemble de conditions se répercute directement sur le contenu en eau du sol qui est plus élevé sous la paille.

En résumé, l'utilisation d'un couvert protecteur constitué d'un matériau approprié (paille, ombrière, racines) diminue fortement les pertes d'eau et procure un environnement plus tempéré et plus humide à la surface du sol qu'en son absence. Ces conditions ont un effet positif indéniable sur la survie et le développement des diaspores de sphaignes et d'autres plantes introduites dans les tourbières résiduelles. Les seules exceptions sont la pellicule plastique et le matériau en plastique de clôture à neige. En terme concret, certaines expériences montrent qu'à partir d'une

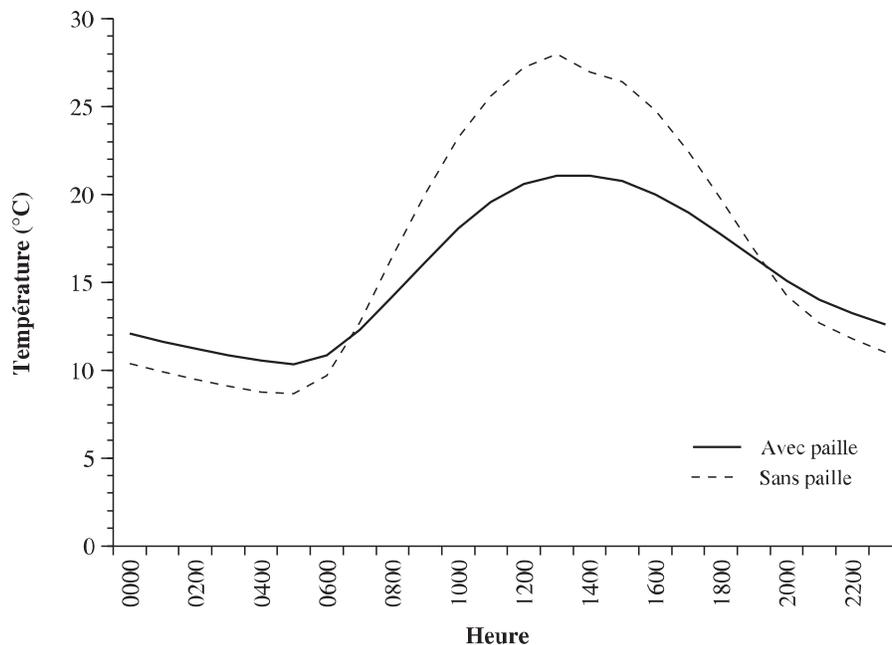


FIGURE 23.32. Effet de l'application d'un paillis de 1500 kg ha⁻¹ sur la température à 0,5 cm sous la surface du sol. Les températures sont exprimées en moyennes horaires pour toute la période d'enregistrement des données (6 juin au 21 septembre 1995). Entre 8h et 20h, la température a été, en moyenne, 4,2 °C plus élevée sur les parcelles sans paille que sur les parcelles avec paillis; cet écart a atteint 7 °C au moment le plus chaud de la journée (Price, Rochefort & Quinty, 1998).

densité initiale de diaspores de sphaignes de 10 %, récoltées et épanchées manuellement, on peut atteindre un recouvrement de la tourbe nue de 40 % après une première saison de croissance sous un couvert de paille. Dans le cas de matériel végétal composé de diverses plantes de tourbières déchiquetées et épanchées mécaniquement, le tapis végétal a recouvert 20 % de la tourbe après deux ans sous la paille. Parmi tous les types de couverts protecteurs, la paille donne les meilleurs résultats de rétablissement de la sphaigne. On peut soupçonner que l'effet de la paille ne se limite pas à modifier le microclimat de l'interface air-sol et que, par lessivage, elle libère et transmet certains éléments nutritifs aux plantes introduites. La paille comporte aussi l'avantage d'être peu coûteuse, disponible et facilement applicable à grande échelle.

L'utilisation de brise-vent

Les tourbières résiduelles se présentent généralement sous la forme de grandes surfaces exposées au vent, sur lesquelles l'accumulation de neige est réduite au profit des bordures forestières environnantes. Dans la recherche de moyens facilitant la recolonisation végétale, des brise-vent ont été utilisés en vue d'améliorer les conditions d'humidité du substrat résiduel. Les effets prévus de ces brise-vent étaient leur contribution à l'amoncellement de neige *in situ* aidant ainsi au remouillage du site et une diminution de la perte par évaporation au cours de l'été (Rosenberg, 1976). L'effet de brise-vent sur l'établissement de matériel végétal de surface réintroduit a donc été vérifié en simulant une haie brise-vent à l'aide de clôtures à neige (Quinty & Rochefort, 1997b; Rochefort, Quinty & Campeau, 1997). La présence des brise-vent n'a pas eu d'effet favorable sur l'établissement du matériel végétal réintroduit (sphaignes, autres mousses ou plantes vasculaires). Les brise-vent ont effectivement causé une plus grande accumulation de neige; mais ce plus grand volume de neige capté sur le site ne s'est pas traduit par un rehaussement de la nappe phréatique locale, l'échelle d'application étant probablement trop petite. Les brise-vent peuvent améliorer les conditions d'humidité du substrat au cours de brèves périodes, mais ces effets n'ont pas de répercussions significatives sur l'ensemble de la saison de croissance.

La création d'une microtopographie de surface

La création d'un relief sur les champs de tourbe plats a été suggérée par Eggelsmann (1988) et Heathwaite, Eggelsmann et Gottlich (1993) comme technique d'amélioration des conditions d'humidité du substrat. Heathwaite, Eggelsmann et Gottlich (1993) préconisent un léger labour simulant la topographie des buttes et des dépressions rencontrées dans les tourbières naturelles. La création d'une microtopographie pourrait avoir comme effet d'augmenter la couche limite et de créer des microsites humides favorables à la régénération des sphaignes. Trois expériences ont été menées pour vérifier cette hypothèse (Ferland & Rochefort, 1997; Quinty & Rochefort, 1997b; Price, Rochefort & Quinty, 1998), où différents types de microtopographie étaient testés : *i*) une surface hersée produisant des microsites de l'ordre de 5 cm, *ii*) un labour créant une alternance de dépressions et de buttes atteignant 15 à 20 cm de hauteur et *iii*) différents traitements avec alternance de buttes (largeur de 50 à 70 cm) et de dépressions (50 cm à 1 m de largeur) et des dénivelés de 15 à 80 cm. Dans les trois cas, les résultats furent similaires : la création d'une microtopographie n'apporte aucun avantage significatif. Il est vrai que les sphaignes se sont mieux implantées dans les dépressions, mais en tenant compte des éléments positifs et négatifs du relief pour une surface donnée, la performance de colonisation des sphaignes était faible. D'ailleurs, Price, Rochefort et Quinty

(1998) ont trouvé, qu'en présence d'un paillis, les conditions d'humidité du sol et de température d'une surface plane sont plus avantageuses aux sphaignes, qu'en présence d'une surface avec microrelief. En fait, la présence d'une microtopographie réduirait le contenu en humidité du site, défavorisant ainsi l'établissement des sphaignes. La création d'un relief sur les surfaces abandonnées peut néanmoins favoriser l'établissement des plantes vasculaires (Salonen & Laaksonen, 1994) qui ont un fonctionnement physiologique différent des mousses.

La présence de plantes compagnes

Tel que mentionné précédemment, la régénération spontanée d'un tapis de sphaignes dans les tourbières résiduelles demeure un phénomène exceptionnel. Il a souvent été noté que durant les premiers stades de la succession, les sphaignes peuvent réapparaître sous le couvert de plantes vasculaires ou de *Polytrichum strictum*; ces plantes peuvent donc être considérées comme des espèces pionnières (Joosten, 1992; Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995; Money, 1995; Robert, Rochefort & Garneau, 1999). Les plantes pionnières aident à stabiliser le substrat, créent un microclimat particulier et peuvent agir comme plantes-abris ou plantes compagnes (Salonen, 1992; Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995; Richards, Wheeler & Willis, 1995; Robert, Rochefort & Garneau, 1999; Withgott, 2000). L'association des sphaignes et des plantes vasculaires semble essentielle au développement des tourbières et permet à l'écosystème d'être plus productif (Malmer, Svensson & Wallen, 1994). La présence d'autres espèces contribue aussi à la restauration d'un écosystème fonctionnel accumulateur de tourbe en augmentant la biodiversité de l'écosystème.

Dans l'expérience de Ferland et Rochefort (1997), trois groupes de plantes-abris ont été testés : un mélange d'éricacées (*Ledum groenlandicum*, *Kalmia angustifolia*, *Chamaedaphne calyculata* et *Andromeda glaucophylla*), une herbacée (*Eriophorum angustifolium*) et deux mousses (*Dicranum undulatum* et *Polytrichum strictum*). Seule la présence des plants d'*Eriophorum angustifolium* a eu un effet positif sur la survie et la colonisation des sphaignes (figure 23.33). Dans deux autres expériences, on a noté que *Polytrichum* peut s'établir rapidement, atteignant 40 % de recouvrement après une saison de croissance, surtout en présence d'un paillis (Quinty & Rochefort, 1998); mais aucun effet sur les sphaignes n'a pu être décelé à ce jour.

Dans un autre projet de recherche, des sites expérimentaux déjà recolonisés par des éricacées (principalement *Ledum groenlandicum* et *Kalmia angustifolia*), des linaigrettes denses (*Eriophorum vaginatum* var. *spissum*) ou des linaigrettes à feuilles étroites



FIGURE 23.33. Un tapis de sphaignes bien établi sous un couvert d'*Eriophorum angustifolium* où les sphaignes et les linaigrettes avaient été implantées l'année précédente (photo : GRET).

(*Eriophorum angustifolium*) ont servi à la réintroduction de la sphaigne. Les plantes compagnes, lorsque combinées à un couvert de paille, ont eu un impact positif sur l'établissement des sphaignes, seulement pour les sites couverts d'éricacées (Boudreau & Rochefort, 1999). En effet, les sphaignes qui se sont implantées sur des parcelles couvertes par la linaigrette dense ou par la Linaigrette à feuilles étroites n'ont pas bénéficié de l'ajout de paille, puisque les linaigrettes produisent un feuillage pouvant agir comme un paillis en créant un microclimat humide (Grosvernier, Matthey & Buttler, 1995). Enfin, la comparaison du succès d'établissement des sphaignes en fonction des plantes pionnières présentes sur le site montre que plus de sphaignes s'établissent sous le couvert de la Linaigrette à feuilles étroites. Il est difficile, par contre, de dissocier l'effet de la plante de l'effet de son environnement, car la Linaigrette à feuilles étroites pousse dans les endroits les plus humides (Boudreau & Rochefort, 1999). L'utilisation de plantes herbacées pourrait devenir une méthode alternative intéressante à l'utilisation du paillis pour la restauration. Ces dernières ont l'avantage de stabiliser le substrat et de ne pas s'envoler lors de bourrasques de vent.

Fertilisation

Même si les sphaignes sont des espèces adaptées à des milieux de croissance très pauvres, elles peuvent profiter d'un apport additionnel en éléments nutritifs. Afin d'étudier l'effet de la fertilisation sur différentes espèces de sphaignes, une expérience en chambre de croissance a été entreprise (S. Boudreau, données non publiées). Dans cette expérience, des fragments de sphaignes ont reçu 17 traitements de solutions nutritives dans des plats de pétri où différentes doses d'azote et de phosphore ont été testées. La solution nutritive de base était une version modifiée de la solution de Rudolph (Rudolph, Kirchhoff & Gliemann, 1988; Campeau & Rochefort, 1996) (en μM) : Na^+ : 55; K^+ : 32; NH_4^+ : 73; Ca^{2+} : 22; Mg^{2+} : 22; Fe^{3+} : 2; Cl : 20; NO_3^- : 100; SO_4^{2-} : 58; PO_4^{3-} : 22. Le nombre d'innovations (bourgeoisement latéral) et la formation de nouveaux individus ont été utilisés pour mesurer l'effet d'apports en azote et en phosphore sur la régénération de *Sphagnum angustifolium*, *S. fuscum* et *S. magellanicum*. Les résultats montrent que le succès de régénération est limité par les deux éléments nutritifs chez *Sphagnum angustifolium* (jusqu'à des doses de 20 mg L^{-1} de N et 10 mg L^{-1} de P), par le phosphore pour *Sphagnum fuscum* (jusqu'à 5 mg L^{-1}) et par l'azote chez *Sphagnum magellanicum* (jusqu'à 5 mg L^{-1}).

Pour étudier l'effet d'un apport en azote et en phosphore sur le succès d'établissement de la sphaigne sur de la tourbe mise à nu, une deuxième expérience a été entreprise, en serre, où 12 solutions nutritives ont été testées. Ici, le pourcentage de recouvrement et la production de biomasse ont été estimés pour comparer le rétablissement de la sphaigne selon les traitements. Dans cette expérience, dès qu'une des solutions nutritives était appliquée, le succès d'établissement des fragments de sphaignes était amélioré par rapport à la solution témoin (correspondant à l'eau de pluie), laquelle était 5 fois moins concentrée en N et P que la solution nutritive de base. Aucune différence significative n'a été notée entre les autres traitements de fertilisation. Ainsi, un enrichissement fort modeste en éléments nutritifs ($0,68 \text{ mg L}^{-1}$ de P et $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ de N) peut améliorer le succès d'établissement des sphaignes. Puisque cette dose d'azote correspond aux quantités mesurées dans les tourbières résiduelles de l'Est du Québec (Wind-Mulder, Rochefort & Vitt, 1996), qui sont légèrement plus riches en N par rapport aux tourbières naturelles, un simple ajout de phosphore semble suffisant pour promouvoir l'établissement des diaspores de sphaignes sur de la tourbe mise à nu, en présence de bonnes con-

ditions de remouillage.

Tel que décrit précédemment, le succès de la paille comme couvert protecteur serait attribuable à un effet physique (microclimat). L'impact positif de la paille sur l'établissement des sphaignes pourrait-il être aussi attribuable à un effet de fertilisation via le lessivage par la pluie des éléments présents dans la paille? Pour répondre à cette question, des analyses chimiques ont d'abord été effectuées sur des échantillons de paille épandus sur le terrain (1500 kg ha^{-1}) et prélevés à différents moments au cours de l'été (0, 1, 2 et 3 mois après l'application; Boudreau, 1999). De plus, pour isoler l'effet fertilisant potentiel de la paille de son effet physique sur l'établissement des sphaignes, une expérience en serre a comparé un paillis naturel de paille à un paillis artificiel composé de paille en plastique inerte combiné à différentes solutions nutritives (eau de pluie, solution de lessivage de paille; A. Maloney, données non publiées). Ces études montrent que le potassium est l'élément le plus abondant lessivé de la paille, suivi du phosphore, du calcium et de l'azote (sous forme NH_4). Les concentrations d'éléments nutritifs lessivés de la paille diminuent rapidement durant les premières semaines de lessivage, puis graduellement jusqu'à la fin des périodes testées (4 mois sur le terrain et 18 semaines en serre). Il ressort de l'expérience en serre que l'effet fertilisant de la paille sur la sphaigne est positif, mais beaucoup moins important que l'effet physique de protection contre la dessiccation. Néanmoins, l'utilisation d'un paillis de paille posséderait un léger avantage, sur le plan chimique, par rapport aux autres types de paillis fabriqués avec des matériaux inertes.

À plus grande échelle, des tests de fertilisation en phosphore ont été effectués sur des champs de tourbe récemment abandonnés (Ferland & Rochefort, 1997). Ces tests ont apporté des renseignements sur les points suivants : un léger amendement en phosphore (triphosphate granulaire dissous dans l'eau à 6 ppm et pulvérisé à un taux de $2,4 \text{ mg m}^{-2}$) favorise légèrement l'établissement des sphaignes, tout comme de légers amendements dans des mares artificielles (Money, 1995) ou sur tourbe nue en serre (Rochefort, Gauthier & LeQuéré, 1995). Par contre, une dose de 50 g m^{-2} de triphosphate (0:46:0 de N:P:K), appliquée sous forme granulaire, est toxique pour les sphaignes (Ferland, 1996).

Sur tourbe nue, la fertilisation semble être relativement plus favorable à l'implantation des plantes vasculaires et de *Polytrichum strictum* qu'à l'établissement des sphaignes (Ferland & Rochefort, 1997). Également, une fertilisation modérée en phosphore (poudre d'os) peut favoriser la germination de graines de cypéracées. Ainsi, dans des tests de germination en serre sur substrat de tourbe, où les graines n'avaient subi aucune stratification, *Eriophorum angustifolium* a montré un taux de germination de 25 % avec des applications de 25 et 50 gm^{-2} de poudre d'os, alors qu'il était de 15 % avec une application de 100 g m^{-2} ou sans aucune application.

En général, les conditions chimiques du substrat résiduel ne sont pas considérées comme des facteurs limitatifs importants pour la régénération des sphaignes par rapport aux conditions hydriques déficientes ou à l'instabilité du substrat (Wheeler & Shaw, 1995; Ferland & Rochefort, 1997). Cependant, dans un processus de restauration qui vise à accélérer la revégétation des tourbières résiduelles, des applications de fertilisants pourraient être utilisées afin de favoriser l'implantation de plantes compagnes pour les sphaignes sans nuire à ces dernières, tel qu'observé à Rivière-Ouelle (figure 23.34). Une fois établies, les plantes-abris amélioreraient les conditions microclimatiques et la stabilité du substrat, favorisant ainsi la colonisation par les sphaignes. On note d'ailleurs sur le terrain une multitude de petits indi-

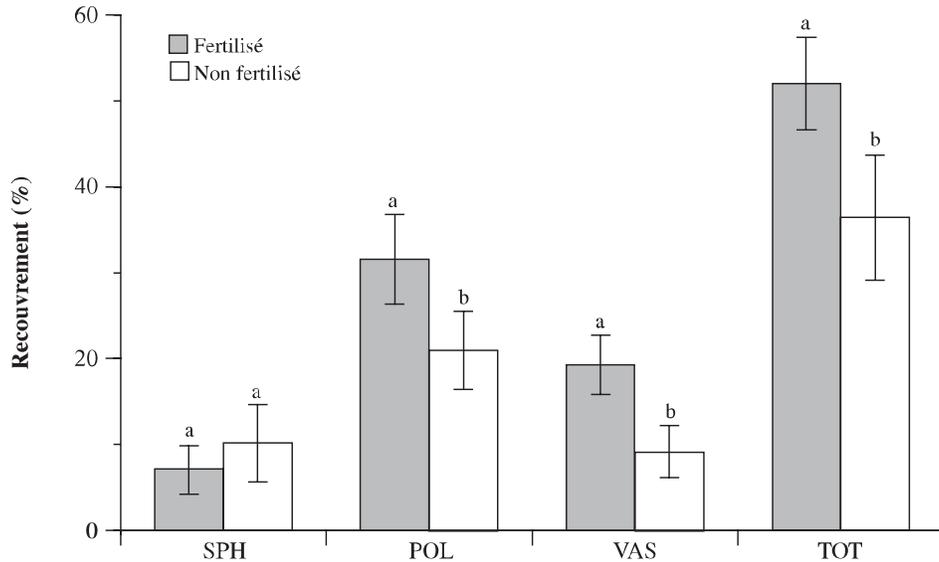


FIGURE 23.34. Effet de la fertilisation phosphatée sur l'établissement de la végétation après deux saisons de croissance au site expérimental de Rivière-Ouelle. Les travaux de restauration mécanisés ont été faits à l'automne 1997 et la fertilisation (25g m^{-2} de roche phosphatée) appliquée en juin 1998. Les valeurs représentent les pourcentages de recouvrement (moyennes de 8 parcelles permanentes \pm erreur-type) à l'automne 2000. Pour chaque catégorie végétale (SPH = sphagnes; POL = *Polytrichum strictum*; VAS = vasculaires; TOT = couvert végétal total), les traitements identifiés par une lettre différente sont significativement différents ($P < 0,05$).

vidus de sphagnes, isolés, qui s'installent à travers les tapis de *Polytrichum strictum*. La fertilisation doit être appliquée lorsque le sol est dégelé pour éviter la pollution des cours d'eau par le ruissellement de surface.

CONSIDÉRATIONS LORS DE LA MISE À L'ÉCHELLE DES TECHNIQUES DE RESTAURATION

Les considérations pratiques pour effectuer un plan de restauration à grande échelle (plusieurs champs de tourbe) sont décrites dans le *Guide de restauration des tourbières* (Quinty & Rochefort, 1997a). En bref, il s'agit : *i*) d'établir le plan de restauration, *ii*) de préparer les planches à restaurer, *iii*) d'identifier les zones d'emprunt si on doit y travailler en hiver ou tôt au printemps, *iv*) de procéder à la récolte des plantes, *v*) d'épandre les plantes et le paillis, *vi*) d'appliquer une légère fertilisation en phosphore et *vii*) de mettre en place les dispositifs de suivi pour évaluer le succès du projet (figure 23.35). Les deux sections suivantes examinent certains problèmes de mise à l'échelle qui ne sont pas discutés en profondeur dans le guide.

Épaisseur du matériel vivant utilisé

Lors de la mise à l'échelle des techniques de restauration, la végétation de surface (moins de 10 cm de profondeur) des tourbières naturelles est récoltée à l'aide d'un rotoculteur. Ce matériel végétal est principalement composé de sphagnes, mais il comprend aussi d'autres espèces de mousses, des graines et des fragments de rhizomes de plantes vasculaires. L'épandage du matériel végétal décheté sur le site à restaurer s'effectue à l'aide d'un épandeur à fumier. Il est important d'épandre la bonne quantité de plantes. En effet, si le matériel recouvre moins de 50 % de la surface, le succès de revégétation est faible; il en est de même si le

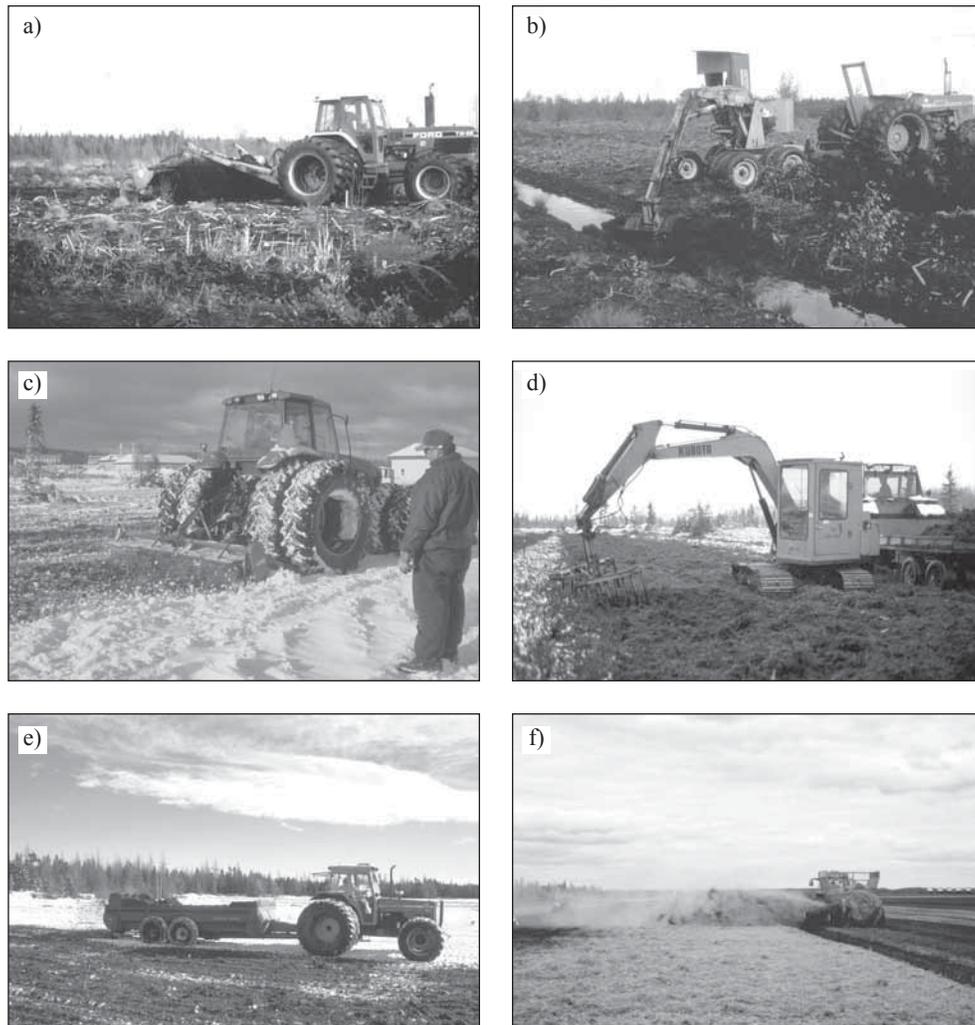


FIGURE 23.35. Quelques étapes mécanisées des techniques de restauration développées au Canada. a) L'utilisation d'une vis sans fin pour aplanir les anciennes planches de récolte et briser la croûte superficielle qui se forme par oxydation ou colonisation par les algues. b) Blocage d'un canal de drainage avec de la tourbe humifiée. Il faut bien nettoyer le canal de toute végétation résiduelle avant de procéder au blocage. c) Bris du matériel à récolter à l'aide d'un rotoculteur dans un site d'emprunt. Le niveau du rotoculteur doit être ajusté de manière à ne prélever que 5 à 10 cm de la strate muscinale. d) Récolte du matériel végétal pour le transporter au site à restaurer. e) Utilisation d'un épandeur à fumier pour épandre le matériel végétal sur le site à restaurer. f) Épandage de paille servant de couvert protecteur aux sphaignes (photos : GRET).

matériel épandu a plus de 2 cm d'épaisseur en recouvrement uniforme (Quinty & Rochefort, 1997b). Lorsque le matériel est trop abondant, les diaspores situées en dessous souffrent de l'enfouissement, alors que celles du dessus n'ont pas de contact avec la surface du substrat et n'ont donc pas accès à l'humidité du sol. Il s'agit donc de couvrir complètement le sol en minimisant la superposition du matériel.

Sites d'emprunt

Depuis le tout début des recherches sur la restauration des tourbières dans l'Est

du Canada, on a eu comme souci de minimiser l'impact causé aux tourbières naturelles lors de la collecte de matériel utilisé pour la revégétation de la tourbe mise à nu. En effet, il serait peu intéressant de restaurer les tourbières résiduelles si les sites d'emprunt des tourbières naturelles étaient détruits de manière irréversible. C'est pourquoi un suivi de la reprise de la végétation de plusieurs sites d'emprunt a été entrepris pour évaluer s'il est nécessaire de les aider à se régénérer et s'il est possible de réutiliser ces sites d'emprunt sur une base cyclique (4 à 6 ans). La technique de récolte des plantes de tourbières préconise la réalisation des travaux tôt au printemps ou tard à l'automne lorsque le sol est gelé. À ces moments de l'année, la machinerie ne récolte que les premiers 5 à 10 cm du couvert végétal et ne brise pas le système racinaire et les rhizomes. Il est important de ne récolter qu'une mince couche du tapis de sphaignes et de conserver intacte une bonne partie de l'acrotelme qui aidera, par la suite, la régénération naturelle du site d'emprunt. Les inégalités naturelles du terrain ne permettent pas de ramasser tout le matériel coupé, laissant sur place bien des diaspores qui peuvent se régénérer facilement. Dès la première année de régénération, Quinty et Rochefort (1997b) ont trouvé que la composition en plantes vasculaires des sites d'emprunt reflète bien celle de la tourbière naturelle environnante. Un tapis de sphaignes de 60 % de recouvrement peut se former 2 ans après le prélèvement (Rochefort, Quinty & Campeau, 1997). Après quelques années, il devient même difficile de distinguer les zones d'emprunt. L'ajout d'un paillis visant à aider la reprise de la végétation sur les sites d'emprunt s'est avéré inutile pendant les saisons de croissance relativement humides, mais son effet n'est pas encore connu lors des saisons plus sèches.

ÉVALUATION DU SUCCÈS DES PROJETS DE RESTAURATION

La revégétation d'une tourbière résiduelle à l'aide d'une variété de plantes typiques des tourbières naturelles n'est pas une garantie de la restauration d'un écosystème fonctionnel à nouveau accumulateur de carbone. Cependant, puisque les sphaignes sont les éléments-clés des tourbières naturelles dans l'hémisphère Nord (van Breemen, 1995), leur rétablissement est le principal défi pour entamer la restauration des sites. C'est le rétablissement d'un tapis muscinal dominé par les sphaignes qui permettra à nouveau la formation d'un acrotelme, l'accumulation de la tourbe, la filtration et la reconstitution d'habitats propices à certains organismes spécialisés et adaptés aux conditions acides des tourbières. Les sections suivantes présentent certaines fonctions écosystémiques qui peuvent se mesurer facilement pour évaluer le succès de restauration après un court laps de temps, suite à la mise en place d'un site de restauration.

Composantes végétales

Le premier outil d'évaluation du succès en restauration recommandé est la mesure de l'établissement du couvert végétal. Une méthode d'évaluation du pourcentage de recouvrement a déjà été décrite (Quinty & Rochefort, 1997a). Pour le suivi à moyen ou long terme des expériences de restauration à grande échelle, l'utilisation de quadrats permanents (25 m²) devrait être privilégiée. Ces quadrats permanents permettent d'évaluer la structure et la composition en espèces des communautés végétales dans le temps ainsi que le pourcentage de recouvrement pour chaque strate végétale. L'évaluation du pourcentage de recouvrement des espèces à l'intérieur de parcelles marquées en permanence a été identifiée comme la meilleure approche pour les suivis de végétation à long terme (Belsky, 1985).

Pour certains sites restaurés bien remouillés, les meilleurs succès d'établis-

sement présentent un pourcentage de recouvrement de 50 % en sphaignes après 3 saisons de croissance et de 80 % en couvert végétal de plantes typiques des tourbières. Une fois qu'un tapis muscinal s'est établi, des mesures de productivité de la végétation peuvent débiter. C'est en grande partie l'accumulation nette de la biomasse, d'année en année, qui permet à la tourbière d'être fonctionnelle (voir les fonctions d'une tourbière à la section restauration *versus* conservation *versus* réaménagement). Des méthodes d'échantillonnage de productivité de type destructif (récolte du matériel et mesure de la biomasse produite) sont facilement applicables. L'estimation de la croissance des sphaignes par la méthode des tiges coudées (Clymo, 1970) est une méthode à n'utiliser que lorsque le tapis muscinal est assez épais pour empêcher les tiges d'entrer en contact avec le substrat résiduel, sinon les tiges sont soulevées par ce dernier. Dans une tourbière dont les activités d'exploitation se sont terminées en 1978 (La Baie, Saguenay Peat Moss) et qui s'est bien régénérée naturellement, les taux de production des sphaignes (surtout dominées par des espèces de la section *Acutifolia*) sont semblables à ceux des sites naturels, soit de l'ordre de 220 gm⁻² par année de matière sèche. Pour des sites récemment restaurés (< 5 ans), des mesures de productivité montrent des taux d'accumulation variant de 50 à 200 g m⁻², où 75 % de recouvrement en mousses ou moins a été atteint.

Peu d'espèces non typiques des tourbières s'établissent dans les parcelles restaurées, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour les sites abandonnés (voir la section sur la végétation des tourbières résiduelles). Par contre, la flore des sites qui se sont bien régénérés naturellement est composée d'espèces typiques des tourbières non perturbées de la même région (Robert, Rochefort & Garneau, 1999). Il semblerait donc qu'une parcelle restaurée soit beaucoup plus résistante aux invasions de mauvaises herbes qu'un site abandonné. Cette hypothèse doit cependant être vérifiée.

Composantes hydrologiques

Un simple suivi du rehaussement moyen de la nappe phréatique peut en dire long sur le succès du remouillage d'un site restauré. L'idéal est d'installer quelques puits d'observation (*water wells*), fabriqués avec des tuyaux de PVC de 2,5 cm de diamètre. Il s'agit de les placer un peu partout sur le site restauré et dans une zone naturelle environnante. La mesure de la profondeur de la nappe phréatique se fait dans ces puits à une ou deux semaines d'intervalle (Shaffer *et al.*, 2000). Si des mesures peuvent être prises avant le début de la restauration, il sera plus facile d'interpréter le retour des fonctions hydrologiques. Par contre, si le site est éloigné et qu'il est coûteux d'envoyer une personne pour faire les relevés hydrologiques, l'insertion de quelques tiges de métal en fer (non oxydé) permet d'évaluer le niveau moyen de la nappe phréatique des différents endroits échantillonnés sur le site et d'interpréter de façon sommaire le succès des travaux de remouillage (Bridgham, Faulkner & Richardson, 1991).

Composantes fauniques

Un examen de la composition des communautés et du succès de reproduction des oiseaux d'une tourbière en restauration peut aider à diagnostiquer l'état de celle-ci, car les communautés aviaires reflètent de près des caractéristiques d'habitat parfois difficiles et coûteuses à mesurer. Les avantages et les limites de cet outil d'évaluation sont décrits au chapitre 6.

Populations microbiennes

Les dénombrements et l'isolement des micro-organismes nécessitent un temps considérable, du matériel de laboratoire particulier et une expertise en microbiologie. Par contre, la mesure de la biomasse microbienne demande peu de temps, peu de matériel et est simple à effectuer et à interpréter. La mesure de la biomasse microbienne peut donc être utilisée comme indicateur microbien de l'état de la restauration des tourbières résiduelles. On ne peut établir de valeur absolue de la biomasse microbienne permettant de caractériser l'état microbiologique d'une tourbière en restauration, puisque ce paramètre varie avec le climat et les régions (Croft, 1996). Par contre, il serait possible d'utiliser le rapport de la biomasse microbienne d'une tourbière naturelle *versus* celle d'une tourbière en restauration situées non loin l'une de l'autre pour obtenir une idée de l'état de la restauration. La tourbière serait en bonne voie de régénération lorsque le rapport est inférieur à 2,0. Cette façon d'évaluer l'état de la restauration à partir d'un bio-indicateur microbien est très prometteuse. Des recherches plus poussées permettront de déterminer avec exactitude la valeur limite indiquant le succès de régénération. Il faudra également vérifier l'importance de l'origine microbienne ou végétale du carbone mesuré et déterminer si le rapport dépend ou non du type de végétation recolonisant les surfaces résiduelles.

Fonctions écosystémiques

Pour savoir s'il est possible de restaurer un écosystème de tourbière à nouveau accumulateur de carbone, un projet de restauration d'un écosystème dans son intégralité (11 ha) a été entrepris à l'automne 1999 dans le Bas-Saint-Laurent, à la tourbière Bois-des-Bel. Ce site peut être remouillé entièrement car aucune activité d'extraction adjacente n'empêche le blocage de tous les canaux de drainage. Une telle manipulation au niveau d'un écosystème permettra de mesurer et de quantifier si le rétablissement de plusieurs fonctions écosystémiques propres aux tourbières est réalisable, fonctions qu'il est difficile d'évaluer lorsque seules des parcelles ou des sections de tourbières résiduelles sont restaurées. Parmi ces fonctions, on mesure notamment le bilan hydrique, le bilan carboné, le recyclage des éléments nutritifs, la capacité de filtration, la résistance du système aux invasions biologiques et la diversité végétale. Également, 8 mares ont été créées dans la tourbière pour augmenter la diversité structurale et la diversité en espèces du site. Par ce projet, il sera possible de vérifier jusqu'à quel point la restauration permet à la tourbière de rétablir ses fonctions d'écosystème accumulateur de tourbe.

CONCLUSION

On a discuté dans ce chapitre de l'importance de restaurer et de conserver les tourbières au Québec méridional, surtout près des grands centres urbains. Bien que le territoire du Québec-Labrador comprenne de vastes étendues de tourbières, on réalise de plus en plus, depuis quelques années, que l'utilisation des tourbières peut avoir un impact sur le paysage de certaines régions. Les différentes approches de restauration développées au Québec montrent qu'il est possible de rétablir un couvert végétal typique des tourbières dominées par les sphaignes en moins de 3 à 5 ans par paludification. Cette approche a permis de découvrir que le grand pouvoir de régénération des sphaignes diminue rapidement en profondeur dans la colonne de tourbe. Il est donc recommandé de ne récolter que les 5 à 10 premiers centimètres du couvert muscinal des sites d'emprunt pour le matériel de réimplantation. La taille des fragments de sphaignes a peu d'influence sur leur potentiel de