

PLANTATIONS D'ESSENCES FORESTIÈRES DANS LE CONTEXTE DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES :

Un guide pratique

Sandrine Hugron, Julie Bussières et Line Rochefort



Plantations d'essences forestières dans le contexte de la restauration écologique des tourbières : Un guide pratique

Rédigé par Sandrine Hugron, Julie Bussières et Line Rochefort
Groupe de recherche en écologie des tourbières

Département de phytologie
Université Laval, Québec, Québec

Ce document devrait être cité comme suit :

Hugron, S., Bussières, J. et Rochefort, L. 2011.
Plantation d'essences forestières dans le contexte de la restauration écologique
des tourbières : un guide pratique, Groupe de recherche en écologie des tourbières,
Université Laval, Québec, 88 p.

Ce document est disponible en pdf : www.gret-perg.ulaval.ca

Octobre 2011

Crédits photographiques (page couverture) :

J. Bussières (jeune plant de mélèze et mesure hauteur du plant d' pinette);
S. Hugron (haie brise-vent et plantation mélèze);
A. Jacobs (plantation âgée d' pinette);
V. Laroche (tourbière naturelle).

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 – INTRODUCTION	7
Les tourbières naturelles	7
Les tourbières au Canada	8
La restauration des tourbières résiduelles	9
Le réaménagement des tourbières résiduelles	10
Les limites de la restauration	10
Les différentes options de réaménagement	10
Plantation dans le contexte de la restauration écologique	12
Les objectifs du guide	13
Références et suggestions de lectures complémentaires	14
CHAPITRE 2 – PLANIFICATION DES AMÉNAGEMENTS APRÈS RÉCOLTE	17
Définition des objectifs de l'aménagement	18
Importance d'un plan d'aménagement	18
Planification des plantations	19
Description du site de plantation	19
Épaisseur de tourbe résiduelle	19
Analyse chimique de la tourbe	21
Sous-sol minéral	22
Drainage	23
Proximité des activités d'extraction	23
Références et suggestions de lectures complémentaires	24
CHAPITRE 3 – PRÉPARATION DU SITE DE PLANTATION	27
Le substrat (tourbe résiduelle)	27
Au point de vue physique	27
Au point de vue chimique	28
L'hydrologie	29
Les avantages du drainage	30
Drainage insuffisant	30
Drainage trop prononcé	30
Les opérations de préparation	30
Plantation comme complément à la restauration	32
Plantation comme option de réaménagement	32
Références et suggestions de lectures complémentaires	33

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

CHAPITRE 4 – CHOIX ET PLANTATION DES VÉGÉTAUX	35
Choix de l'espèce	35
Fiches descriptives	37
Abies balsamea (Sapin baumier)	37
Acer rubrum (Érable rouge)	38
Larix laricina (Mélèze laricin)	39
Picea mariana (Épinette noire)	40
Pinus banksiana (Pin gris)	41
Pinus resinosa (Pin rouge)	42
Pinus strobus (Pin blanc)	43
Thuja occidentalis (Thuya occidental)	44
Complément à la restauration	45
Création d'îlots boisés	45
Création de laggs	45
Autres projets d'aménagement	46
Espèces non recommandées	47
Utilisation d'espèces compagnes	47
Choix des plants	48
Type de plants	48
Calibre de plants à utiliser	49
Origine et commande des plants auprès des pépiniéristes	49
La plantation	50
Qualité des plants	50
Manutention des plants	50
Mise en terre	51
Moment de la plantation	51
Choix des secteurs et des microsites des plantations	52
Techniques de plantation	53
Références et suggestions de lectures complémentaires	54

CHAPITRE 5 – FERTILISATION	57
Nutrition de l'arbre	57
Importance de la fertilisation	57
Application de la fertilisation initiale	58
Forme (poche de thé, pastille) et doses d'engrais	59
Durée de vie de la fertilisation initiale	62
Autres amendements et pratiques de travail du sol	62
Références et suggestions de lecture	63
CHAPITRE 6 – SUIVI, ENTRETIEN ET ÉVALUATION DU SUCCÈS DES PLANTATIONS	65
Suivi des plantations	65
Évaluation du succès	67
Entretien	67
Contrôle des adventices	67
Contrôles des ravageurs (insectes, champignons, broutement)	69
Refertilisation	69
Principales carences	70
Replantation	72
Références et suggestions de lecture	73
CHAPITRE 7 – CONCLUSION	74
REMERCIEMENTS	75
GLOSSAIRE	77
ANNEXE 1 : PROTOCOLE	80
Protocole : Récolte d'échantillons pour analyse chimique de la tourbe résiduelle	81
ANNEXE 2 : FICHES DE PRISE DE DONNÉES	82
Planification – Description du site	83
Plantations – Opérations de préparation	85
Plantations – Mise en terre des plants	86
Plantations – Suivi	87
Plantations – Suivi	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Tourbière ombrotrophe du sud du Québec et Tourbière minérotrophe du Bas-Saint-Laurent.	7
Figure 2	Schéma illustrant l'évolution d'une tourbière minérotrophe (fen) vers une tourbière ombrotrophe (bog).	7
Figure 3	Répartition des tourbières au Canada.	8
Figure 4	Aspirateurs utilisés pour la récolte de la tourbe.	9
Figure 5	Tourbière de Bois-des-Bel dix ans après la restauration : secteur restauré et secteur non restauré.	9
Figure 6	Projets de réaménagement de tourbières résiduelles irlandaises, anciennement exploitées à des fins énergétiques, en projets récréotouristiques	11
Figure 7	Tétràs du Canada qui utilise les marges forestières des tourbières comme habitat.	12
Figure 8	Schéma illustrant les différentes étapes d'un projet de plantation d'arbres.	13
Figure 9	Schéma du choix de l'option d'aménagement.	17
Figure 10	Détermination de la profondeur du dépôt tourbeux à l'aide d'une tige filetée.	20
Figure 11	Tourbière abandonnée après récolte de la tourbe par aspiration au Nouveau-Brunswick.	27
Figure 12	Caractéristiques physiques de la tourbe en fonction du profil.	27
Figure 13	Le soulèvement géglival crée une microtopographie particulière par la formation de cristaux de glace sous les particules de tourbe.	28
Figure 14	Canal de drainage entre deux planches de récolte.	29
Figure 15	Graphique illustrant l'effet du drainage sur la survie de deux espèces d'arbres plantés en tourbières résiduelles.	30
Figure 16	Schéma illustrant les opérations de préparation du site.	31
Figure 17	Plantation de mélèzes de Pointe-au-Père (Bas-Saint-Laurent, Québec) sept ans après la mise en terre des plants.	35
Figure 18	Schéma du choix des espèces selon les caractéristiques du site.	36
Figure 19	Zones de rusticité des plantes au Canada	36
Figure 20	Épinettes imitant un îlot forestier dans une tourbière restaurée au Lac-Saint-Jean quatre ans après la plantation.	45
Figure 21	Plants filles, issus du marcottage, à la base d'un plant mature d'épinette noire	45
Figure 22	Végétation diversifiée en bordure de tourbière (lagg).	46
Figure 23	Mélèzes plantés afin de former une haie brise-vent.	46
Figure 24	Les épinettes noires établies avec mousses et couvert de paille ont montré une meilleure survie et une meilleure croissance que les plants établis sans mousses.	47
Figure 25	Plants d'épinette noire en récipient.	48
Figure 26	Plant de mélèze ayant séjourné plus que le nombre d'années recommandé dans le même calibre de récipients en pépinière.	50
Figure 27	Plants en récipients encore dans leur caissette et ayant séjourné dans un canal de drainage afin de les garder humide.	51
Figure 28	Schéma hypothétique de la séquence d'abandon et de plantation des différents secteurs avec illustration des emplacements choisis.	52

Figure 29	Plantation d'épinette noire en bordure d'une tourbière dans un secteur où la restauration écologique n'était pas envisageable à cause de la présence de sol minéral et de débris en surface de la tourbe résiduelle.	52
Figure 30	Mise en terre des plants dans une tourbière résiduelle à l'aide d'un instrument appelé plantoir.	53
Figure 31	Schéma illustrant un plant mis en terre de façon correcte et des plants dont la mise en terre est inadéquate.	53
Figure 32	Croissance de mélèzes plantés quatre années auparavant : non fertilisés et fertilisés.	58
Figure 33	Envahissement d'une plantation de mélèze en Alberta par le bouleau suite à la remontée de la nappe phréatique pour les parcelles fertilisées avec des poches de thé et non fertilisées.	59
Figure 34	Photographie d'une poche de thé.	60
Figure 35	Le choix de la fertilisation	62
Figure 36	Plant d'épinette dont la flèche terminale est morte, mais qui a survécu.	65
Figure 37	Plant en récipient qui a été déraciné par l'effet du soulèvement gélival et qui est considéré « mort » lors du suivi.	65
Figure 38	Compteur manuel utilisé pour dénombrer les plants.	66
Figure 39	Mesure de la hauteur des plants lors du suivi d'une jeune plantation de pins.	66
Figure 40	Flèche terminale d'un sapin baumier.	66
Figure 41	Épinettes dont le taux de croissance est faible dans les tourbières naturelles.	67
Figure 42	Présence d'un faible couvert de linaigrettes dans une plantation qui peut être tolérée, car elle ne nuit pas à la croissance des arbres.	67
Figure 43	Établissement du bouleau dans une plantation d'épinettes causé par la remontée des éléments nutritifs (fertilisation avec des poches de thé) à la suite d'une période d'inondation du site.	68
Figure 44	Coupe des bouleaux à 50 cm du sol afin de limiter leur capacité de régénération.	
Figure 45	Planches dont les espèces indésirables ont été tondues entre les plants d'arbres et d'essences fruitières en tourbière résiduelle.	69
Figure 46	Mélèze dont le feuillage est jaunâtre, probablement en raison d'une carence nutritive.	70
Figure 47	Le suivi et l'entretien des plantations	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Moyennes et écart-types de la concentration d'éléments chimiques totaux (mg/g) et disponibles (µg/g) ainsi que du pH et de la conductivité électrique (µS/cm) de la tourbe pour la moyenne canadienne des tourbières après récolte de tourbe1.	28
Tableau 2	Espèces non recommandées pour la plantation en tourbières résiduelles	47
Tableau 3	Avantages et comparaison des différents types de plants	48
Tableau 4	Avantages et comparaison des différents calibres de récipients	49
Tableau 5	Fertilisation recommandée à la lumière des résultats des expériences de plantations au Québec et au Nouveau-Brunswick ainsi que les performances attendues pour chacune des formulations présentées.	61
Tableau 6	Résumé des symptômes de carence pour chacun des éléments	71



CHAPITRE 1

INTRODUCTION

LES TOURBIÈRES NATURELLES

Les milieux humides sont caractérisés par une nappe phréatique haute pendant une période assez longue dans l'année pour influencer la nature des sols et promouvoir l'établissement de plantes adaptées à des conditions saturées en eau, soit les plantes hydrophytes. Ils apportent de nombreux services écologiques incluant la filtration de l'eau, le contrôle des inondations et la recharge des eaux souterraines (selon leur localisation dans le bassin hydrographique) et ils fournissent des habitats pour une faune diversifiée, particulièrement pour la sauvagine en Amérique du Nord. À l'échelle mondiale, les milieux humides apportent des services écologiques dont la valeur serait estimée annuellement à 4 900 milliards de dollars américains (estimés de 1997).

La caractéristique qui distingue les tourbières des autres types de milieux humides est la capacité d'accumuler du matériel végétal peu décomposé, aussi appelé « matière organique ». En effet, dans les tourbières, la quantité de biomasse végétale produite par photosynthèse annuellement s'accumule plus qu'elle ne se décompose. L'accumulation annuelle est toutefois très faible (environ 0,5 à 0,6 mm par année) et des millénaires sont nécessaires pour permettre le développement de dépôts de tourbe de 1,5 à 2,3 m, soit la profondeur moyenne des tourbières boréales. Les tourbières relâchent naturellement du dioxyde de carbone (CO_2) et du méthane (CH_4) dans l'atmosphère, deux gaz à effet de serre (GES), ainsi que du carbone organique dissous (COD) dans l'eau par le processus de décomposition de la matière organique. Ces quantités sont toutefois inférieures à celles du carbone captées sous forme de CO_2 par les plantes pour leur croissance. Cet écosystème est donc considéré comme le « puits de carbone » le plus efficace de la planète. Les tourbières ne couvrent que 3 % de la surface de la Terre, mais elles emmagasinent de 15 à 30 % du carbone mondial sous forme de tourbe. Dans le contexte des changements climatiques, elles constituent donc un écosystème primordial à considérer lors du calcul des émissions et de la séquestration des GES.

Il existe deux types de tourbières, qui se distinguent par leur alimentation en eau. Les tourbières minérotrophes (fens) reçoivent une eau contenant plus d'éléments minéraux, car elle provient du ruissellement de surface, en plus des précipitations (Figure 1). Les mousses brunes et les cypéracées constituent la végétation dominante des fens. Les tourbières ombrotrophes (bogs) sont des milieux humides dont l'alimentation en eau

est assurée uniquement par les précipitations. Ces tourbières contiennent donc très peu d'éléments minéraux. Elles sont dominées par les sphaignes et les éricacées, des plantes qui sont bien adaptées à des conditions pauvres en cations de base (c.-à-d. peu d'éléments nutritifs) et humides.



PHOTO : V. Laroche



PHOTO : V. Bérubé

Figure 1. a) Tourbière ombrotrophe du sud du Québec et b) Tourbière minérotrophe du Bas-Saint-Laurent.

LA PETITE HISTOIRE DU DÉVELOPPEMENT D'UNE TOURBIÈRE

Au cours du développement d'une tourbière, un fen devient un bog lorsque l'épaisseur de matière organique accumulée devient assez importante pour soustraire la végétation de surface à l'influence de l'eau de ruissellement (Figure 2). Au fur et à mesure que le dépôt de tourbe s'épaissit, on observe une diminution de la quantité de minéraux disponible pour les plantes en surface provenant de la nappe phréatique et de l'eau de ruissellement. Les cypéracées et

les mousses brunes sont donc graduellement remplacées par les sphaignes qui ont la capacité d'acidifier le milieu et d'ainsi créer des conditions favorables pour leur établissement et leur croissance. Dans les bogs, la tourbe située en profondeur (tourbe de cypéracées) possède donc souvent des caractéristiques différentes (plus décomposée et moins acide) que la tourbe de surface (tourbe de sphaignes), car elle provient de la décomposition de plantes de fen.

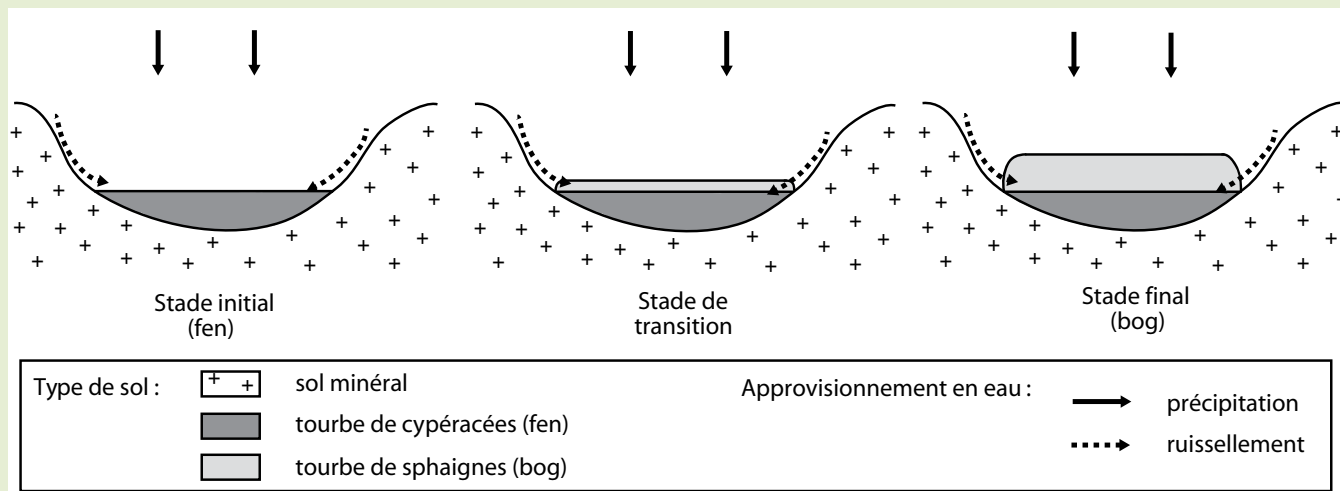


Figure 2. Schéma illustrant l'évolution d'une tourbière minérotrophe (fen) vers une tourbière ombrotrophe (bog).

LES TOURBIÈRES AU CANADA

La superficie occupée par les tourbières au Canada est estimée à 1 113 280 km² (voir Figure 3), ce qui en fait un des pays qui possède les plus grandes superficies de milieux humides avec la Russie. Les pressions sur les tourbières causées par le drainage agricole, l'urbanisation, la coupe forestière et l'exploitation à des fins horticoles sont néanmoins surtout concentrées dans le sud du pays. À une échelle régionale, la fragmentation et la perte des milieux humides peuvent atteindre de 80 à 98 % près des centres urbains, ce qui peut avoir un impact important sur la biodiversité et la qualité de l'eau.

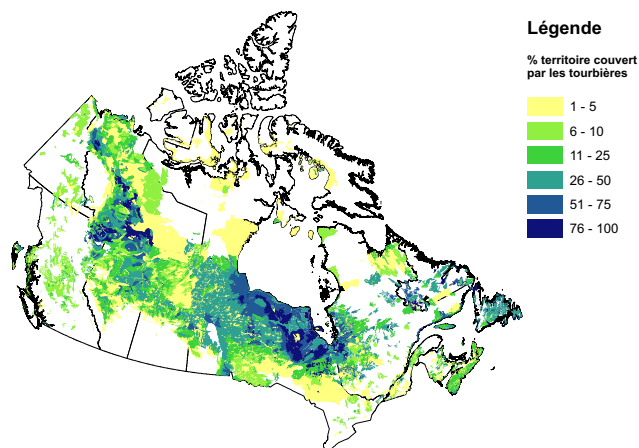


Figure 3. Répartition des tourbières au Canada. Figure élaborée grâce à des fichiers numériques tirés de la base de données de Géogratis du Gouvernement du Canada (www.geogratis.gc.ca).

En Amérique du Nord, l'exploitation des tourbières vise principalement la production de substrats de croissance et d'amendements de sol pour l'horticulture commerciale et domestique. La méthode la plus commune de récolte de la tourbe est par aspiration (Figure 4), mais il existe d'autres techniques moins fréquemment utilisées. La méthode d'extraction par aspiration nécessite un drainage intensif du site afin de permettre la circulation de la machinerie et l'enlèvement de la couche de végétation supérieure de la tourbière afin d'accéder au dépôt tourbeux. À chacun des passages des aspirateurs géants, une fine couche de tourbe est récoltée. Au fur et à mesure de la récolte, de la tourbe de plus en plus vieille et de plus en plus décomposée est exposée à la surface des planches. Si l'on extrait la tourbe assez profondément, la tourbe de fen (carex) peut être exposée. Toutefois, la tourbe recherchée par l'industrie horticole est la tourbe fibrique peu décomposée située à la surface du dépôt tourbeux.

PHOTO : S. Hugron



Figure 4. Aspirateurs utilisés pour la récolte de la tourbe.

LA RESTAURATION DES TOURBIÈRES RÉSIDUELLES

En Amérique du Nord, les activités d'exploitation cessent généralement lorsque la qualité de tourbe n'est plus suffisante pour les usages horticoles (indice von Post plus grand ou égal à 4 ou 5 et parfois même jusqu'à 6) ou lorsqu'il y a présence d'impuretés (gravier, sable, argile, etc.). L'épaisseur de tourbe résiduelle est généralement supérieure à un ou deux mètres et elle ne contient aucune graine viable. Les conditions environnementales suivant récolte de la tourbe diffèrent grandement de celles trouvées en tourbières naturelles et ne favorisent pas le retour des plantes typiques de tourbières comme les sphaignes. Par exemple, l'hydrologie du site est modifiée à cause de la présence des canaux de drainage et de l'absence de végétation à la surface de la tourbière. Tous ces facteurs,

ainsi que certains phénomènes comme le soulèvement gélival créé par les cristaux de glace dans le sol et l'érosion éolienne et hydrique, engendrent des conditions difficiles pour la réapparition des plantes typiques des tourbières et pour le retour éventuel d'un écosystème fonctionnel accumulateur de tourbe. Au contraire, les conditions des tourbières résiduelles favorisent la décomposition accélérée et l'oxydation de la tourbe. De tels sites deviennent donc des sources de carbone atmosphérique.

Le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) a développé une technique de restauration, appelée « transfert de mousse de sphaignes », qui permet le retour des sphaignes, espèces clés des tourbières ombrotrophes. Cette technique consiste à réintroduire des fragments de sphaignes et puis à bloquer les canaux de drainage. Depuis 1990, l'efficacité de cette technique a été démontrée tant au niveau du retour des espèces végétales typiques de tourbière et de la composition de la communauté microbienne qu'à celui du retour à un écosystème accumulateur de tourbe agissant de nouveau comme un puits de carbone (Figure 5).

A



PHOTO : A. D'Astous

B



PHOTO : F. Salvador et J. Minnerris

Figure 5. Tourbière de Bois-des-Bel dix ans après la restauration : a) secteur restauré et b) secteur non restauré.

LE RÉAMÉNAGEMENT DES TOURBIÈRES RÉSIDUELLES

La restauration des tourbières après la récolte de la tourbe vise la reconstitution d'un écosystème tourbeux fonctionnel semblable aux communautés végétales typiques des tourbières de la région environnante. À long terme, son but ultime est de recréer un système capable d'accumuler de la matière organique sous forme de tourbe. En comparaison, le réaménagement des tourbières après la récolte de la tourbe vise plutôt la remise en état d'un ancien écosystème tourbeux, mais en lui attribuant une vocation différente de celle qui prévalait avant l'exploitation.

Les limites de la restauration

Certaines conditions rencontrées après l'arrêt des activités de récolte de tourbe ne sont parfois pas optimales pour la restauration écologique qui utilise la technique de transfert de mousses de sphaigne. C'est le cas notamment lorsque le dépôt de tourbe restant est mince et que le sol minéral est près de la surface. Dans ce cas, une plus grande quantité de cations de base (Ca, Mg, Na, K) provenant du sol minéral est disponible et cela défavorise les sphaignes, qui préfèrent des conditions pauvres et qui subissent de plus une grande compétition de la part d'autres plantes croissant plus facilement en milieu minérotrophe.

D'autre part, il est possible que certains secteurs de la tourbière à restaurer présentent des caractéristiques qui rendent difficile le remouillage. Par exemple, sur les anciens chemins, la compaction de la tourbe par la circulation de la machinerie rend le rehaussement de la nappe phréatique difficile. Certaines sections surélevées de la tourbière peuvent aussi demeurer plus sèches lors du remouillage et présenter des conditions inadéquates pour la croissance des sphaignes.

Également, lorsque la surface abandonnée après récolte de la tourbe est située à proximité de sections qui sont encore activement récoltées, la restauration par transfert de mousses de sphaigne peut s'avérer impossible pour un certain temps. En effet, les canaux de drainage situés entre les sections abandonnées et exploitées doivent rester actifs pour la récolte de tourbe et ne peuvent donc être bloqués pour la restauration.

Finalement, il peut s'avérer coûteux de trouver un site d'emprunt pour récolter des fragments de plantes à une distance convenable du site à restaurer. Dans ce cas, il est préférable de prévoir un autre type d'aménagement, car l'abandon simple

des sites peut conduire à des invasions spontanées (par la linaigrette, les bouleaux, etc.) qui pourraient se propager aux planches toujours exploitées et les contaminer.

Les différentes options de réaménagement

Il existe différentes options de réaménagement possibles après la fin des activités d'extraction de la tourbe. Le choix de l'option de réaménagement est influencé non seulement par le contexte propre au site et les préférences des gestionnaires de la tourbière, mais aussi par le contexte socio-économique de la région, notamment les lois et règlements en vigueur dans la province ou le pays. Par exemple, au Nouveau-Brunswick, la majorité des exploitations de tourbe sont situées sur des terres publiques et le ministère des Ressources naturelles qui gère cette ressource, priorise la restauration de ces terrains en un milieu humide naturel. Par conséquent, l'ouverture d'un site néo-brunswickois ne peut être autorisée qu'après le dépôt d'un plan de restauration « post-abandon » du site.

Parfois, les fonds de terrain de tourbière appartiennent à des agriculteurs et sont loués par des producteurs de tourbe. En fin de vie commerciale, l'agriculteur peut demander à son locataire de lui remettre le terrain avec une valeur agricole ajoutée, les terres noires ayant un bon potentiel pour les cultures de maïs et maraîchères.

Une autre option de réaménagement de sites résiduels possible est la plantation de petits fruits: dans certains pays européens comme dans l'Est de l'Amérique du Nord, on cultive aux fins de production commerciale les espèces fruitières suivantes : la chicouté, l'aronia noire, les bleuet nain et de corymbe, la canneberge, la fraise, l'amélanchier, le sureau, l'airelle vigne d'Ida et la camarine. Les gestionnaires intéressés à en savoir plus sur la plantation de petits fruits en tourbières résiduelles sont invités à consulter le guide *Production de petits fruits en tourbières*, 2^e édition (GRET 2009).

La création d'habitats naturels avec ou sans vocation récréo-touristique est aussi possible pour le réaménagement des tourbières. C'est le cas notamment en Irlande où certains sites ont été transformés en parcs naturels avec lacs ou étangs et où il est possible d'aller faire de l'observation d'oiseaux ou encore d'aller pêcher en famille (Figure 6). Certaines tourbières résiduelles en Estonie, au Pérou et en Irlande ont un pH assez élevé pour permettre la création d'étangs artificiels pouvant permettre le maintien de populations de poissons.

Les premiers essais de plantation d'essences forestières sur tourbières résiduelles ont eu lieu en Finlande dans les années 1950. La plantation du pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) et de bouleaux (*Betula pendula* L. et *B. pubescens* L.) a donné de bons rendements. En Irlande, les premiers essais remontent aux années 1980 et c'est maintenant l'épinette de Norvège (*Picea abies* (L.) H.Karst.) qui est recommandée pour les plantations forestières extensives sur tourbières résiduelles. En Estonie, on rapporte des essais de plantations forestières



Figure 6. Projets de réaménagement de tourbières résiduelles irlandaises, anciennement exploitées à des fins énergétiques, en projets récréotouristiques : A) Création d'un lac dédié à la randonnée pédestre et à l'observation d'oiseaux et B) maisonnette fabriquée de briquettes de tourbe le long d'un sentier pédestre aménagé dans une plantation forestière (Voir aussi : www.loughbooraparklands.com).

Parmi les options de réaménagement qui existent, la plantation d'essences forestières est une populaire auprès des gestionnaires de plusieurs sites européens et nord-américains. La foresterie en tourbières naturelles ou perturbées (principalement par le drainage) existe depuis plus longtemps, mais la foresterie sur tourbières résiduelles est, quant à elle, plus récente. L'exploitation industrielle de la tourbe (de façon mécanisée et sur de grandes superficies) est relativement récente.

sur tourbières résiduelles datant de 1972 et on plante dans ce pays des bouleaux (*Betula pendula* Roth) et des pins (*Pinus sylvestris* L.) Il existe des essais en Suède où l'on a conclu que la plantation n'est pas nécessaire et qu'en présence d'une fertilisation adéquate, la régénération naturelle suffit pour l'implantation des arbres. Il faut toutefois noter qu'en Suède, tout comme en Irlande, les tourbières ont été exploitées à

des fin énergétiques, ce qui a entraîné une extraction très profonde des dépôts tourbeux. La tourbe résiduelle de ces sites, peu profonde, est riche en minéraux, ce qui favorise la régénération spontanée des essences forestières. Finalement, d'autres essais ont été menés en Lituanie et en République tchèque, mais les documents en traitant sont rares et difficiles à obtenir. Dans l'Est de l'Amérique-du-Nord, les plus vieilles plantations forestières sur tourbières résiduelles datent du début des années 1990. Le présent guide rapporte les essais et les résultats obtenus à ce jour.

SAVIEZ-VOUS QUE?

L'abandon pur et simple des tourbières après l'arrêt des activités économiques n'est pas une option envisageable selon la *Stratégie pour la gestion responsable des tourbières* (*Strategy for responsible peatland management*) publiée en 2010 par l'International Peat Society (IPS).

Plantation dans le contexte de la restauration écologique

La plantation d'arbres dans les tourbières résiduelles peut constituer un complément intéressant à la restauration écologique, surtout lorsque celle-ci est appliquée sur des sites de grande superficie. Ainsi, la plantation d'essences forestières dans les endroits plus secs et non propices à la croissance des sphaignes peut contribuer à recréer des écosystèmes plus « naturels », contenant une diversité d'habitats. En effet, les arbres peuvent être plantés en bosquets pour favoriser la croissance d'îlots forestiers et servir de sites de nidification pour certaines espèces d'oiseaux. Les plantations peuvent aussi être placées au pourtour des surfaces à restaurer pour recréer les marges forestières typiques des tourbières (laggs) qui servent notamment de corridor de transition pour la faune entre les écosystèmes avoisinants et la tourbière (par exemple, pour le tétras du Canada; Figure 7). Les laggs comprennent également une bonne diversité d'arbustes fruitiers (némopanthé, viorne, amélanchier) qui diffèrent des baies des éricacées des tourbières ouvertes et qui peuvent servir pour l'alimentation de diverses espèces animales. Les plantations peuvent également servir de brise-vent afin de diminuer l'érosion éolienne et le transport de graines de mauvaises herbes qui pourraient contaminer les planches encore en exploitation, s'il y a lieu. Finalement,

les plantations peuvent améliorer l'esthétique du site et servir comme barrière visuelle (écran) sur des sites où l'extraction de la tourbe est en bordure d'infrastructures humaines.



PHOTO : C. Macabiau

Figure 7. Tétras du Canada qui utilise les marges forestières des tourbières comme habitat.

Les plantations pourraient aussi être considérées comme une option de réaménagement pour un site complet, par exemple pour la production de matières ligneuses. Toutefois, dans le contexte nord-américain, on ne devrait pas privilégier ce choix au détriment de la restauration écologique. En effet, durant les premières années après les plantations, de grandes quantités de carbone sont nécessaires pour la croissance des arbres et sont ainsi accumulées à l'intérieur des tissus de ceux-ci. Toutefois, l'absence du couvert de sphaignes et l'abaissement de la nappe phréatique favorisent la décomposition du dépôt de tourbe résiduelle, ce qui entraîne des émissions de dioxyde de carbone (CO₂), un GES, dans l'atmosphère. Des données

du GRET (non publiées) ont montré que, 75 ans après des perturbations (feu et drainage) qui ont favorisé l'afforestation d'une tourbière du Bas-Saint-Laurent, les émissions de carbone dues à la décomposition du dépôt de tourbe et à la mortalité des arbres étaient annuellement supérieures à la quantité de carbone séquestrée par les arbres pour leur croissance.

En conclusion, la restauration écologique des tourbières à l'aide de la méthode de transfert de mousses de sphaigne, telle que décrite dans le Guide de restauration des tourbières (Quinty et Rochefort 2003), est la technique à prioriser, car elle permet le retour de la fonction clé de l'écosystème tourbeux : l'accumulation du carbone. La plantation d'essences forestières est une méthode de réaménagement complémentaire qui peut être utilisée dans les endroits stratégiques pour maximiser la restauration de la biodiversité ou dans les endroits non favorables à la croissance de la sphaigne.

LES OBJECTIFS DU GUIDE

L'idée de produire le présent guide est venue de l'intérêt des gestionnaires canadiens de sites tourbeux quant à l'utilisation d'essences forestières comme complément à la restauration des tourbières résiduelles. Il existe de belles réalisations dans le domaine tant en Europe qu'en Amérique du Nord et nous possédons maintenant assez de renseignements pertinents pour les regrouper dans un guide pratique.

Ce guide n'est pas une revue exhaustive des travaux sur le sujet, mais bien un outil pratique de réflexion, de planification, de réalisation et de promotion de l'utilisation d'essences forestières comme complément à des projets de restauration d'écosystèmes tourbeux après abandon de tourbières industrielles. Nous insistons sur la pertinence d'utiliser cet ouvrage en parallèle avec le *Guide restauration des tourbières* publié en 2003 par le GRET.

Le guide vise principalement les intervenants de première ligne de sites tourbeux. Nous espérons répondre aux besoins dans toutes les étapes de réalisation de leur projet. Cet ouvrage vise aussi à sensibiliser les intervenants de tous les niveaux et de tous les horizons qui sont liés de près ou de loin avec les tourbières (industriels de la tourbe, environnementalistes, décideurs gouvernementaux, urbanistes, consommateurs...) à la gestion intégrée des sites résiduels.

Vous trouverez dans ce guide des informations concernant toutes les étapes d'un projet de plantation d'essences forestières comme complément à la restauration sur des sites tourbeux (Figure 8). Vous trouverez, finalement, à la fin de chaque chapitre, une liste de références qui ne constitue pas une énumération exhaustive, mais qui fournit des suggestions de lectures associées aux thèmes discutés.

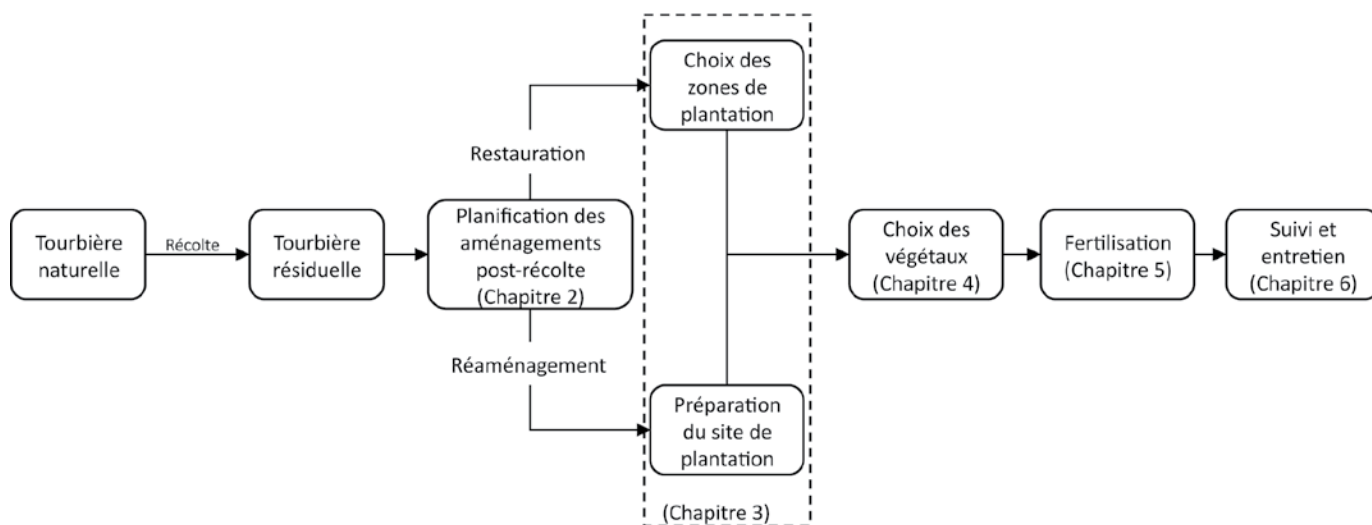


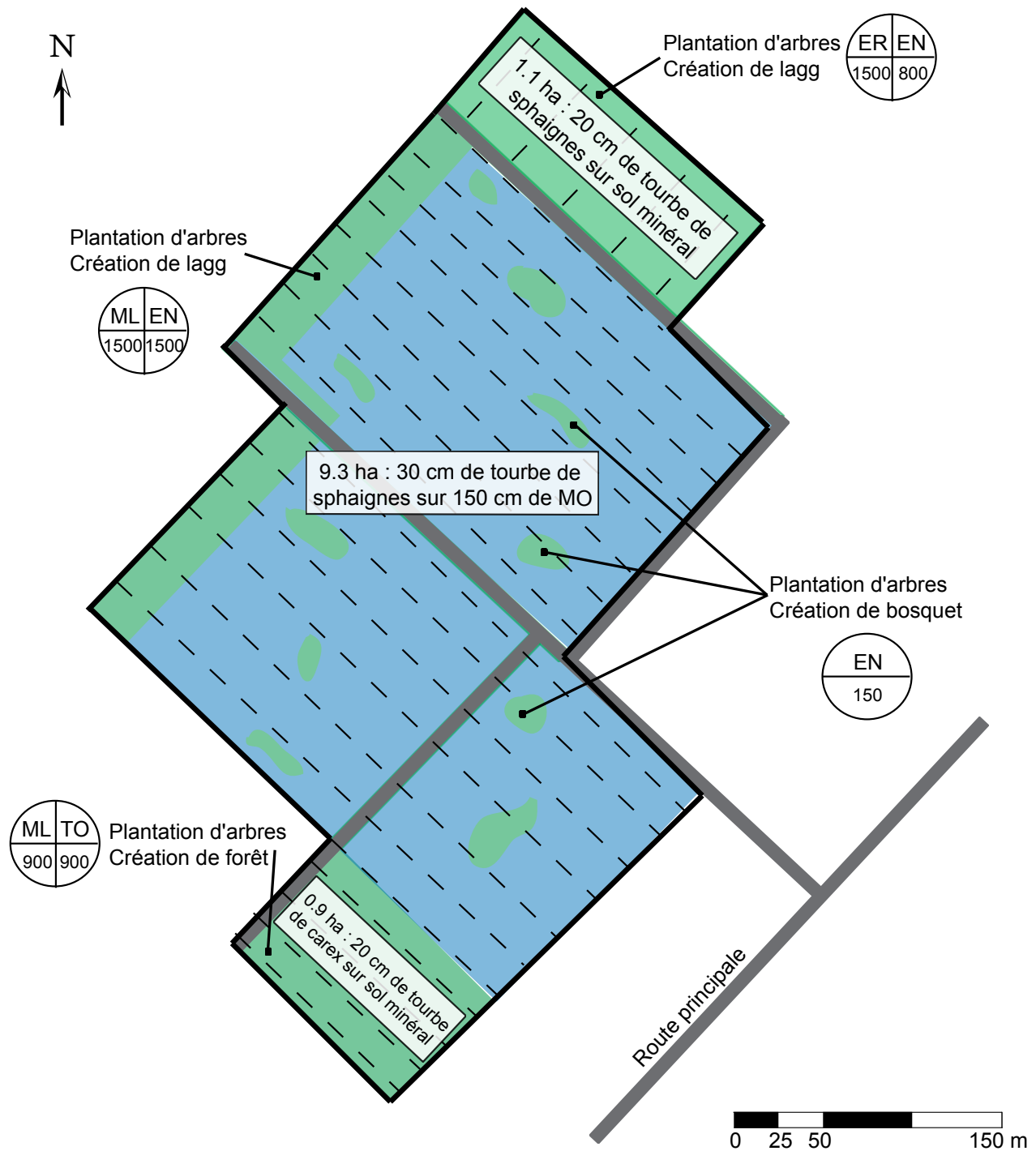
Figure 8. Schéma illustrant les différentes étapes d'un projet de plantation d'arbres.

RÉFÉRENCES ET SUGGESTIONS DE LECTURES COMPLÉMENTAIRES

- *Andersen, R., Grasset, L., Thormann, M. N., Rochefort, L. et Francez, A.-J. 2010. Changes in microbial community structure and function following *Sphagnum* peatland restoration. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 291-301.
- Aro, L. 2008. Cut-away peatlands in Forestry. Dans : Korhonen, R., Korpela, L. et Sarkkola, S. (éd.). *Finland – Fenland : Research and sustainable utilisation of mires and peat*. Finnish Peatland Society, Finlande, p. 207-211.
- Clarke, D. et Rieley, J. (éd.) 2010. Strategy for responsible peatland management. International Peat Society, Saarijärven, Finlande. 39 p. (disponible en ligne : www.peatsociety.org)
- Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada. 2010. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, Canada. 148 p. (disponible en ligne : www.biodivcanada.ca/ecosystemes)
- Graf, M. D., Bérubé, V. et Rochefort, L. (Sous presse). Chapter 14: Restoration of peatlands after peat extraction: impacts, restoration goals and techniques. Dans : Vitt, D. H. et Bhatti, J. (éd.) *Restoration and reclamation of boreal ecosystems*. Cambridge University Press. Cambridge, Royaume-Uni.
- *Graf, M. D., Rochefort, L. et Poulin, M. 2008. Spontaneous revegetation of harvested peatlands of Canada and Minnesota, USA. *Wetlands* 28: 28-39.
- Gouvernement du Canada, Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, Division de la science de terrains. 2002. Base canadienne de données sur les tourbières (fichiers numériques). Tiré de www.geogratis.gc.ca consulté en ligne le 25 mai 2011.
- *Groupe de recherche en écologie des tourbières. 2009. Production de petits fruits en tourbières. 2^e édition. Guide préparé sous la direction de L. Rochefort et L. Lapointe. Université Laval, Québec. 132 p.
- Joosten, H. et Clarke, D. (éd.) 2002. Wise use of mires and peatlands – background and principles for decision making. International mire conservation group and International Peat Society, Saarijärven, Finlande. 304 p.
- Lappalainen, E. 1996. Global peat resources. International Peat Society, Saarijärven, Finlande. 359 p.
- *Lucchese, M., Waddington, J. M., Poulin, M. Pouliot, R., Rochefort, L. et Strack, M. 2010. Organic matter accumulation in a restored peatland : evaluating restoration success. *Ecological Engineering* 36: 482-488.
- Payette, S. et Rochefort, L. (éd.) 2001. *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 621 p.
- *Poulin, M., Rochefort, L., Quinty, F. et Lavoie, C. 2005. Spontaneous revegetation of mined peatlands in eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 83: 539-557.
- *Quinty, F. et Rochefort, L. 2003. Guide de restauration des tourbières. 2^e édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, Canada. 119 p.
- Renou-Wilson, F. 2011. Optimal practices in the afforestation of cutaway peatlands. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Allemagne. 254 p.
- *Rochefort, L. et Lode, E. 2006. Restoration of boreal degraded peatlands. Dans : Wieder, R. K. et Vitt, D. H. (éd.) *Boreal peatland ecosystems*. Ecological Studies, vol. 188. Springer-Verlag, Berlin, Allemagne. P. 381-423.
- Secrétariat de la Convention Ramsar. 2006. Le manuel de la Convention Ramsar : guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971). 4^e édition. Gland, Suisse. 121 p. (disponible en ligne : www.ramsar.org)
- Strack, M. (éd.) 2008. Peatlands and Climate Change. International Peat Society, Saarijärven, Finlande. 223 p.
- Vasander, H., Tuittila, E.-S., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Heikkilä, R., Pitkänen, M.-L. et Laine, J. 2003. Status and restoration of peatlands in northern Europe. *Wetlands Ecology and Management* 11:51-63.
- Vasander, H. (éd.). 1996. Peatlands in Finland. Finnish Peatland Society, Helsinki, Finlande. 168 p.

* Document .pdf disponible en ligne : www.gret-perg.ulaval.ca sous l'onglet publications.





Plan d'aménagement

d'une section de tourbière
suite aux activités de récolte

CHAPITRE 2

PLANIFICATION DES AMÉNAGEMENTS APRÈS RÉCOLTE

Tous les projets de réaménagement devraient débuter par une planification rigoureuse. Cette étape permet de faire un choix parmi toutes les options d'aménagement qui sont possibles et d'évaluer le temps et les ressources nécessaires pour la mise en œuvre. Lors de la planification des aménagements sur tourbe résiduelle, la restauration écologique devrait être priorisée dans le contexte canadien puisque c'est l'option qui cadre le mieux avec les objectifs de la Convention sur la biodiversité et du Protocole de Kyoto. Les plantations peuvent être utilisées pour consolider la restauration écologique, par exemple en créant

des habitats fauniques ou en recréant le cortège floristique spécifique associé aux marges de tourbières.

Toutefois, lorsque le dépôt de tourbe possède une profondeur inférieure à 30 cm, le succès de la restauration écologique peut être compromis à cause de l'apport important de minéraux provenant du sous-sol. Dans de cas, des options de réaménagement autres que la restauration écologique, comme la plantation extensive d'essences forestières, doivent être considérées (Figure 9).

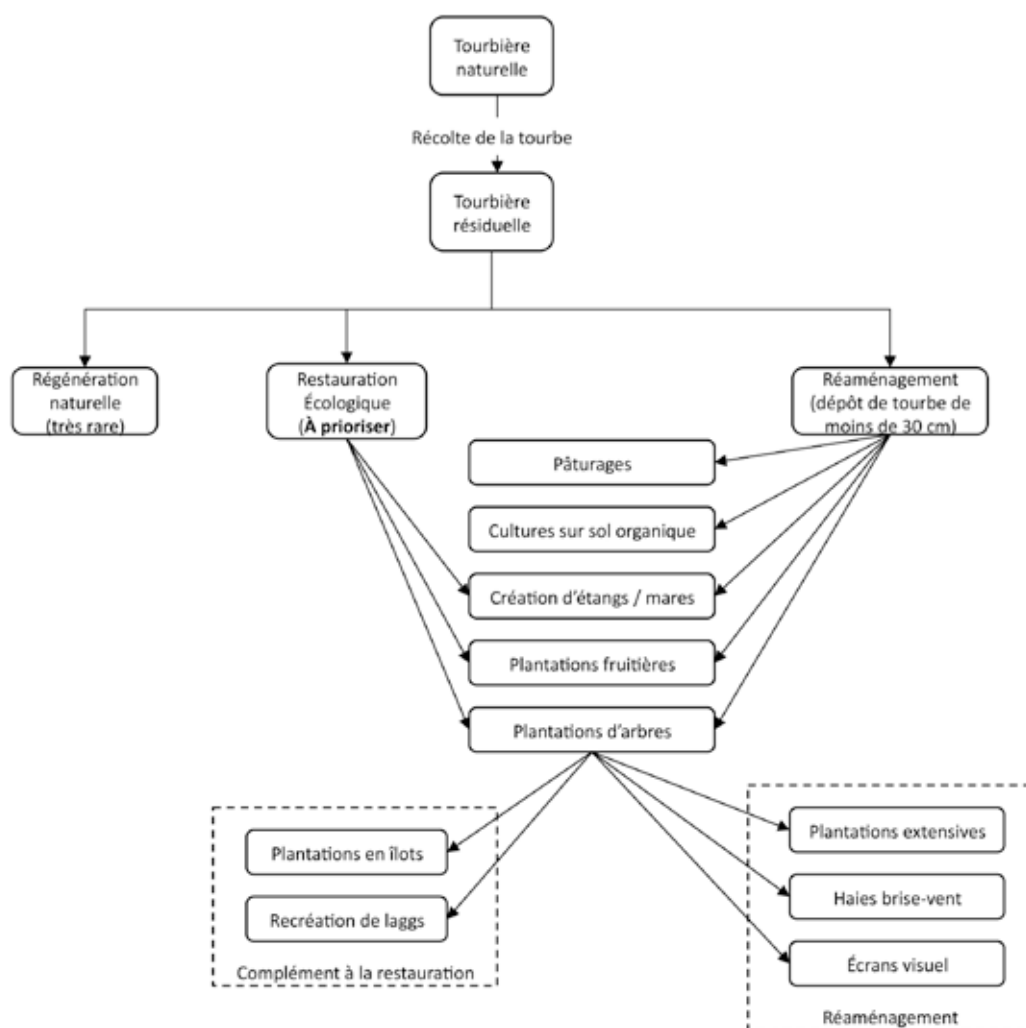


Figure 9. Schéma du choix de l'option d'aménagement.

DÉFINITION DES OBJECTIFS DE L'AMÉNAGEMENT

Il est important de bien cerner les objectifs de l'aménagement que l'on veut effectuer. La majorité des actions à poser et des décisions à prendre seront différentes qu'il s'agisse, par exemple, d'un projet visant la restauration écologique du site *versus* un projet visant l'établissement de haies brise-vent. La première étape est donc de faire consensus entre les différents acteurs du projet d'aménagement (gestionnaires, propriétaires, contremaîtres, consultants, conseillers en environnement, etc.) et de définir en termes clairs les objectifs d'aménagement du site, et ce, avant de passer à l'étape du plan d'aménagement.

SUGGESTION DE LECTURE

Avant d'arrêter votre choix final, nous vous suggérons de prendre connaissance du livre *Wise use of mires and peatlands* (Josten et Clarke 2002), du *Guide de restauration des tourbières* (Quinty et Rochefort 2003) et du guide *Production de petits fruits en tourbières, 2^e édition* (GRET 2009) qui pourront être utilisés de façon complémentaire au présent guide.

Importance d'un plan d'aménagement

Préalablement au réaménagement, il est important de préparer un plan afin de prendre dès le départ un certain nombre de décisions et d'avoir une vision claire et complète des étapes, des besoins, des coûts, de l'échéancier, et aussi d'éviter les mauvaises surprises.

Un bon plan de réaménagement comprendra :

- les objectifs d'aménagement préalablement déterminés;
- un plan à l'échelle où sont illustrés :
 - les superficies à planter ou à restaurer;
 - les espèces qui seront plantées;
 - l'espacement entre les plans;
 - le nombre de plants nécessaires pour chacun des végétaux choisis;
 - le système de drainage;
 - les secteurs naturels et en exploitation;

- les routes, les aires de circulation de la machinerie et les bâtiments;
- les éléments visuellement moins intéressants et auxquels il serait bon de faire écran;
- les vents dominants.
- le nom de la ou des personnes en charge;
- une liste détaillée des activités de préparation du site;
- un échéancier à moyen terme comprenant les dates prévues pour toutes les étapes relatives au projet d'aménagement : commande de matériel, préparation du site, plantation, fertilisation, suivi, etc.;
- un échéancier à long terme du site de récolte de la tourbe comprenant les prévisions pour les secteurs prochainement abandonnés avec les dates prévues d'abandon, de restauration et de plantation;
- un budget comprenant une liste détaillée des besoins en main-d'œuvre et en intrants : végétaux, fertilisants, outils de plantation, machinerie, etc.;
- une liste des fournisseurs;
- les indicateurs de performance à observer lors des suivis (la fiche de suivi devrait être élaborée lors de l'étape de planification; se rapporter à l'annexe 2 pour une fiche type et des indicateurs suggérés);
- les correctifs à apporter conséquemment aux performances obtenues (p. ex. : replantation, désherbage, refertilisation, etc.).

Il est recommandé que le plan d'aménagement fasse partie de l'élaboration du plan d'exploitation d'une tourbière. De cette façon, les choix des options et la séquence d'exécution des aménagements seront harmonisés avec la progression de la récolte de la tourbe sur le site. La gestion du site sera donc plus efficace; par exemple, le matériel végétal retiré à l'ouverture d'un nouveau secteur de récolte pourra servir à la restauration écologique de sections résiduelles, minimisant ainsi les coûts associés au transport et à la récolte de matériel végétal. L'élaboration hâtive du plan d'aménagement permet aussi de cibler les secteurs où les plantations forestières seraient préférables à la restauration écologique. Il est à noter que plusieurs types de réaménagements peuvent être appliqués sur un même site (voir la figure d'introduction au Chapitre 2). Les indicateurs de performance choisis dépendront des types d'aménagements choisis et de leurs buts.

PLANIFICATION DES PLANTATIONS

Une fois les objectifs et le plan d'aménagement bien définis, il est temps de planifier les plantations proprement dites. Cette étape devra être effectuée au moins deux ans à l'avance afin de couvrir les délais nécessaires pour la commande des végétaux et la préparation du site. Voici un exemple de calendrier de plantation :

Au moins un an et demi avant la plantation :

- Description du site de plantation
- Élaboration du plan de plantation
- Préparation du site
- Identification des végétaux à planter
- Estimation du nombre de plants requis
- Commande du matériel (végétaux, fertilisants, etc.)

Quelques mois avant la plantation :

- Suivi du site et ajustements si nécessaires
- Vérification auprès des fournisseurs (facturation, date de réception, etc.)
- Mandater un planteur professionnel et vérifier si on doit lui fournir un équipement supplémentaire
- Préparer un site d'entreposage des plants à leur arrivée si nécessaire
- Planification du suivi

Description du site de plantation

Épaisseur de tourbe résiduelle

Il est important de connaître, tout au moins de façon approximative, la profondeur du dépôt de tourbe, puisque celle-ci peut avoir des conséquences au niveau du drainage (chapitre 3) et également influencer la fertilisation (chapitre 5).

La profondeur de la tourbe résiduelle est généralement connue lors de l'arrêt des activités d'extraction. Dans le cas contraire, il est possible d'utiliser une tige filetée et sonder les planches en différents endroits afin de connaître la profondeur du dépôt résiduel (Figure 10). Il existe aussi une technique qui consiste à passer au radar le secteur de tourbière dont on veut connaître la profondeur (Écho tourbières vol. 15 n° 1 disponible sur www.gret-perg.ulaval.ca, onglet publications du GRET). Cette méthode est plus précise, mais est plus coûteuse et nécessite un équipement spécialisé.

PROTOCOLE POUR LA DÉTERMINATION DE LA PROFONDEUR DU DÉPÔT DE TOURBE RÉSIDUELLE À L'AIDE D'UNE TIGE FILETÉE.

Matériel nécessaire : Tige de métal filetée que vous aurez préalablement graduée (utilisez de la peinture) à tous les 5 cm, GPS et/ou plan de la tourbière, gallon à mesurer.

Échantillonnage :

- 1) Insérer manuellement la tige filetée dans la tourbe.
- 2) Lorsque le sol minéral est atteint, le manipulateur peut percevoir une différence au niveau de la texture du sol : pour un sous-sol meuble, on perçoit une soudaine résistance à la pénétration de la tige, et dans le cas du roc, la tige le frappe et il est impossible de pénétrer plus en profondeur. Attention de ne pas confondre de la glace, des souches, des branches, des débris divers ou de grosses roches avec le sous-sol minéral. En cas de doute, déplacez-vous de quelques mètres et réessayez.
- 3) Si le sous-sol est profond, par exemple de plus de 3 m, il peut être nécessaire de rajouter des tiges supplémentaires à l'aide d'écrous pour relier les sections de tige filetée.
- 4) Notez la profondeur de la tourbe au bon endroit sur la carte et/ou sur le GPS. Si vous avez ajouté des sections de tiges supplémentaires ou si vous n'avez pas préalablement gradué les tiges, tenir avec la main ou fixer une petite pince à l'endroit sur la tige correspondant à la surface de la tourbe avant de retirer la tige et de mesurer la profondeur au gallon.

Il est important de prévoir plusieurs sondages sur les sites résiduels afin de s'assurer d'avoir un portrait représentatif du site puisque la profondeur n'y est pas nécessairement constante. Les secteurs situés à la marge de la tourbière peuvent particulièrement varier et l'effort d'échantillonnage dans ces secteurs devrait être plus élevé qu'au centre de la tourbière.

Astuces :

- Pour aider à enfoncer la tige, portez des gants pour une meilleure prise ou utilisez des pinces;
- exercer une certaine rotation de la tige tout au long de l'opération peut faciliter sa pénétration dans la tourbe;
- faites d'une pierre deux coups en retirant délicatement la tige : vous trouverez peut-être au bout de la tige filetée un peu de matériel minéral qui permettra de confirmer que le sous-sol a bien été atteint et d'en déterminer la texture.



PHOTO : J. Bussières



PHOTO : V. Bérubé

Figure 10. Détermination de la profondeur du dépôt tourbeux à l'aide d'une tige filetée.

Analyse chimique de la tourbe

On recommande de faire une analyse chimique de la tourbe avant le début du projet de réaménagement (voir Annexe 1 pour le protocole d'échantillonnage). Les résultats d'analyse de la tourbe résiduelle devraient présenter des taux d'éléments minéraux similaires à ceux du Tableau 1 (voir Chapitre 3) et, en cas d'écarts importants, une correction devrait être apportée à la fertilisation recommandée au chapitre 5. Par exemple, pour un élément vraiment déficient dans la tourbe, on en haussera l'apport afin de prévenir une carence. À l'inverse, pour un élément qui est vraiment en excès dans la tourbe, on en réduira l'ajout puisque la quantité contenue dans le sol sera suffisante pour les besoins des arbres. Par ailleurs, un apport trop important d'un élément nutritif pourrait contaminer la

nappe phréatique. L'ajustement de la formulation du fertilisant devrait être fait à l'aide d'un spécialiste (agronome ou ingénieur forestier par exemple).

La composition chimique de la tourbe, de même que le degré de décomposition, influencera aussi le choix de l'option de réaménagement. Par exemple, dans le cas de la restauration écologique du site, ces deux caractéristiques influenceront, avec un ensemble d'autres facteurs, le type de tourbière à restaurer : *bog* ou *fen*. Le degré de décomposition de la tourbe est généralement connu lors de l'abandon de l'extraction, mais, si ce n'est pas le cas, il faut faire un test de von Post (voir encadré).

ÉCHELLE ORDINALE VON POST UTILISÉE POUR ÉVALUER LE DEGRÉ DE DÉCOMPOSITION DE LA TOURBE

(tiré de Payette et Rochefort, 2001)

FIBRIQUE

- H1** Tourbe non décomposée qui, lorsqu'on la presse dans la main, libère une eau presque limpide. Les résidus de plantes sont facilement identifiables. Ne contient aucun matériel amorphe.
- H2** Tourbe qui n'est pratiquement pas décomposée et qui, lorsqu'on la presse dans la main, libère une eau très peu colorée (brun-jaune). Les résidus de plantes sont encore facilement identifiables. Ne contient aucun matériel amorphe.
- H3** Tourbe très peu décomposée qui, lorsqu'on la presse dans la main, libère une eau trouble de couleur brun pâle. Aucun matériel ne s'échappe entre les doigts. Les résidus de plantes sont encore identifiables. Ne contient aucun matériel amorphe.

MÉSIQUE

- H4** Tourbe peu décomposée qui, lorsqu'on la presse entre les mains, libère une eau trouble de couleur brun foncé. Quelques particules de matériel passent entre les doigts, et le matériel pressé qui reste dans la main est légèrement collant. Les résidus de plantes sont encore identifiables, quoique certains critères d'identification aient disparu.
- H5** Tourbe décomposée qui, lorsqu'on la presse dans la main, laisse échapper une eau très trouble chargée de particules organiques. Le matériel pressé qui reste dans la main est collant. La structure des résidus de plantes est assez distincte.

- H6** Tourbe plutôt décomposée dont il est difficile de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, environ le tiers du matériel s'échappe entre les doigts. Il y a très peu d'eau libre, laquelle est boueuse. Ce qui reste dans la main est assez collant, mais l'identification des constituants se fait plus facilement qu'avant le pressage.

HUMIQUE

- H7** Tourbe décomposée dont il est difficile de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, environ la moitié du matériel passe entre les doigts. L'eau, s'il y en a, est très boueuse.
- H8** Tourbe très décomposée dont il est fort difficile de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, environ les deux tiers du matériel passent entre les doigts. Ce qui reste dans la main est principalement constitué de racines et de fibres qui résistent à la décomposition.
- H9** Tourbe presque entièrement décomposée dont il n'est presque plus possible de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, presque tout le matériel s'échappe entre les doigts sous forme de boue.
- H10** Tourbe complètement décomposée dont la structure des constituants est indiscernable. Lorsqu'on la presse dans la main, tout le matériel s'échappe entre les doigts.

Sous-sol minéral

Le sous-sol minéral aura une influence sur les arbres plantés, particulièrement si l'épaisseur du dépôt tourbeux est mince. D'abord, la grosseur des particules du sol, aussi appelé texture, aura des conséquences sur la fertilisation si l'épaisseur du dépôt tourbeux est assez mince pour que les racines des arbres rejoignent le sous-sol minéral. En effet, un sous-sol minéral constitué de sable contient peu de nutriments et ne pourra assurer les besoins nutritionnels des arbres sans fertilisation. À l'opposé, en présence d'un sous-sol minéral argileux, plus fertile, seule la fertilisation initiale pourrait être nécessaire pour des plantations, la nutrition subséquente étant assurée par le prélèvement des racines des arbres directement dans l'argile. La composition chimique du sous-sol minéral est donc particulièrement intéressante à connaître lorsque le dépôt résiduel de tourbe est inférieur à 30 cm et pourra aider à moduler l'application de fertilisant

Pour des sites dont l'épaisseur du dépôt résiduel est de moins de 2 m, il sera aussi important de savoir si le sous-sol minéral est imperméable (argile ou roc), ce qui retarde la percolation de l'eau dans le sol et augmente les risques d'inondation. Il faudra surveiller les signes de saturation en eau de la tourbe lors de crues (dégel printanier ou suivant une forte pluie), ce qui a une incidence sur la survie de plants forestiers (voir la section suivante sur le drainage).

La texture du sous-sol est parfois connue lors des activités de récolte de la tourbe. Dans le cas contraire, il faut procéder à l'échantillonnage. Pour déterminer sa composition chimique, l'échantillonnage du sous-sol minéral se fait de la même façon que pour la tourbe (Annexe 1). Elle est particulièrement importante à connaître pour les dépôts de tourbe minces (moins de 30 cm).

PROTOCOLE POUR LA DÉTERMINATION DE LA TEXTURE DU SOUS-SOL MINÉRAL

L'échantillonnage du sous-sol minéral s'effectue avec l'aide d'une pelle ou d'un carotteur lorsque la profondeur de la tourbe est inférieure à 1 m. L'échantillon récolté peut être acheminé à un laboratoire d'analyses afin d'en déterminer la texture exacte (ou classe texturale). Il est aussi possible pour un manipulateur expérimenté de déterminer manuellement la texture d'un sol. Lorsque le dépôt de tourbe est mince et lorsque c'est possible, nous conseillons de vérifier la texture du sous-sol sur une profondeur de 50 cm afin de détecter de possibles changements de structures qui pourraient influencer le drainage.

Lorsque la profondeur du dépôt résiduel est supérieure à 1 m, la classe texturale du sous-sol minéral peut être déterminée grossièrement à l'aide de la tige filetée. Lors du retrait de la tige, il est possible de récupérer des particules de sol minéral au bout et d'en évaluer manuellement la texture. Si on perçoit de petits grains entre ses doigts, il s'agit d'un sable. Si les grains sont très fins et possèdent une texture similaire à du glaçage de gâteau et tachent les doigts de brun, il s'agit d'un loam. Finalement, si les particules sont extrêmement fines et collantes, il s'agit d'argile.

Drainage

Le drainage influence directement le choix et le succès des aménagements. Il importe de bien évaluer si le réseau de drainage convient au projet de réaménagement et d'apporter des correctifs si nécessaire. Si aucune information n'est disponible concernant l'hydrologie du site, colligez certaines données durant l'année précédant les travaux afin de pouvoir faire des modifications au système de drainage si nécessaire. Les observations à noter sont :

- Les signes d'un drainage déficient lors de la fonte des neiges et à la suite de fortes pluies : l'accumulation d'eau en surface de la tourbe et le débordement des canaux de drainage.
- Le signe d'un drainage excessif du site : une surface fissurée résultant de l'assèchement de la tourbe en été.
- La hauteur de la nappe phréatique (distance entre le niveau du sol et le niveau d'eau) mesurée à l'aide de puits (tuyaux de PVC crépinés) ou en creusant un trou avec une pelle et en attendant une journée avant que le niveau d'eau se stabilise.

Ces données devraient être récoltées à **plusieurs endroits sur le site** et plusieurs fois durant l'année, sans oublier le printemps et l'automne, afin d'avoir un portrait précis du futur site de plantation.

TRUCS ET CONSEILS

Voir le *Guide de restauration des tourbières* (2^e édition) dans la section *Suivi de la restauration* pour les spécifications concernant l'installation des puits et la mesure du contenu en eau de la tourbe.

Proximité des activités d'extraction

La localisation du site de plantation par rapport aux secteurs périphériques où la tourbe est toujours récoltée influencera le plan d'aménagement du site. Au niveau du drainage, lorsqu'on doit nettoyer les canaux, comme c'est le cas pour une plantation visant la production de matière ligneuse, ceci a peu de conséquences pour le drainage des secteurs activement récoltés. À l'opposé, lors d'un projet de restauration, le blocage des canaux de drainage devra tenir compte du besoin en drainage des secteurs où la récolte est active. À titre d'exemple, un canal principal commun aux deux secteurs ne pourra être bloqué et donc le blocage des canaux secondaires drainant le secteur à restaurer devra être très efficace. On peut aussi envisager de retarder le projet jusqu'à ce que la récolte de la tourbe soit stoppée également sur les planches voisines et ainsi pouvoir restaurer le premier secteur abandonné. Bien que la restauration doit être priorisée, cet élément pourra influencer les décisions jusqu'au choix d'une autre option de réaménagement.

Un autre élément à considérer est la contamination possible de la tourbe des planches où la récolte est toujours active par des graines en provenance des secteurs réaménagés. Afin de réduire au maximum les risques de contamination, il est important d'enfouir le fertilisant au moment de la plantation pour empêcher l'envahissement par des espèces indésirables (voir Chapitre 5). Si on laisse le site réaménagé se couvrir d'espèces indésirables, on risque la contamination et il faudra dépenser beaucoup d'énergie et de ressources dans le contrôle.

Finalement, la cohabitation des deux types de secteurs présente des risques d'enfouissement des secteurs réaménagés par de la tourbe transportée par le vent : l'érosion éolienne transporte des particules de tourbe provenant des secteurs activement récoltés, qui ensuite se déposent et s'accumulent dans les secteurs aménagés. Des problèmes de mortalité sévère ont déjà été observés dans de vieilles plantations sur tourbière résiduelle à la suite de l'enfouissement des plants, fort probablement dans leurs premières années.

Ce phénomène est parfois inévitable, mais certaines mesures peuvent aider à le minimiser :

- Ne pas planter aux endroits où l'on observe déjà un phénomène important d'accumulation de tourbe transportée par le vent.
- Utiliser des plants de forte dimension (PFD; voir Chapitre 4) en bordure des secteurs à planter et suspectés d'être propices à l'accumulation de tourbe transportée par le vent. Faire une ceinture d'arbres (PFD) qui auront dès le début la capacité de surpasser l'accumulation de tourbe et qui serviront de brise-vent pour protéger le secteur réaménagé, en freinant le vent et en captant les particules de tourbe.
- Éviter dans la mesure du possible de mettre des sites d'entreposage de tourbe à ciel ouvert juste à côté des secteurs réaménagés.

TRUCS ET CONSEILS

Nous vous suggérons de photocopier la fiche de prise de données *Plantations – Description du site* présentée à l'Annexe 2 et de l'utiliser afin de colliger toutes les informations pertinentes. Une fiche devrait être remplie pour chaque secteur de plantation.

RÉFÉRENCES ET SUGGESTIONS DE LECTURES COMPLÉMENTAIRES

Andersen, R., Rochefort, L. et Landry, J. 2011. La chimie des tourbières du Québec : une synthèse de 30 années de données. *Le Naturaliste canadien*, 13 : 5-14.

* Groupe de recherche en écologie des tourbières. 2011. Mesures à l'aide du Radar à pénétration de sol à la tourbière de Bic – Saint-Fabien. *Écho tourbières*, vol 15, no 1.

* Groupe de recherche en écologie des tourbières. 2007. Production de petits fruits en tourbières. Université Laval, Québec. 134 p.

Joosten, H. et Clarke, D. (éd.). 2002. Wise use of mires and peatlands – background and principles for decision making. International mire conservation group and International Peat Society, Saarijärven, Finlande. 304 p.

Nations Unies. 1992. Convention sur la diversité biologique. Nations Unies Collection des Traités. 30 p. (disponible en ligne : www.cbd.int)

Nations Unies. 1998. Protocole de Kyoto à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. 23 p. (disponible en ligne : www.unfccc.int)

Ontario Ministry of Natural Resources. 1995. Planning for tree planting. Extension notes, Ontario, Canada, 4 p. (disponible en ligne : www.lronline.com/Extension_Notes_English/)

* Quinty, F. et Rochefort, L. 2003. Guide de restauration des tourbières, 2^e édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Québec, Canada. 119 p.

* Document .pdf disponible en ligne : www.gret-perg.ulaval.ca sous l'onglet publications.





CHAPITRE 3

PRÉPARATION DU SITE DE PLANTATION

Le simple abandon d'une tourbière à la fin des activités de récolte de la tourbe ne devrait jamais être envisagé. En effet, la régénération naturelle y est lente et, même après quelques décennies, les planches abandonnées ont souvent des allures désertiques, peu intéressantes au niveau esthétique ou comme habitat pour la faune (Figure 11). De plus, la tourbe exposée à l'oxygène atmosphérique s'oxyde, ce qui produit des émissions de carbone dans l'atmosphère. Les tourbières résiduelles sont intéressantes pour l'établissement de plantations, car le substrat est dépourvu de mauvaises herbes ou d'agents pathogènes, mais présentent un défi en raison de l'hydrologie qui est fluctuante et du substrat qui est acide et peu fertile. Des essais en Europe et en Amérique du Nord ont néanmoins démontré que certaines espèces d'arbres présentent un potentiel de croissance intéressant sur tourbe résiduelle pourvu que le drainage et la nutrition des arbres soient pris en charge. Par ailleurs, les plantations d'essences forestières offrent la possibilité d'améliorer l'esthétique des sites résiduels, de diversifier le paysage et d'en augmenter la biodiversité.

LE SUBSTRAT (TOURBE RÉSIDUELLE)

En Amérique du Nord, l'extraction commerciale vise généralement à obtenir de la tourbe peu décomposée. L'épaisseur de tourbe résiduelle est donc plus importante qu'en Europe où la tourbe, exploitée à des fins énergétiques, peut être prélevée jusque dans des couches plus décomposées. Cette différence

a une influence importante sur les caractéristiques physiques et chimiques de la tourbe, qui ne sont pas constantes tout au long du profil. La tourbe des couches profondes est généralement plus décomposée, possède une moins bonne capacité de rétention d'eau, est moins acide et contient plus de nutriments (Figure 12). Ainsi, les essais européens fournissent des indications quant aux espèces utilisées, aux méthodes de plantation et aux résultats attendus, mais ils doivent être adaptés au contexte nord-américain.

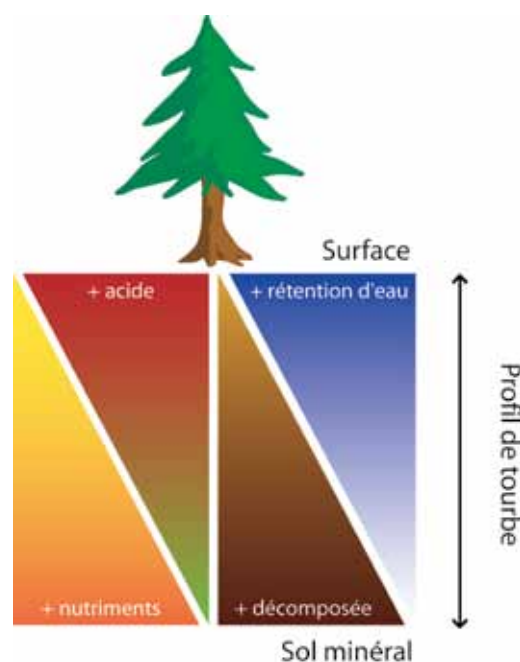


Figure 12. Caractéristiques physiques de la tourbe en fonction du profil.

Au point de vue physique

Lorsque cesse la récolte de la tourbe, les surfaces abandonnées sont caractérisées par l'absence totale de végétation, de graines ou de propagules. La tourbe, laissée à nu, est soumise à l'érosion par le vent ou l'eau et à l'oxydation par l'oxygène de l'air. La tourbe possède une bonne capacité de rétention d'eau, qui diminue graduellement au fur et à mesure que le degré de décomposition augmente. Elle agit aussi comme un isolant thermique efficace, ce qui signifie que le gel persiste longtemps au printemps dans le sol. Finalement, la température à la surface du sol peut être relativement élevée durant l'été, car la couleur foncée de la tourbe absorbe de façon importante les rayons solaires.



Figure 11. Tourbière abandonnée après récolte de la tourbe par aspiration au Nouveau-Brunswick.

À l'automne et au printemps, lorsque le temps est clair et sans nuages et que les températures nocturnes oscillent près du point de congélation, certains secteurs peuvent être soumis au soulèvement gélival (Figure 13) : la nuit, des cristaux de glace se forment sous la tourbe, la soulevant de quelques centimètres, et le jour, lorsque les températures se réchauffent, la glace fond et les particules de sol se retrouvent déplacées par rapport à leur point d'origine. Ce phénomène nuit à l'établissement de la végétation en déracinant les jeunes plantules.



Figure 13. Le soulèvement gélival crée une microtopographie particulière par la formation de cristaux de glace sous les particules de tourbe.

Au point de vue chimique

La tourbe résiduelle de sphaigne est généralement acide (pH inférieur à 5,1) et présente une faible conductivité électrique. La forte acidité de la tourbe influence la disponibilité de nombreux éléments nutritifs. De façon générale, le contenu en éléments nutritifs de la tourbe est faible et insuffisant pour la croissance des arbres (Tableau 1). La majorité de l'azote contenu dans la tourbe est immobilisée dans la matière organique et n'est pas disponible pour la croissance des plantes puisque l'activité des microorganismes qui décomposent la matière organique est généralement faible dans les conditions anaérobies des tourbières naturelles. La quantité de phosphore dans la tourbe résiduelle est très faible. En raison de l'acidité de la tourbe et des conditions anaérobies, une grande partie du phosphore contenu dans la tourbe est immobilisée et non assimilable pour les plantes. Par ailleurs, la tourbe contient une trop grande

quantité d'azote par rapport à celle du phosphore : ratio N:P de 100:2 à 100:4 alors que le ratio idéal pour la croissance des arbres est de 100:10 à 100:13. La nutrition des arbres est donc déséquilibrée, c'est-à-dire qu'ils manquent de phosphore par rapport à la quantité d'azote assimilée. Finalement, la tourbe résiduelle est aussi déficiente en potassium, car celui-ci est très faiblement retenu par les particules de sol et est facilement lessivé hors du site.

Tableau 1. Moyennes et écart-types de la concentration d'éléments chimiques totaux (mg/g) et disponibles (µg/g) ainsi que du pH et de la conductivité électrique (µS/cm) de la tourbe pour la moyenne canadienne des tourbières après récolte de tourbe¹.

Élément nutritif	Total	Disponible ²
Azote (N)	9,79 (3,33)	N-NH ₄ : 511,03 (344,08) N-NO ₃ : 46,40 (44,83)
Phosphore (P)	0,23 (0,13)	23,80
Potassium (K)	0,24 (0,08)	44,48
Calcium (Ca)	4,38 (2,93)	5361,52
Magnésium (Mg)	1,32 (0,38)	855,21
Sodium (Na)	0,76 (0,69)	475,69
Fer (Fe)	1,10 (0,57)	ND ³
pH	4,4 (0,9)	
Conductivité électrique	64 (6)	

¹ Données tirées de : Andersen *et al.* (en préparation). A referece system for peat and water chemistry in peatlands of Canada and Alaska.

² Des données ont été récoltées seulement pour le Québec, le Nouveau-Brunswick et l'Alberta.

³ Non disponible.

ÉLÉMENT NUTRITIF DISPONIBLE VERSUS ÉLÉMENT NUTRITIF TOTAL

Seule une fraction de la quantité totale d'un élément contenu dans le sol peut être absorbée et assimilée par la plante. Il s'agit des **éléments nutritifs assimilables** échangeables ou disponibles. En effet, une grande partie des nutriments contenus dans le sol est fortement liée aux particules de sol sous forme de matière organique. L'action graduelle des bactéries qui décomposent la matière organique libère ces éléments, alors disponibles pour la croissance des plantes. Les **éléments nutritifs totaux** contenus dans le sol comprennent donc les éléments nutritifs liés aux particules de sol et ceux qui sont assimilables.

Le contenu en éléments nutritifs de la tourbe est variable dans le profil (voir Figure 12). La tourbe plus décomposée située plus en profondeur contient davantage d'éléments nutritifs que la tourbe de sphaigne localisée dans les parties supérieures du profil. La nature du sous-sol minéral peut aussi avoir une influence sur la quantité de nutriments présents dans la tourbe, et ce, sur les derniers 10 à 30 cm de tourbe. À titre d'exemples, des expériences finlandaises ont montré qu'un sous-sol argileux contient généralement plus de phosphore, ce qui favorise la croissance des arbres (Aro et Kaunisto 1998). À l'opposé, un sable sous-jacent n'a eu aucun effet sur la croissance alors qu'un dépôt morainique acide sous-jacent a même produit des effets négatifs sur des plantations en tourbière résiduelle (Kaunisto 1997).

L'HYDROLOGIE

De façon générale, les canaux de drainage qui abaissent la hauteur de la nappe phréatique durant la récolte de la tourbe sont espacés de 30 à 40 m et ont une influence sur une distance de 10 à 20 m, de part et d'autre du canal. Ils peuvent rester actifs plusieurs années après l'abandon des activités d'extraction (Figure 14). La superficie comprise entre les canaux, généralement bombée vers le centre pour un meilleur drainage, est appelée planche de récolte. Par ailleurs, un canal

profond en bordure d'une tourbière naturelle peut avoir une influence de drainage superficiel (c.-à.-d. sur les 10 à 25 premiers centimètres à partir de la surface) jusqu'à 60 m à l'intérieur de la tourbière.

La nappe phréatique est généralement basse durant la saison estivale, mais peut fluctuer grandement au courant de l'année. Malgré la présence de canaux, les risques d'inondation sont réels particulièrement à la fonte des neiges ou si les canaux se bouchent. Le blocage des canaux de drainage constitue une étape primordiale pour la restauration des tourbières et la survie de la sphaigne. Toutefois, le maintien du système de drainage est préférable pour l'établissement de plantations forestières. Ainsi, il est très important de définir lors de la planification quels sont les buts de plantation, car les opérations de préparation du terrain dépendent du type d'aménagement choisi.



Figure 14. Canal de drainage entre deux planches de récolte.

PHOTO : G. Caisse

Les avantages du drainage

Le drainage est couramment utilisé en foresterie pour augmenter le succès des plantations sur terrains humides. En tourbière naturelle, l'abaissement de la nappe phréatique par le drainage améliore généralement le potentiel forestier (augmentation du couvert forestier, de la survie et de la croissance). Lors des plantations, la profondeur visée de la nappe phréatique est de **plus de 30 cm pour de la tourbe de sphagne** et d'au moins 50 cm sous la surface pour la tourbe de carex.

Dans les tourbières résiduelles, le maintien d'un bon système de drainage favorise aussi la survie et la croissance des arbres. Le drainage améliore l'aération de la tourbe, ce qui favorise l'activité microbienne de minéralisation de la matière organique et permet une plus grande disponibilité des éléments nutritifs. Le drainage augmente aussi la température du sol et par conséquent la longueur de la saison de croissance, car le substrat se réchauffe plus vite au printemps. Finalement, les arbres plantés sur sols bien drainés développent généralement un système racinaire plus profond et plus complexe que ceux plantés sur sols humides, ce qui leur est bénéfique.

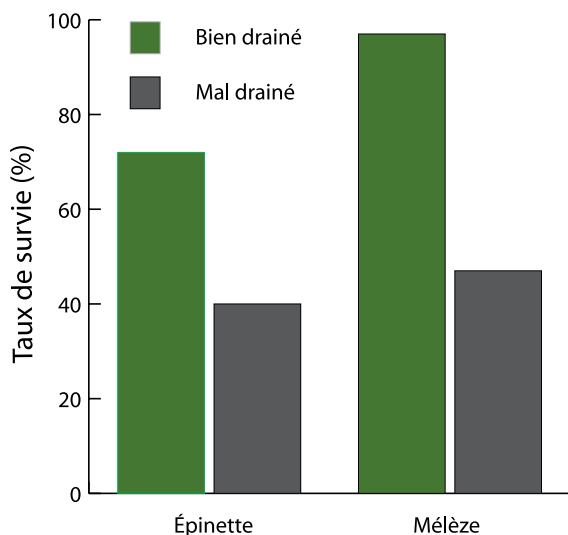


Figure 15. Graphique illustrant l'effet du drainage sur la survie de deux espèces d'arbres plantés en tourbières résiduelles. Données adaptées de Caisse (2007).

Drainage insuffisant

Un drainage insuffisant nuit au bon développement à la croissance des racines : lorsqu'elles se trouvent submergées durant de longues périodes, elles manquent d'oxygène et peuvent mourir par asphyxie. Le taux de survie des arbres plantés dans des sites mal drainés est d'ailleurs largement inférieur à celui observé dans des sites bien drainés (Figure 15).

Drainage trop prononcé

Un système de drainage qui abaisse trop la nappe phréatique entraîne un stress hydrique pour les plantes, qui se traduit par un faible taux de survie et une croissance lente. L'oxydation de la tourbe est également accélérée, augmentant ainsi les émissions de gaz carbonique (CO₂) de la tourbe, ce qui n'est pas considéré comme une gestion responsable de l'écosystème en aménagement.

OPÉRATIONS DE PRÉPARATION

La préparation du site diffère selon l'objectif des plantations (Figure 16). Dans le cas où seules des plantations d'essences forestières sont prévues, les opérations de préparation du sol visent à faciliter l'enracinement des arbres et à optimiser les conditions de croissance des plants. En ce qui concerne les plantations complémentaires à la restauration, les opérations de préparation visent à remouiller le site et créer des conditions de croissances optimales pour les sphaignes ou les mousses brunes. Ces conditions ne seront toutefois pas optimales pour la croissance des arbres.

TRUCS ET CONSEILS

Utilisez la fiche de prise de données *Plantations – Opérations de préparation* (Annexe 2) afin de noter la date, la durée et la description des opérations de préparation qui ont été effectuées préalablement aux plantations.

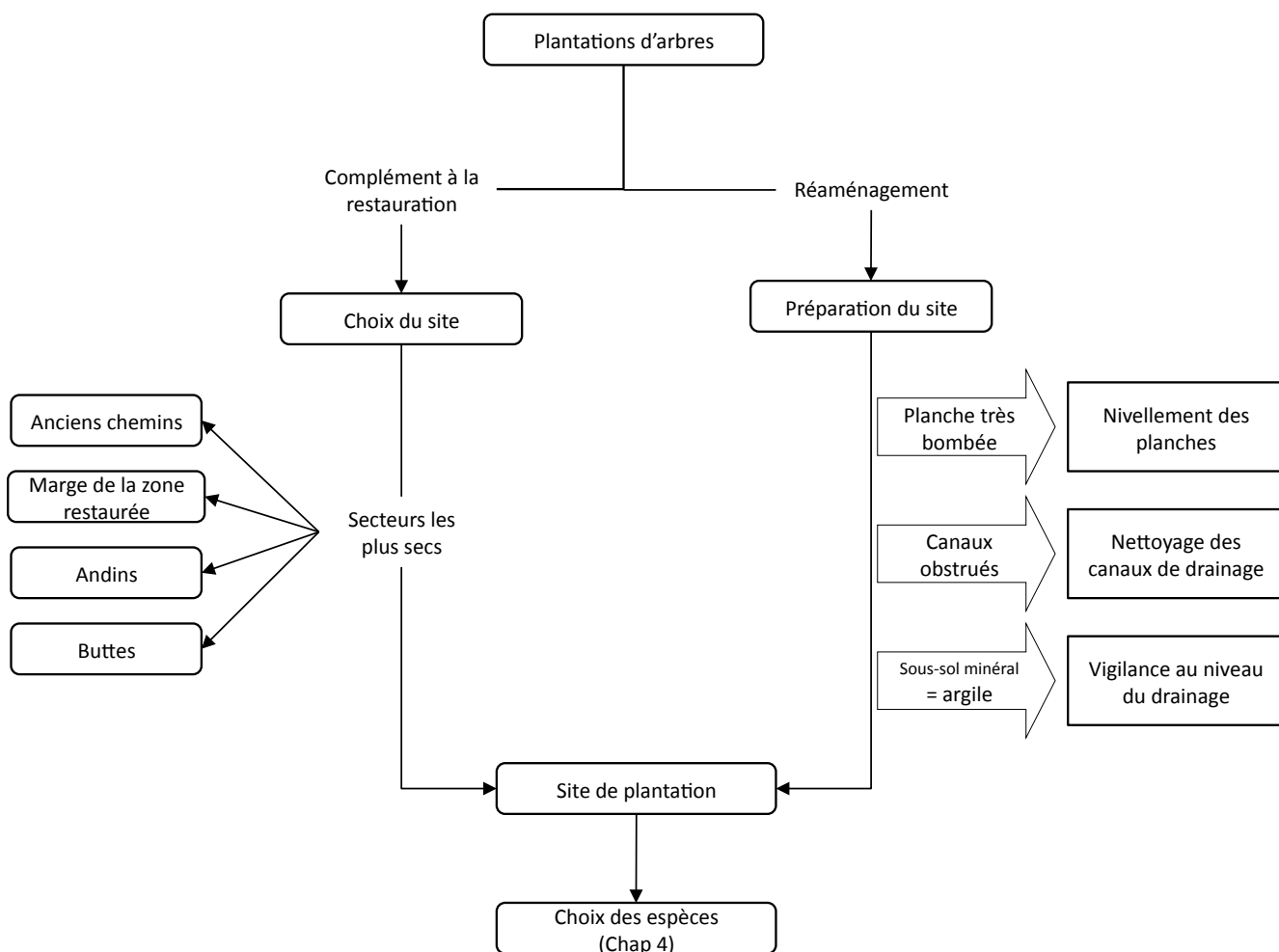


Figure 16. Schéma illustrant les opérations de préparation du site.

Plantation comme complément à la restauration

Si l'aménagement prévu est une restauration écologique avec plantations forestières sous forme d'îlots boisés, le drainage devra être bloqué pour assurer le remouillage du site. Les conditions hydrologiques seront alors généralement mauvaises pour la croissance des arbres puisque la nappe phréatique sera de moins de 40 cm sous la surface du sol. Dans un tel cas, il est important de planter les arbres sur des buttes (microsites) ou des secteurs plus élevés (par exemple sur les andains) de façon à ce que la nappe phréatique y soit assez basse pour permettre leur survie et leur croissance. Les taux de croissance attendus sont plus faibles qu'en sol minéral, mais cette situation est tolérable puisque l'on cherche à recréer les conditions naturelles des tourbières dans lesquelles la croissance des arbres est faible.

Dans le cas de plantations d'arbres ayant pour but de recréer un lagg, il faut localiser les plantations au pourtour des zones restaurées. Il est aussi envisageable d'effectuer les plantations d'une façon similaire à la sylviculture et de bloquer les canaux après une ou deux saisons de croissance, c.-à-d. après que les arbres soient bien implantés. Il faut cependant s'assurer de laisser de l'espace pour la circulation de la machinerie lors du remouillage du site.

Plantation comme option de réaménagement

Selon les caractéristiques locales, certaines opérations de préparation doivent être effectuées afin d'améliorer le site de plantation (Figure 16). Il est essentiel de **nettoyer les canaux de drainage** si ceux-ci sont partiellement ou complètement comblés. On doit s'assurer que tous les canaux situés à proximité du site de plantation soient fonctionnels sur une profondeur variant de 70 à 90 cm, ce qui peut être fait avec une pelle rétrocaveuse. Dans le cas où le réseau de canaux ne suffit pas à drainer efficacement certains secteurs du site de plantation, les canaux existants peuvent être approfondis ou un nouveau canal peut être creusé.

Si le centre des planches est très bombé par rapport au bord des canaux, il pourrait être avantageux de modifier la topographie des planches pour adoucir la forme bombée au profit d'un profil plus plat. Les planches de profil convexes créent des conditions de sécheresse au centre et un fort ruissellement vers les canaux. Des planches planes réduiront le ruissellement vers les canaux et favoriseront une distribution plus uniforme de l'eau. L'opération consiste à déplacer une quantité variable

de tourbe du centre des planches vers les côtés, ce qui peut être fait avec une niveleuse (vis sans fin). Il est toutefois important de ne pas déverser la tourbe de surplus dans les canaux afin de maintenir un drainage optimal du site.

En marge du drainage par le réseau de canaux, la tourbe elle-même joue un rôle au niveau de l'hydrologie d'un site. Une tourbe bien aérée est toujours plus efficace pour capter l'eau et la redistribuer qu'une tourbe qui aurait été compactée. Ainsi, il est important de restreindre les passages répétés de machinerie au moment où la tourbe est gorgée d'eau (au printemps, après une pluie...) afin d'éviter de réduire la conductivité hydraulique, et ce, tant avant qu'après la plantation.

EN BREF

Il faut retenir qu'une tourbe bien aérée et un bon taux d'humidité tout au long de la saison de croissance de même qu'une grande épaisseur de tourbe au-dessus de la nappe phréatique favorisent une meilleure croissance des essences forestières et que le degré d'entretien du réseau de drainage dépend du but de la plantation.

RÉFÉRENCES ET SUGGESTIONS DE LECTURES COMPLÉMENTAIRES

Aro, L. et Kaunisto, S. 1998. Forestry use of peat cutaway areas in Finland. Dans : The spirit of peatlands – 30 years of the International Peat Society. Proceedings of the International Peat Symposium. Jyväskylä, Finlande, 7 au 9 septembre 1998. Sous la direction de Sopo, R. p. 185-187.

Caisse, G. 2007. Importance de la fertilisation lors du boisement des tourbières résiduelles. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec. 71 p.

* Groeneveld, E. V. G., Rochefort, L. 2005. *Polytrichum strictum* as a solution to frost heaving in disturbed ecosystems: a case study with milled peatlands. Restoration Ecology 13(1): 74-82.

Kalra, Y. P. et Maynard, D. G. 1992. Méthode d'analyse des sols forestiers et des tissus végétaux. Forêts Canada, Centre de Foresterie du Nord, Edmonton, Canada. Rapport d'information NOR-X-319F. (disponible en ligne : www.cfs.nrcan.gc.ca/publications/)

Kaunisto, S. 1997. Peatland forestry in Finland: problems and possibilities from the nutritional point of view. Dans : Trettin, C. C., Jurgenssen, M. F., Grigal, D. F., Gale, M. R. et Jeglum, J. K. (éd.). Northern forested wetlands ecology and management. CRC Lewis Publishers Boca Raton. P. 387-401.

* Landry, J. et Rochefort, L. 2011. Le drainage des tourbières : impacts et techniques de remouillage. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec, Canada. 53 p.

Ontario Ministry of Natural Resources. 1995. Clearing the way: preparing the site for tree planting. Extension notes, Ontario, Canada, 4 p. (disponible en ligne : www.lrconline.com/Extension_Notes_English/)

Payette, S. et Rochefort, L. (éd.). 2001. Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada. 621 p.

Renou-Wilson, F. 2011. Optimal practices in the afforestation of cutaway peatlands. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Allemagne. 254 p.

* Document .pdf disponible en ligne : www.gret-perg.ulaval.ca sous l'onglet publications.



CHAPITRE 4

CHOIX ET PLANTATION DES VÉGÉTAUX

En Amérique du Nord, les premiers essais de plantations d'essences forestières sur tourbière résiduelle ont commencé au début des années 1990. Différentes essences forestières ont été expérimentées au fil des ans (Figure 17). Le présent chapitre regroupe l'ensemble de l'information quant aux espèces à choisir et à la façon de les planter en tourbières résiduelles nord-américaines. Cette information est basée sur les résultats d'essais menés par le GRET ou de plantations issues d'initiatives de gestionnaires de l'industrie de la tourbe horticole.

CHOIX DE L'ESPÈCE

Les diverses essences forestières ne conviennent pas à tous les types d'aménagement. L'information à connaître pour faire votre choix parmi les espèces actuellement recommandées en tourbières résiduelles nord-américaines est présentée à la Figure 18 et dans les fiches descriptives pour chacune des espèces.

SUGGESTION DE LECTURE

Nous vous recommandons de consulter le livre *Les arbres du Canada* (Farrar, 1996) afin d'en apprendre plus concernant l'identification des différentes essences forestières présentées dans les fiches.



Figure 17. Plantation de mélèzes de Pointe-au-Père (Bas-Saint-Laurent, Québec) sept ans après la mise en terre des plants.

PHOTO : S. Hugron

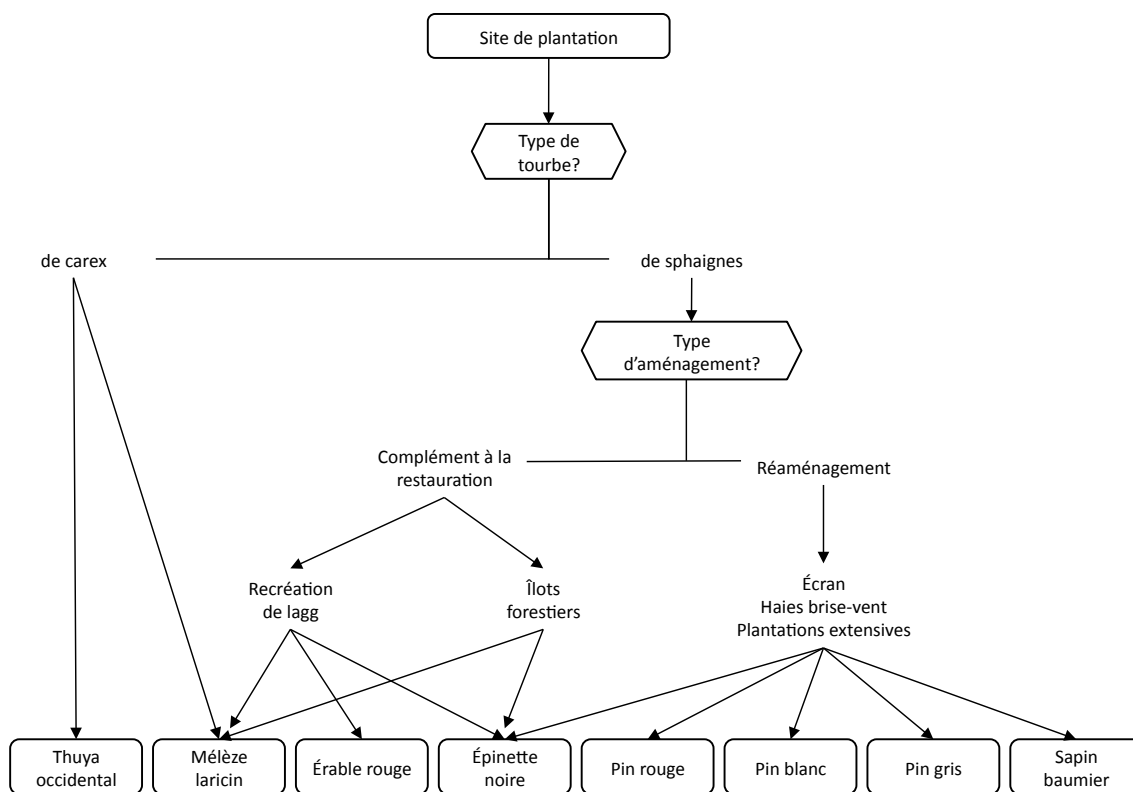


Figure 18. Schéma du choix des espèces selon les caractéristiques du site.

De façon générale, nous vous conseillons d'utiliser des espèces indigènes à la région de plantation. Dans le cas de plantations qui ont pour but de compléter la restauration écologique, il est recommandé de choisir des espèces présentes dans les tourbières naturelles de la région. Il est aussi important de respecter la zone de rusticité des essences choisies et de ne pas les planter en zone trop froide (Figure 19). Ainsi, une espèce comme l'érable rouge qui appartient à la zone de rusticité 3a éprouverait des problèmes au niveau de la survie et de la croissance si elle était plantée plus au nord, dans une zone de rusticité 2b. À l'inverse, planter une espèce plus nordique dans un climat tempéré permet généralement une survie et une croissance acceptables, voire supérieures (p. ex. : une épinette noire, de zone de rusticité 1a, plantée dans le sud du pays).

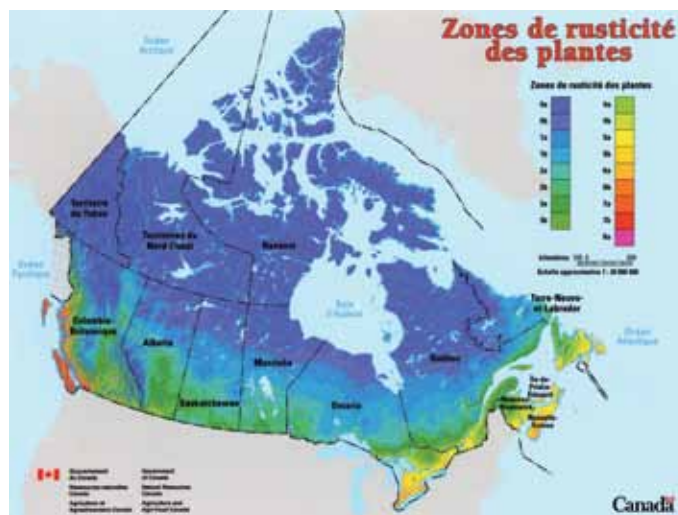


Figure 19. Zones de rusticité des plantes au Canada (tiré de : www.planthardiness.gc.ca).

Abies balsamea (Sapin baumier)

Nom anglais : Balsam fir | Famille : Pinacées

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité¹

Hauteur : 18 à 25 m | Largeur : 7 m | DHP² : 70 cm

Vitesse de croissance : lente

Âge maximal moyen : 150 à 200 ans

Enracinement : superficiel

Susceptibilité aux maladies : peu problématique

Susceptibilité aux ravageurs : moyenne à élevée; principalement au puceron lanigère et à la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Tolérance à la compétition : élevée, peut s'établir même à l'ombre

HABITAT

Zone de rusticité : 1a

Habitat naturel : habitats divers, préfère les climats froids et humide

Drainage : humidité moyenne (bien drainé à humide)

Texture : graveleuse à sablo-loameuse ou sol organique

pH : légèrement à fortement acide

Exposition : soleil ou mi-ombre

REPRODUCTION

Fruits : cônes

Âge de la maturité sexuelle : 20 à 30 ans

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Espèce non préférentielle aux tourbières, donc son utilisation dans les projets de restauration est déconseillée.

Réaménagement : Efficace comme haie brise-vent ou comme écran grâce à son feuillage persistant. Valeur ornementale intéressante, espèce notamment utilisée comme arbre de Noël.



PHOTO : G. Ayotte

FERTILISATION

Aucune expérience n'a été menée par le GRET. Il existe cependant des plantations par un producteur de sapins de Noël ayant donné de bons résultats de croissance sur tourbe, mais aucune donnée concernant la fertilisation des arbres n'est disponible.

SAVIEZ-VOUS QUE?

Malgré son nom, la tordeuse des bourgeons de l'épinette préfère se nourrir de sapin baumier et peut causer beaucoup de dommages dans une plantation de sapins. De plus, cette espèce est particulièrement susceptible aux dommages par le feu, car ses aiguilles, son écorce et sa résine sont hautement inflammables.



PHOTO : S. Hugron

¹ Pour toutes les espèces, la taille à maturité sur sol organique humide sera inférieure à la moyenne présentée dans les fiches, car cette dernière représente la taille à maturité en conditions optimales, soit généralement sur sol minéral bien drainé.

² Diamètre à hauteur de poitrine.

Acer rubrum (Érable rouge)

Nom anglais : Red maple | Famille : Acéracées



PHOTO : G. Ayotte

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité

Hauteur : 18 à 20 m | Largeur : 15 m | DHP : 46 à 76 cm

Vitesse de croissance : moyenne; hauteur moyenne de 81 cm après trois années de plantation sur tourbe résiduelle

Âge maximal moyen : 150 ans

Enracinement : superficiel

Susceptibilité aux maladies : peu problématique

Susceptibilité aux ravageurs : peu problématique

Tolérance à la compétition : moyenne à élevée, tolère l'ombre

HABITAT

Zone de rusticité : 3a

Habitat naturel : milieux humides comme les marécages et les laggs

Drainage : sol dont l'humidité est élevée

Texture : argileuse ou organique

pH : acide

Exposition : soleil ou mi-ombre

REPRODUCTION

Fruits : di-samarres

Âge de la maturité sexuelle : environ 4 ans

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Espèce intéressante pour la création de laggs (marges forestières de tourbière).

Réaménagement : En écran ou en haie-brise vent en alternance avec des résineux. Valeur ornementale très élevée puisque son feuillage devient entièrement rouge à l'automne.

FERTILISATION

Formulation recommandée par plant	Taux de survie attendu	Croissance attendue Hauteur arbre (3 ans)
490 g de 3.4-19-29.2	Environ 70 %	92 cm
Si aucune fertilisation	Environ 70 %	38 cm

PARTICULARITÉS DE PLANTATION

Il est préférable de planter l'érable rouge au printemps plutôt qu'à une autre période de l'année. Par ailleurs, si le but de la plantation est d'optimiser le taux de survie des arbres plutôt que la croissance, aucune fertilisation n'est nécessaire.



PHOTO : S. Hugron



Larix laricina (Mélèze laricin)

Nom anglais : Tamarack | Famille : Pinacées

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité

Hauteur : 15 à 23 m | Largeur : 10 m | DHP : 36 à 51 cm

Vitesse de croissance : moyenne; la hauteur des arbres peut atteindre 4,6 m neuf ans après la plantation sur tourbe résiduelle

Âge maximal moyen : 150 à 180 ans

Enracinement : superficiel

Susceptibilité aux maladies : peu problématique

Susceptibilité aux ravageurs : peu problématique

Tolérance à la compétition : faible, d'où l'importance du désherbage les années suivant la plantation

HABITAT

Zone de rusticité : 1a

Habitat naturel : milieux humides (tourbière, marécage, lagg) à bien drainés

Drainage : humidité moyenne à élevée

Texture : argileuse, loameuse, sableuse ou organique

pH : alcalin à acide

Exposition : plein soleil

REPRODUCTION

Fruits : cônes

Âge de la maturité sexuelle : dès 4 ans, mais la production est optimale à 75 ans

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Création d'îlots boisés et de laggs pour les projets de restauration écologique de fen et de bog.

Réaménagement : Peut être planté en haies brise-vent en alternance avec des espèces à croissance plus lente. Son efficacité dans les haies brise-vent est moindre en hiver, car son feuillage est caduc. À considérer pour les plantations en bordure du réseau routier, car il est résistant au sel de déglacage. Valeur ornementale intéressante en raison du changement de couleur de son feuillage à l'automne.

FERTILISATION

Formulation recommandée par plant	Taux de survie attendu	Croissance attendue Flèche terminale (2 ans)
10 g de 11-17-9 10 g de 20-10-15 10 g de 20-11-9	Supérieur à 90 %	10 à 20 cm
10 g de 18-17-15	Supérieur à 90 %	30 cm
Si aucune fertilisation	Environ 80 %	1 cm

PARTICULARITÉS DE PLANTATION

Espèce qui affiche les taux de croissance les plus élevés parmi toutes celles expérimentées sur tourbe résiduelle, ce qui la rend particulièrement intéressante pour les projets de réaménagement. Le mélèze est une essence à forte évapotranspiration, ce qui doit être pris en considération pour les projets de restauration écologique puisqu'une grande quantité de plants pourrait causer un rabattement local de la nappe phréatique dans des sites dont le remouillage n'est pas optimal.



PHOTO : G. Ayotte

PHOTO : G. Ayotte

Picea mariana (Épinette noire)

Nom anglais : Black spruce | Famille : Pinacées



PHOTO : G. Ayotte

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité

Hauteur : 20 m | Largeur : 5 m | DHP : 30 cm

Vitesse de croissance : lente; en tourbière résiduelle, les plus vieilles plantations atteignent 1,5 à 4 m après 10 ans

Âge maximal moyen : 200 ans

Enracinement : superficiel

Susceptibilité aux maladies : peu problématique

Susceptibilité aux ravageurs : peu problématique

Tolérance à la compétition : faible, d'où l'importance du désherbage dans les années suivant la plantation

HABITAT

Zone de rusticité : 1a

Habitat naturel : forêt boréale et sites humides dont les tourbières à sphaignes

Drainage : humide à bien drainé

Texture : organique

pH : acide

Exposition : soleil ou mi-ombre

REPRODUCTION

Fruits : cônes

Âge de la maturité sexuelle : environ 30 ans

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Création d'îlots boisés et de laggs pour les projets de restauration écologique de bogs.

Réaménagement : Efficace comme haie brise-vent ou comme écran grâce à son feuillage persistant. Puisque sa croissance est lente, l'épinette peut être plantée en alternance avec des espèces à croissance rapide pour obtenir des résultats plus hâtifs. Les plants d'épinettes peuvent ensuite être favorisés lors de coupes sélectives.

FERTILISATION

Formulation recommandée par plant	Taux de survie attendu	Croissance attendue Flèche terminale (2 ans)
10 g de 11-17-9 10 g de 20-10-15 10 g de 20-11-9	Supérieur à 80 %	Supérieure à 6 cm
Si aucune fertilisation	Environ 50 %	3 cm

PARTICULARITÉS DE PLANTATION

Espèce arborescence la plus abondante dans les tourbières ombrotrophes nord-américaines. Les essais de plantations sur tourbe résiduelle ont donné de très bons résultats, il s'agit donc de la principale espèce arborescente à utiliser dans un contexte de la restauration de bogs.



PHOTO : L. Rochefort

Pinus banksiana (Pin gris)

Nom anglais : Jack pine | Famille : Pinacées



PHOTO : G. Ayotte

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité

Hauteur : 13 à 20 m | Largeur : 7 m | DHP : 30 cm

Vitesse de croissance : lente

Âge maximal moyen : environ 150 ans

Enracinement : en profondeur

Susceptibilité aux maladies : peu problématique

Susceptibilité aux ravageurs : peu problématique

Tolérance à la compétition : intolérant à l'ombre, d'où l'importance du désherbage dans les années suivant la plantation

HABITAT

Zone de rusticité : 1a

Habitat naturel : sols pauvres et secs de la forêt boréale

Drainage : humidité faible à moyenne

Texture : sableuse à organique

pH : acide

Exposition : soleil

REPRODUCTION

Fruits : cônes

Âge de la maturité sexuelle : 5 à 10 ans

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Le pin gris n'est pas une espèce conseillée dans les projets de restauration puisqu'il ne se retrouve pas naturellement en tourbière, par contre il est indigène en Amérique du Nord.

Réaménagement : Efficace comme brise-vent ou comme écran.

FERTILISATION

Formulation recommandée par plant	Taux de survie attendu	Croissance attendue Flèche terminale (2 ans)
10 g de 20-10-15	Supérieur à 90 %	9 cm
Si aucune fertilisation	Aucune donnée n'est disponible	

SAVIEZ-VOUS QUE?

Le pin gris possède des cônes sérotineux qui ne s'ouvrent que sous l'effet de la chaleur comme lors de feux de forêts.



PHOTO : G. Ayotte

Pinus resinosa (Pin rouge)

Nom anglais : Red pine | Famille : Pinacées

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité

Hauteur : 21 à 30 m | Largeur : 12 m | DHP : jusqu'à 75 cm

Vitesse de croissance : moyenne

Âge maximal moyen : environ 200 ans

Enracinement : en profondeur

Susceptibilité aux maladies : élevée (chancre scéloderrien)

Susceptibilité aux ravageurs : légère (divers insectes)

Tolérance à la compétition : faible à moyenne, croissance plus lente à l'ombre

HABITAT

Zone de rusticité : 2b

Habitat naturel : plaine sableuse et affleurements rocheux, sol généralement peu fertile

Drainage : humidité faible (sol bien drainé)

Texture : sableuse ou sableuse-limoneuse

pH : acide

Exposition : soleil

REPRODUCTION

Fruits : cônes

Âge de la maturité sexuelle : 5 ans

FERTILISATION

Formulation recommandée par plant	Taux de survie attendu	Croissance attendue Flèche terminale (1 an)
Les différentes formulations essayées n'ont eu aucun effet sur la survie et la croissance des arbres après une année de croissance		
Si aucune fertilisation	Environ 80 %	4 cm

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Le pin rouge n'est pas une espèce typique des tourbières et son utilisation n'est donc pas conseillée dans les projets de restauration.

Réaménagement : Efficace comme brise-vent ou comme écran.

SAVIEZ-VOUS QUE?

Le chancre scléroderrien est un champignon qui cause la mort des bourgeons et le rougissement des aiguilles, depuis la base jusqu'à l'extrémité des aiguilles, au printemps. Il est donc important d'inspecter les plants avant de les mettre en terre, préférablement au printemps puisque c'est à ce moment que la maladie est la plus facile à détecter. En cas d'infestation, consultez sans tarder un spécialiste.



PHOTO : G. Ayotte



PHOTO : S. Hugron

Pinus strobus (Pin blanc)

Nom anglais : White pine | Famille : Pinacées

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité

Hauteur : 20 m | Largeur : 7 m | DHP : jusqu'à 1 m

Vitesse de croissance : rapide

Âge maximal moyen : 200 à 450 ans

Enracinement : superficiel

Susceptibilité aux maladies : élevée (rouille vésiculeuse du pin blanc)

Susceptibilité aux ravageurs : légère (charançon du pin)

Tolérance à la compétition : moyenne, tolère bien l'ombre, mais pas la compétition végétative

HABITAT

Zone de rusticité : 2b

Habitat naturel : général, bonne croissance sur les sols pauvres

Drainage : sol drainé

Texture : sableuse

pH : acide

Exposition : soleil ou mi-ombre

REPRODUCTION

Fruits : cônes

Âge de la maturité sexuelle : 20 à 30 ans

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Le pin blanc n'est pas une espèce typique des tourbières et son utilisation n'est donc pas conseillée dans les projets de restauration.

Réaménagement : Efficace comme brise-vent ou comme écran.

FERTILISATION

Formulation recommandée par plant

Taux de survie attendu

Croissance attendue
Flèche terminale (1 an)

Les différentes formulations essayées n'ont eu aucun effet sur la survie et la croissance des arbres après une année de croissance

Si aucune fertilisation

Environ 96 %

4 cm

SAVIEZ-VOUS QUE?

La rouille vésiculeuse du pin blanc est causée par un champignon qui affecte d'abord les aiguilles (présence de points jaunes sur les aiguilles au printemps). Lorsque le champignon atteint les branches et le tronc, l'écorce est déformée par des renflements et prend une coloration orangée. Il est impératif d'agir rapidement et d'éliminer les parties affectées lorsque la maladie est détectée. N'hésitez pas à faire appel à un spécialiste si vous suspectez un problème dans votre plantation.



PHOTO : G. Ayotte

PHOTO : G. Ayotte

Thuja occidentalis (Thuja occidental)

Nom anglais : White cedar | Famille : Cupressacées



PHOTO : G. Ayotte

DESCRIPTION GÉNÉRALE

Taille à maturité

Hauteur : 12 à 15 m | Largeur : 4 m | DHP : 30 à 60 cm

Vitesse de croissance : lente à moyenne; dans les sites pauvres on peut s'attendre à une hauteur de 5 m en 50 ans

Âge maximal moyen : 400 ans

Enracinement : superficiel

Susceptibilité aux maladies : peu problématique

Susceptibilité aux ravageurs : peu problématique

Tolérance à la compétition : moyenne à élevée, tolère bien l'ombre

HABITAT

Zone de rusticité : 3

Habitat naturel : milieux humides riches comme les marécages et les fens

Drainage : humidité élevée

Texture : argileuse, loameuse, sableuse ou organique

pH : acide, neutre ou alcalin

Exposition : soleil ou mi-ombre

REPRODUCTION

Fruits : cônes

Âge de la maturité sexuelle : dès 6 ans, mais la reproduction est optimale à 75 ans

UTILISATIONS POSSIBLES

Restauration : Îlots boisés dans des projets sur tourbe minérotrophe, création de lagg.

Réaménagement : Efficace comme brise-vent; forme des haies très denses au feuillage persistant toute l'année. Valeur ornementale intéressante.

FERTILISATION

Formulation recommandée par plant	Taux de survie attendu	Croissance attendue
Aucun fertilisant n'a été expérimenté		
Si aucune fertilisation	Environ 98 % (sur 25 cm de tourbe résiduelle)	Aucune donnée n'a été prise

SAVIEZ-VOUS QUE?

Le thuya occidental, aussi appelé cèdre blanc, est l'espèce qui est communément utilisée comme haies de cèdres.



PHOTO : S. Hugron

Complément à la restauration

Création d'îlots boisés

Parmi les essences déjà expérimentées en tourbière résiduelle, l'épinette noire et le mélèze sont les deux espèces les plus étudiées et qui performant le mieux en termes de survie et de croissance. Elles sont à prioriser dans un projet de restauration sur tourbe de sphaigne puisque, outre leur bon rendement, elles sont les deux espèces les plus présentes dans les bogs naturels. En 2004, des essais de plantation d'îlots d'épinettes noires ont été menés par François Quinty (Planirest Environnement inc.) dans une tourbière restaurée au Lac-Saint-Jean. La plantation a eu lieu un an après la restauration, dans les secteurs et microsites les plus secs (nappe phréatique variant entre -35 et -45 cm tout au long de l'année). Après quatre ans, le taux de survie des épinettes était supérieur à 90 % (Figure 20). Dans le cas d'un projet de restauration sur tourbe de carex, le mélèze est une bonne option puisqu'il se trouve naturellement dans les fens. Les résultats d'essais menés au Nouveau-Brunswick indiquent que le thuya occidental (cèdre), une espèce typique des fens naturels, serait aussi un bon candidat pour les plantations sur tourbe minérotrophe.



PHOTO : F. Quinty

Figure 20. Épinettes imitant un îlot forestier dans une tourbière restaurée au Lac-Saint-Jean quatre ans après la plantation.

SAVIEZ-VOUS QUE?

Lorsque les branches inférieures des épinettes noires sont recouvertes par le tapis de sphaigne, celles-ci peuvent s'enraciner, créant ainsi de nouveaux « plants filles » autour du plant original (Figure 21). Ce processus, appelé marcottage, peut être à l'origine des bosquets d'épinettes dans les tourbières naturelles. Dans les sites restaurés où la croissance de la sphaigne est importante, on pourrait également s'attendre à observer ce phénomène.



PHOTO : S. Hugron

Figure 21. Plants filles, issus du marcottage, à la base d'un plant mature d'épinette noire

Création de laggs

Pour les projets dont le but est de recréer une bordure de tourbière, plusieurs espèces peuvent être utilisées en combinaison. Parmi celles qui ont déjà fait l'objet d'essais et qui présentent une survie satisfaisante, le mélèze et l'érable rouge sont dignes d'intérêt.

LA DIVERSITÉ VÉGÉTALE DES LAGGS

Les laggs sont des écosystèmes de transition entre les tourbières et les hautes terres avoisinantes. Ces milieux sont des « points chauds » de la diversité et comportent plusieurs espèces végétales (Figure 22). Voici une liste des principales espèces arborescentes et arbustives trouvées dans ces milieux :

Arbres :

- | | |
|---|---|
| - Érable rouge
(<i>Acer rubrum</i>) | - Bouleau jaune
(<i>Betula alleghaniensis</i>) |
| - Mélèze laricin
(<i>Larix laricina</i>) | - Pin blanc
(sud-ouest du Québec)
(<i>Pinus strobus</i>) |
| - Épinette noire
(<i>Picea mariana</i>) | - Pin rouge
(sud-ouest du Québec)
(<i>Pinus resinosa</i>) |
| - Thuya occidental
(<i>Thuja occidentalis</i>) | |

Arbustes :

- | | |
|---|---|
| - Viorne cassinoïde
(<i>Viburnum nudum</i> var.
<i>cassinoides</i>) | - Aulne rugueux
(<i>Alnus incana</i> ssp. <i>rugosa</i>) |
| - Némopanthé mucroné
(<i>Ilex mucronata</i>) | - Myrique baumier
(lagg de fen) (<i>Myrica gale</i>) |

Toutes ces espèces sont donc potentiellement intéressantes pour des aménagements visant à recréer des laggs. Un projet expérimental visant à reconstituer l'écotone forestier des tourbières est en cours au GRET. Des essais ont également été menés afin d'évaluer le succès d'établissement du myrique baumier à partir de boutures.



Figure 22. Végétation diversifiée en bordure de tourbière (lagg).

PHOTO : É. Paradis

Autres projets d'aménagement

Dans le cas d'utilisation comme brise-vent ou comme écran (Figure 23), on doit d'abord se demander si la présence de feuillage est importante en hiver ou encore préfère-t-on qu'il soit absent? Dans le premier cas, il faut privilégier une espèce dont le feuillage est persistant (épinette noire, thuya occidental, sapin baumier ou pins), alors que dans le second cas on choisit

des feuillus ou encore le mélèze qui perd ses aiguilles avant l'hiver. Il faut également noter que le mélèze est l'espèce qui croît le plus rapidement en tourbière résiduelle: il est donc intéressant à utiliser pour obtenir un brise-vent ou un écran rapidement.



Figure 23. Mélèzes plantés afin de former une haie brise-vent.

PHOTO : S. Hugron

Compte tenu des efforts et des coûts encourus pour une plantation d'essences forestières en tourbière résiduelle, il est important de ne pas entreprendre la plantation de grandes superficies pour une **nouvelle espèce** sans avoir fait des tests préalables. Des plantations à petite échelle avec quelques dizaines de plants conviennent afin de vérifier la capacité de survie et de croissance des arbres.

Espèces non recommandées

L'utilisation d'espèces non indigènes à la flore nord-américaine n'est pas conseillée pour les projets de réaménagement ou de restauration, parce qu'elles présentent des risques d'envahissement et qu'il est préférable de protéger la diversité indigène. Le Tableau 2 présente un résumé des espèces pour lesquels des essais ont déjà été réalisés en tourbières, mais dont l'utilisation n'est pas conseillée en tourbières résiduelles.

Tableau 2. Espèces non recommandées pour la plantation en tourbières résiduelles

Espèces	Pourquoi n'est-elle pas recommandée?
Pin sylvestre	Bon potentiel sur tourbe résiduelle, mais non indigène.
Peuplier hybride	Taux de survie sur tourbe résiduelle très faible et non indigène.
Bouleaux blanc et gris	Indigènes à l'Amérique du Nord mais non typiques des tourbières naturelles. Ils présentent un potentiel élevé d'envahissement, car ils produisent une quantité importante de graines qui s'établissent facilement sur la tourbe. Peuvent représenter un problème d'envahissement des sites restaurés ou de contamination des sites de récolte. Il peut être nécessaire de les contrôler (voir chapitre 6).

Utilisation d'espèces compagnes

La présence de certaines espèces d'arbres ou d'arbustes peut être bénéfique pour la croissance d'autres espèces arborescentes. Par exemple, l'aulne crispé (*Alnus viridis* (Chaix) DC. ssp. *crispa*) a déjà fait l'objet d'essais comme espèce compagne de l'épinette noire et il augmente la croissance de celle-ci. L'aulne est un arbuste qui a la propriété de fixer l'azote et qui accroît ainsi la quantité de ce nutriment disponible dans le sol. Il est donc possible de planter des aulnes parmi les arbres en

tourbière résiduelle afin d'assurer un certain apport en azote à long terme : de l'aulne pourrait, par exemple, être intégré aux bosquets d'arbres ou diversifier une haie brise-vent.

Par ailleurs, le GRET (Étienne Paradis) a cherché à connaître, en 2010, l'effet de tapis de mousses sur le succès des plantations. Les résultats préliminaires montrent que les mousses et la paille favorisent une meilleure survie et une croissance plus élevée des plants d'épinette noire (Figure 24), ce qui s'explique probablement par la présence d'un couvert protecteur qui contribue à stabiliser le substrat.



PHOTO : É. Paradis



PHOTO : É. Paradis

Figure 24. Les épinettes noires établies avec mousses et couvert de paille (à gauche) ont montré une meilleure survie et une meilleure croissance que les plants établis sans mousses (à droite).

CHOIX DES PLANTS

La morphologie du système racinaire (type de plants) ainsi que la dimension initiale des plants (calibre) leur confèrent des avantages qui leur sont propres et influencent directement le succès de la plantation. Le choix entre les types de plants et les calibres dépend principalement du but de la plantation ainsi que des conditions présentes dans le site de plantation. La susceptibilité du site au phénomène de soulèvement gélival (Figure 13) et sa propension à l'envahissement par la végétation compétitrice sont les principaux facteurs qui influencent les choix relatifs aux plants. Les contraintes techniques liées au transport, à l'entreposage, à la manutention et à la mise en terre sont aussi des facteurs à considérer.

Type de plants

Parmi les deux types de plants présentés (Tableau 3), nous vous conseillons d'utiliser des ceux qui sont fournis dans des récipients plutôt que des plants à racines nues (Figure 25).



PHOTO : F. Quinly

Figure 25. Plants d'épinette noire en récipient.

Tableau 3. Avantages et comparaison des différents types de plants

Plant cultivé en récipient	Plant à racines nues
Court délai de culture en pépinière (2 ans ou moins);	Robuste (excellent rapport hauteur/diamètre);
Simplification du transport vers les sites de plantation et de l'entreposage (aucune réfrigération nécessaire);	Résiste à l'écrasement causé par la végétation compétitrice ou par la neige;
Mise en terre plus facile que celle des plants à racines nues (et donc meilleure productivité des planteurs);	Plants moins lourds, donc transport plus facile et moins coûteux (1,5 à 2 fois moins élevé);
Excellent taux de survie, car le stress au moment de la plantation est moindre que pour les plants à racines nues;	Taux de survie moyen supérieur à 80 % (la mortalité survient principalement durant la première année de croissance);
À utiliser pour des sites où le soulèvement gélival ne pose pas problème.	Possède un système racinaire dense et étalé qui assure un meilleur contact avec le sol;
	À utiliser dans les sites sujets au soulèvement gélival;
	Recommandé pour les sites où la présence de végétation concurrente est importante.

Calibre de plants à utiliser

Les deux calibres de plants forestiers actuellement recommandés en tourbières résiduelles nord-américaines sont les plants de petites dimensions (PPD; carotte racinaire de 110 cm³ dans le cas de plants en récipients) et les plants de fortes dimensions (PFD; carotte racinaire de plus de 350 cm³; Tableau 4). Les plants de petites dimensions sont plus jeunes (1 ½ à 2 ans) et la hauteur est d'environ 20 à 25 cm pour les plants d'épinette noire. Les plants de fortes dimensions sont généralement âgés

de 2 ans à la livraison dans le cas de plants en récipients et de 3 à 4 ans pour les plants à racines nues. Dans le cas de PFD d'épinette noire, leur hauteur atteint généralement 35 à 45 cm (plants en récipients) ou 40 à 60 cm (plants à racines nues).

Il existe également des plants de moyennes dimensions (PMD; carotte racinaire de 200 cm³), qui sont indiqués dans des sites où la présence de végétation compétitrice est modérée.

Tableau 4. Avantages et comparaison des différents calibres de récipients

Plant de petite dimension (PPD)	Plant de forte dimension (PFD)
Carotte racinaire de 110 cm ³ (110 cc)	Carotte racinaire de plus de 350 cm ³ (350 cc)
Moins coûteux à l'achat et à la plantation (plus les plants sont gros, plus les frais de plantation sont élevés);	Résiste à la déposition éolienne de la tourbe;
Prend moins d'espace et est moins lourd, donc plus facile et moins coûteux à transporter;	Surpasse la végétation compétitrice (espèces indésirables ou végétation établie dans le cas de la restauration) avec un minimum d'entretien;
À utiliser pour des plantations pures d'arbres où les risques d'envahissement par de la végétation compétitrice ou de déposition éolienne de la tourbe sont nuls.	Atteint plus rapidement une hauteur appréciable;
	À utiliser dans des projets où l'on désire une croissance rapide (brise-vents);
	À utiliser dans les projets de restauration et les sites avec risques d'envahissement par de la végétation (les PFD sont alors plus hauts que cette végétation) ou de déposition éolienne de la tourbe.

Origine et commande des plants auprès des pépiniéristes

De façon générale, il est important de commander vos semis longtemps à l'avance, car une commande tardive pourrait retarder votre plantation en raison des délais de production, de préparation et de livraison. Il faut compter 1 ½ à 2 ans pour la commande de plants de petites dimensions. Le délai de production des plants augmente généralement avec le calibre des plants et il faut commander 3 à 4 ans à l'avance les PFD. Il est recommandé de vérifier la disponibilité des différentes essences forestières lors de la planification des plantations, car certaines des espèces peuvent être difficiles à obtenir, notamment le mélèze laricin qui n'est pas fréquemment utilisé pour le reboisement à grande échelle.

Si votre aménagement est planifié longtemps à l'avance et que votre pépiniériste vous offre cette possibilité, l'idéal est de faire faire une commande spéciale de plants issus de graines prélevées dans des milieux tourbeux situés près des sites de plantation. Les arbres ainsi produits auront certains avantages adaptatifs, comme la tolérance à des sols acides et mal drainés. Notamment, il peut être difficile de vous procurer des mélèzes laricins indigènes en pépinière, d'où l'intérêt de fournir vos propres graines. Si vous choisissez cette option, votre pépiniériste pourra vous indiquer quand et comment récolter les graines.

LA PLANTATION

Qualité des plants

Avant de mettre en terre des plants en récipients, il est primordial de s'assurer de leur qualité : ils doivent être en bonne santé et aussi présenter un bon rapport hauteur/diamètre (rapport H/D). Notamment, veillez à ne pas utiliser des semis qui auraient séjourné trop longtemps dans le même contenant (p. ex. : 3 ans au lieu de 2 pour des récipients de 110 cc) ou qui sont trop étiolés et qui possèdent avec un rapport H/D trop élevé (Figure 26). Notez qu'il est possible de connaître l'âge d'un jeune plant de conifère en comptant le nombre de cicatrices de croissance sur sa tige principale (voir Figure 40 au Chapitre 6). Un bon rapport H/D est important en tourbière résiduelle où les vents sont souvent importants en raison de l'étendue des superficies récoltées et abandonnées. Des plants plutôt trapus résisteront mieux au vent.



Figure 26. Plant de mélèze ayant séjourné plus que le nombre d'années recommandé dans le même calibre de récipients en pépinière. Rapport H/D trop élevé pour assurer sa survie et son développement normal.

Afin de juger de l'état de santé des plants au moment de leur livraison, voici les signes à surveiller :

- Le rapport H/D des plants cultivé en récipients devrait être adéquats;
- La tige doit être droite et avec un bourgeon terminal intact et bien formé;
- Le système racinaire doit être bien fourni, contenir une forte proportion de radicelles (racines chevelues), ne doit pas être enroulé dans le contenant (signe d'un manque d'espace) et la carotte racinaire ne doit pas se défaire (dans le cas de plants en récipients);
- Absence d'insecte sur les plants, de blessure ou de nécrose sur les tiges et les branches, de trou, de tache, de décoloration ou de coloration suspecte sur le feuillage (possibilité de maladies fongiques) ou d'un feuillage sec ou partiellement absent (tendance à tomber au toucher);
- Si l'on soupçonne un problème de santé, il est recommandé de couper quelques racines à l'aide d'un sécateur. L'intérieur de la section coupée devrait être parfaitement blanc et sain. Si l'intérieur est brun ou taché, le plant est en dépérissement, mort ou gelé.

SUGGESTION DE LECTURE

Si vous avez des doutes concernant la qualité des plants qui vous sont fournis, nous vous suggérons de consulter le guide de terrain *Inventaire de qualification des plants résineux cultivé en récipients* du MRNF (2011) qui détaille et illustre les différents critères présentés dans ce guide. De plus, vous y trouverez les rapports H/D attendus selon les espèces et le calibre des plants. Ce guide est disponible sur le site Internet du GRET sous l'onglet *À propos* (voir *Autres documents utiles* sous la rubrique *Documentation générale sur les tourbières*).

Manutention des plants

Voici les précautions qui doivent être prises lors de la manutention des plants afin de maximiser les chances de succès d'une plantation :

- Porter une attention particulière à ne pas endommager les semis lors du transport. Les bourgeons sont particulièrement fragiles et peuvent tomber facilement;
- Transporter les plants dans un véhicule couvert afin de les protéger du vent;
- En tout temps, protéger les plants du soleil trop direct, du vent et du gel s'ils sont entreposés à l'extérieur pendant plus de 12 heures;

- Maintenir le substrat des semis en récipient humide en tout temps (la carotte est considérée comme assez humide si on peut faire sortir un peu d'eau lorsqu'on applique une pression avec la main). S'il s'agit de plants à racines nues, maintenir le système racinaire humide en tout temps (il peut être nécessaire de le couvrir d'une couverture de jute mouillée);
- Procéder à la plantation le plus rapidement possible (particulièrement pour les plans à racines nues qui subissent un stress plus important).

Si les plants doivent patienter quelques heures ou au maximum deux jours, placez-les dans un endroit frais (environ 5 °C). Il est déconseillé de laisser tremper les plants directement dans de l'eau (Figure 27). Effectivement, des racines qui trempent dans l'eau risquent l'asphyxie racinaire, les rendant ainsi inaptes à assurer leurs fonctions de transport de l'eau. Des semis dont les racines ne sont plus fonctionnelles ne devraient pas être mis en terre.

Mise en terre

Moment de la plantation

La plantation d'arbres en récipients peut être faite à n'importe quel moment lorsque le sol est dégelé, sauf lors de périodes prolongées de canicule et de sécheresse. Cela dit, planter un arbre lorsque les bourgeons sont dormants réduit le stress hydrique à la plantation. Ainsi, la période optimale pour la plantation est au printemps, dès le dégel du sol et avant le débourrement des bourgeons, ou à l'automne, après la chute des feuilles. La mise en terre des plants à racines nues se fait obligatoirement à l'état dormant, de préférence au printemps. Dans le cas de la formation d'îlots forestiers dans le cadre d'une restauration écologique, nous recommandons de faire la plantation des arbres une année après la restauration du site. Ce délai permet d'évaluer le succès du remouillage du site et de cibler les secteurs les plus secs et où la colonisation par la sphaigne est moindre. Il est suggéré d'attendre que le site soit relativement sec afin de laisser le moins possible de traces sur la surface restaurée. Si le site est relativement humide, il est préférable que les planteurs travaillent avec des raquettes sans crampons pour éviter le piétinement.

Dans le cas où les arbres sont plantés afin de recréer des laggs ou à d'autres fins que de la restauration, ceux-ci peuvent être mis en terre dès l'abandon des activités d'extraction de la tourbe. Il faut cependant s'assurer que les travaux nécessitant le passage de la machinerie soient terminés (par exemple : le nivelage et le blocage des canaux).

TRUCS ET CONSEILS

Lors de la plantation, prenez en note les informations relatives au choix des espèces, à la qualité des plants et à leur mise en terre à l'aide de la fiche de prise de données *Plantations – Mise en terre des plants* (Annexe 2).



PHOTO : J. Bussières

Figure 27. Plants en récipients encore dans leur caissette et ayant séjourné dans un canal de drainage afin de les garder humide. Cette pratique est déconseillée, car elle cause une asphyxie racinaire et éventuellement la mort des plants.

Choix des secteurs et des microsites des plantations

À l'intérieur de votre plan de restauration, les arbres doivent imiter le plus possible la place qu'ils occupent naturellement dans un paysage de tourbière de votre région. Vous pouvez ainsi les regrouper en groupes de 8 ou 10 afin d'imiter des îlots arborés naturels en tourbière et également recréer un lagg boisé tout autour de la bordure du secteur à restaurer, de façon la plus naturelle possible (non pas en une seule ligne continue). Si le secteur restauré fait partie d'un plus grand ensemble dont les autres parties seront restaurées ultérieurement, faites attention lors de la création de la marge forestière à ne pas trop ceinturer ce secteur, car il pourrait éventuellement être continu à un autre. La Figure 28 illustre la situation :

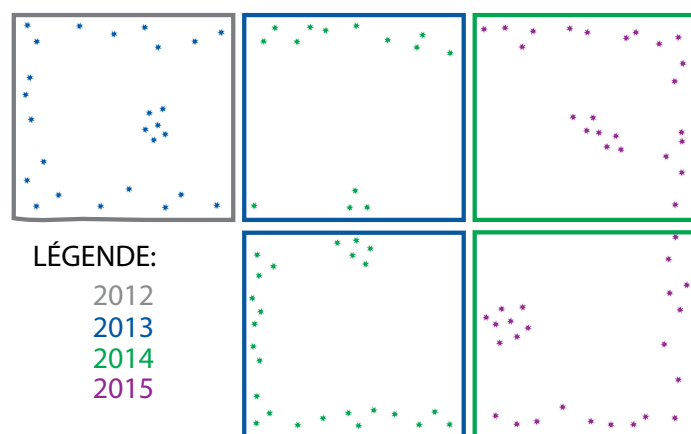


Figure 28. Schéma hypothétique de la séquence d'abandon et de plantation des différents secteurs avec illustration des emplacements choisis. Notez que chaque secteur n'est pas planté indépendamment, mais s'insère dans un tout final.

Peu importe que ce soit pour recréer des îlots forestiers ou des lags boisés, vous devrez toujours planter les arbres sur les secteurs et les microsites les plus secs. En restauration, le remouillage vise le maintien de la nappe phréatique dans les 40 premiers centimètres, idéalement 10 à 30 cm sous le niveau du sol pour favoriser la croissance des mousses. Lors des plantations d'arbre, la profondeur visée de la nappe phréatique est de plus de 30 cm pour de la tourbe de sphaigne et d'au moins 50 cm sous la surface pour la tourbe de carex. En conséquence, des secteurs ou des microsites d'à peine 10 à 30 cm plus élevés que la moyenne de la surface du site sont suffisants pour y planter des essences forestières, tels des andains par exemple. À cet effet, les plantations localisées

sur les andains peuvent contribuer à corriger ou prévenir les risques d'érosion lorsque la tourbière restaurée présente un dénivelé important. Par ailleurs, les plantations peuvent être une option à considérer pour les secteurs où la restauration écologique n'est pas envisageable à cause de la présence de sol minéral à proximité de la surface, par exemple (Figure 29).



Figure 29. Plantation d'épinette noire en bordure d'une tourbière dans un secteur où la restauration écologique n'était pas envisageable à cause de la présence de sol minéral et de débris en surface de la tourbe résiduelle.

Si les arbres sont mis en terre aléatoirement sur le site, ils risquent de se retrouver dans de mauvaises conditions. Les secteurs et les situations à éviter sont les suivants :

- les secteurs plats avec une nappe phréatique haute;
- les dépressions;
- les buttes vraiment trop hautes et trop sèches (nappe phréatique à plus de 75 cm de profondeur).

La plantation d'arbres est une opération relativement coûteuse et la mise en terre dans des secteurs présentant de mauvaises conditions pour les arbres est une perte d'investissement et de temps.

En plus de recréer les îlots et les lags boisés, vous pourrez planter des arbres dans les sites où, après les travaux de res-

tauration, vous n'êtes pas satisfait de la hauteur de la nappe phréatique ou du succès d'établissement de la végétation introduite. Effectivement, si dans certains secteurs la nappe phréatique a tendance à demeurer basse, qu'il vous est impossible de corriger le drainage à cet effet et que vous craignez que les conditions ne soient trop sèches pour la croissance des mousses, il est préférable de planter des arbres plutôt que de laisser le sol nu. Les essences forestières font partie intégrante d'un écosystème de tourbière naturelle et ils peuvent, s'ils sont utilisés de façon intelligente et parcimonieuse, contribuer à la biodiversité et l'équilibre de votre système.

Techniques de plantation

La plantation doit être faite de façon manuelle, par une personne expérimentée (Figure 30). Afin de favoriser leur plein développement, il est recommandé de laisser un minimum d'un mètre entre chaque plant, et ce, également à l'intérieur d'un même îlot. Il est à noter que si vous aménagez un secteur de tourbière résiduelle uniquement dans un but de sylviculture, l'espacement normalement recommandé en foresterie est d'au moins 140 cm.



PHOTO : J. Bussières

Figure 30. Mise en terre des plants dans une tourbière résiduelle à l'aide d'un instrument appelé plantoir.

Voici les lignes directrices à respecter lors de mise en terre (Figure 31) :

- **Localisation** : dans les endroits les plus secs (mais à moins de 75 cm de la nappe phréatique) s'il s'agit de plantation dans le cadre de la restauration écologique. Les plants ne doivent pas être placés sur des souches ou des débris;
- **Verticalité** : les plants doivent être droits (moins de 30 à par rapport à la verticale);

- **Profondeur de plantation** : lors de la plantation, la carotte de terre doit être entièrement enfouie et recouverte d'un maximum de 3 cm de tourbe. Le gonflement (collet) qui marque la transition entre les racines et la tige de l'arbre devrait être au même niveau de que sol. Aucune partie de la carotte (ou racine dans le cas de plants à racine nue) ne doit être exposée et aucun rameau ne doit être couvert de sol;
- **Compaction** : le planteur compacte le sol avec son pied afin d'éliminer les poches d'air et empêcher le plant de bouger si on tire sur un faisceau d'aiguilles. Attention au compactage excessif, car il déforme la carotte et détruit le système racinaire du semis;
- **Fertilisation** : doit être effectuée au moment de la plantation (voir chapitre 5).

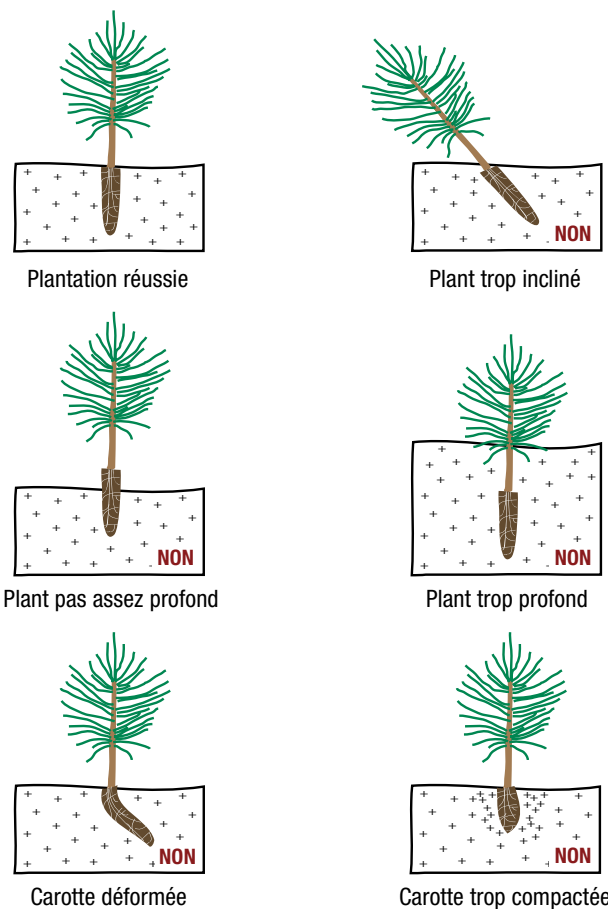


Figure 31. Schéma illustrant un plant mis en terre de façon correcte (en haut à gauche) et des plants dont la mise en terre est inadéquate.

RÉFÉRENCES ET SUGGESTIONS DE LECTURES COMPLÉMENTAIRES

British Columbia Ministry of Forest and Range. 1999. Silvicultural Manual. B.C. Ministry of Forests, Forest Practices Branch, Canada. (disponible en ligne : www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00099).

Burns, R.M. et Honkala, B.H. 1990. Silvics of North America: 1. Conifers; 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, États-Unis. 877 p. (disponible en ligne : www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/table_of_contents.htm).

Dumont, M. 1995. Plantation des feuillus nobles. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, Canada. 126 p.

Farrar, J. L. 1996. Les arbres du Canada. FIDES et Service canadien des forêts. Saint-Laurent, Canada. 502 p.

Harris, R. W., Clark, J. R. et Matheny, N. P. 2004. Arboriculture – integrated management of landscape trees, shrubs and vines. Prentice Hall, New Jersey, États-Unis.

* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 2011. Guide de terrain : Inventaire de la qualification des plants résineux cultivés en récipients (Document de travail – Livraison 2011). Direction générale des pépinières et des stations piscicoles, Sainte-Foy, Canada. 139 p.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 2005. Qualité des plantations : guide de l'évaluateur. Gouvernement du Québec, Sainte-Foy, Canada. 40 p. (disponible en ligne : www.mrnf.gouv.qc.ca/).

Ministère des Ressources naturelles du Québec. 2000. Le plant résineux cultivé à racines nues, «un costaud tout terrain». Gouvernement du Québec, 3 p. (disponible en ligne : www.mrnf.gouv.qc.ca/).

Ministère des Ressources naturelles du Québec. 2000. Pour une flexibilité accrue, le plant cultivé en récipient. Gouvernement du Québec, 3 p. (disponible en ligne : www.mrnf.gouv.qc.ca/).

Ontario Ministry of Natural Resources. 2011. Conseils de plantations d'arbres [site Internet]. En ligne : www.mnr.gov.on.ca/fr/Business/ClimateChange/2ColumnSubPage/STEL02_202059.html.

Ontario Ministry of Natural Resources. 1995. Careful handling and planting of nursery stock. Ontario, Canada, 4 p. (disponible en ligne : www.lronline.com/Extension_Notes_English/).

Pellerin, G. et collaborateurs. 2005. Répertoire des arbres et arbustes ornementaux. Hydro-Québec, Canada. 574 p.

Ressources naturelles Canada. 1992. Pour plus de verdure : un guide de plantations d'arbres. Service canadien des forêts. (Disponible en ligne : http://www.treecanada.ca/publications/guide_f.htm).

Thiffault, N., Roy, V., Prigent, G., Cyr, G., Jobidon, R. et Ménétrier, J. 2003. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. Le Naturaliste canadien 127: 63-80.

* Document .pdf disponible en ligne : www.gret-perg.ulaval.ca sous l'onglet «à propos».





En haut : plants d'épinette noire fertilisés (avec paillis)
En bas : plants d'épinette noire non fertilisés (sans paillis)

PHOTOS : L. Rochefort

CHAPITRE 5

FERTILISATION

NUTRITION DE L'ARBRE

Il existe 17 éléments minéraux essentiels à la survie et au développement des plantes. Les éléments organiques (carbone, oxygène et hydrogène) proviennent principalement du CO₂ atmosphérique et de l'eau. Les éléments minéraux sont quant à eux présents dans l'eau du sol. Lors de la croissance des plants en pépinière, la nutrition est généralement complète et optimale, ce qui assure une croissance équilibrée des différentes parties de l'arbre et permet au semis d'accumuler des réserves d'eau et de nutriments.

Dès qu'un plant est mis en terre, il subit un stress hydrique important : une grande quantité d'eau est perdue par évapotranspiration du feuillage alors qu'une faible quantité d'eau est acquise par le système racinaire, car la connectivité entre les racines et le sol n'est pas encore bien établie. Les réserves en eau de la plante accumulées en pépinière sont limitées et peuvent répondre à la demande d'évapotranspiration pour seulement quelques minutes à quelques heures. La survie initiale des plants dépend donc principalement de leur capacité à développer rapidement un réseau racinaire fonctionnel afin de puiser l'eau et les nutriments et afin d'assurer un bon ancrage dans le sol.

Le développement rapide d'un réseau racinaire et la fertilisation sont particulièrement importants en tourbières résiduelles puisque la tourbe contient très peu de nutriments et sa profondeur est généralement trop importante pour que les plants aient accès aux nutriments du sous-sol minéral. Les arbres plantés sur tourbe résiduelle sans fertilisation développent donc rapidement des carences nutritives et leur taux de survie ainsi que leur croissance sont généralement faibles.

IMPORTANCE DE LA FERTILISATION

Afin de répondre adéquatement aux besoins nutritionnels des arbres, trois options sont possibles :

- 1) Planter les arbres dans les secteurs où le dépôt de tourbe résiduelle est mince (20 à 30 cm) afin que les racines atteignent le sol minéral qui est généralement plus riche en nutriments que la tourbe;
- 2) Travailler le sol de façon à mélanger le sol minéral sous-jacent avec la tourbe résiduelle;
- 3) Fertiliser les plants lors de la mise en terre.

Les deux premières options sont ici mises de côté au profit d'un apport de fertilisant puisque le dépôt tourbeux résiduel est généralement de plus de 20 à 30 cm dans le contexte nord-américain et le travail du sol présente un risque de problèmes de compétition et de pollution des eaux environnantes.

L'ajout d'un fertilisant contenant de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) au moment des plantations augmente le taux de survie des semis et favorise la croissance et le développement des arbres, tout particulièrement de leur système racinaire (Figure 32). L'azote est l'élément qui a le plus d'influence pour la nutrition des arbres lors de la première saison de croissance, car cet élément est utilisé pour la construction du système racinaire, du feuillage et des tiges. Pour sa part, la fertilisation phosphatée stimule l'activité microbienne du sol, ce qui augmente le taux de minéralisation de l'azote qui devient ainsi disponible pour les arbres. Sans apport en phosphore, le processus de minéralisation est lent et, dans les tourbières dont le dépôt de tourbe résiduelle est épais, cela ne suffit pas à combler les besoins des jeunes arbres. Par ailleurs, les réserves en phosphore de la plante s'épuisent généralement après la première année et la fertilisation devient vitale pour assurer une bonne croissance par la suite. Enfin, le potassium est essentiel pour le système racinaire et joue un rôle primordial dans le processus de photosynthèse.

En résumé, les fertilisants apportés aux plantations en tourbière résiduelle doivent comprendre de l'azote assimilable dès la première saison de croissance, du phosphore qui se libère lentement et qui est disponible lors de la seconde saison de croissance et du potassium en quantité suffisante pour assurer une bonne croissance du semis. Un bon taux de survie des plants nécessite généralement une dose moins prononcée que les doses nécessaires pour favoriser une croissance optimale. Par contre, une fertilisation trop importante diminue radicalement les taux de survie des plants. Les doses choisies pour la fertilisation des arbres plantés en tourbière doivent donc offrir un équilibre entre la survie et la croissance des semis.



PHOTOS : É. Paradis

Figure 32. Croissance de mélèzes plantés quatre années auparavant : non fertilisés (a) et fertilisés (b).

La réponse à la fertilisation est différente selon les espèces et dépend en partie de la profondeur d'enracinement de celles-ci, ce qui influence directement l'acquisition des ressources. Bien que dans les tourbières résiduelles le système racinaire des arbres plantés demeure généralement superficiel, la profondeur d'enracinement peut différer considérablement selon les essences. Par ailleurs, l'écologie spécifique des espèces influence aussi la réponse à la fertilisation. Par exemple, le mélèze laricin, qui est généralement trouvé dans les sections les plus riches des tourbières naturelles, utilise principalement les nutriments acquis par la fertilisation pour sa croissance. Tandis que pour l'épinette noire, qui se trouve généralement dans des endroits pauvres en éléments nutritifs en tourbière, la fertilisation permet surtout d'augmenter son diamètre et l'effet sur la croissance est faible. Cette espèce est aussi sensible à la toxicité engendrée par une dose trop élevée de fertilisants. En conclusion, il est recommandé de baser le choix du type de fertilisant et de la dose en fonction de l'espèce plantée et des buts de la plantation.

APPLICATION DE LA FERTILISATION INITIALE

La fertilisation initiale doit être faite au moment de la mise en terre des plants. Il est conseillé d'enfouir le fertilisant dans le sol afin de réduire la germination et la prolifération d'espèces compétitrices en surface. Voici comment procéder à la fertilisation :

- 1) Au moment de la plantation, creuser un **second trou à quelques centimètres de la fosse de plantation**, de la même profondeur que celle-ci;
- 2) Déposer le fertilisant dans le trou;
- 3) S'assurer de bien recouvrir le fertilisant de tourbe.

Il est préférable d'utiliser cette technique plutôt que de déposer le fertilisant directement dans la fosse de plantation en raison des risques de brûlure des racines par le fertilisant. Ceci favorise l'étalement des racines qui migreront de quelques centimètres vers la source de nutriments. Par ailleurs, même dans le cas de fertilisants enfouis dans le sol, il est important d'assurer une **bonne gestion du drainage** du site de plantation, car les inondations peuvent causer une remontée du fertilisant, ce qui pourrait favoriser les espèces compétitrices (Figure 33).



PHOTOS : L. ROCHEFORT

Figure 33. Envahissement d'une plantation de mélèze en Alberta par le bouleau suite à la remontée de la nappe phréatique pour les parcelles fertilisées avec des poches de thé (a) et non fertilisées (b).

Si, pour des raisons logistiques ou techniques, l'enfouissement du fertilisant au moment de la plantation est impossible, favoriser la fertilisation localisée (en « spot ») autour du plant plutôt que la fertilisation à la volée. L'application localisée nécessite trois fois moins de fertilisants que l'application à la volée, pour le même résultat. De façon générale, **la fertilisation à la volée est à proscrire**, et ce, tant pour la fertilisation initiale que pour les fertilisations subséquentes, car elle favorise l'établissement des adventices. Dans le cas où les plantations seraient envahies par des végétaux non désirables, un entretien devra être apporté afin d'assurer la survie et la croissance des arbres (voir chapitre 6).

Forme (poche de thé, pastille) et doses d'engrais

Il est important de sélectionner un **engrais (fertilisant) à dissolution lente** : celui-ci relâche graduellement et sur une longue période de temps les nutriments dans le sol de façon à ce que les plantes et les microorganismes soient capables de les utiliser avant qu'ils soient lessivés. En conséquence, la dose de fertilisant peut être raisonnablement faible, ce qui limitera par ailleurs l'envahissement par les espèces non désirées.

Il est très intéressant d'utiliser des produits commerciaux à dose et poids prédéterminés pour chaque arbre plutôt que de tenter de faire un mélange de plusieurs fertilisants qu'il faudra préparer et mesurer soi-même. De plus, les fertilisants commerciaux comprennent souvent une variété d'éléments minéraux secondaires (soufre, fer, magnésium, manganèse et zinc) dans leur formulation, ce qui permet de réduire le risque de carences. Il existe différents produits disponibles sur le marché et nous traiterons de deux types : les pastilles et les poches de thé.

Les pastilles relâchent les fertilisants graduellement en généralement deux ans selon le fabricant (plusieurs compagnies élaborent des pastilles de ce type). À la lumière des résultats des essais menés par le GRET, nous recommandons l'utilisation de pastilles de 10 g de formulation 20-10-15 ($N-P_2O_5-K_2O$).

LA FORMULATION DES FERTILISANTS

Au Canada, la formulation des fertilisants à trois chiffres représente les pourcentages de N - P₂O₅ - K₂O contenus dans le fertilisant par rapport à son poids total. Par exemple, pour une pastille de 10 g, il y a :

$$\begin{array}{ccccc} & & 10 \% \text{ de P}_2\text{O}_5 = 1 \text{ g} & & \\ & & \downarrow & & \\ 20 \% \text{ de N} = 2 \text{ g} & \longrightarrow & \text{20} - \text{10} - \text{15} & \longleftarrow & 15 \% \text{ de K}_2\text{O} = 1,5 \text{ g} \end{array}$$

Il est à noter que les engrais utilisés en Europe, et par conséquent dans la littérature européenne, sont présentés en N - P - K plutôt qu'en N - P₂O₅ - K₂O. Pour convertir la quantité de P₂O₅ en P, on doit diviser la valeur par 2,29 et pour convertir la quantité de K₂O en K, on doit diviser la valeur par 1,21.



Figure 34. Photographie d'une poche de thé.

Les poches de thé sont produites par la compagnie californienne Reforestation Technologies International (contactez Alan D. Baum au 1-831-424-1494 pour commande). Ce sont de petits sachets biodégradables (Figure 34) à l'intérieur desquels le fertilisant relâche lentement et constamment des éléments nutritifs durant trois à cinq ans, selon le fabricant. Suivant les résultats des expériences menées en tourbières résiduelles, l'utilisation de poches de thé de 10 g de la formule **Forest Pak** (20-11-9) ou **Restoration Pak** (11-17-9) est recommandée.

De façon générale, nous recommandons l'utilisation d'une des trois formulations mentionnées précédemment pour favoriser la meilleure survie possible des arbres plantés en tourbières résiduelles. Elles ont pour avantages d'être faciles d'utilisation et de contenir de faibles doses de fertilisants, ce qui réduit le risque d'envahissement par des espèces indésirables dans le cas de remontée de la nappe phréatique. Si l'on veut encourager la croissance maximale et rapide des arbres, d'autres formulations que celles mentionnées précédemment peuvent donner de meilleurs résultats (Tableau 5). Dans les cas où les analyses de sol effectuées préalablement aux plantations révéleraient des concentrations en nutriments très éloignées de celles présentées au Tableau 1, les doses de fertilisants devraient être ajustées en conséquence à l'aide d'un professionnel.

TRUCS ET CONSEILS

Notez les informations relatives à la fertilisation des plants (formulations utilisées pour chacune des espèces et date d'application) dans la fiche de prise de données *Plantations - Mise en terre des plants*.

Tableau 5. Fertilisation recommandée à la lumière des résultats des expériences de plantations au Québec et au Nouveau-Brunswick ainsi que les performances attendues pour chacune des formulations présentées.

Espèces Références ¹	Fertilisation en g de N – P ₂ O ₅ – K ₂ O / plant	Performances attendues			
		Survie	Flèche terminale		Hauteur arbre 3 ans
			1 an	2 ans	
Épinette noire a, b, c	1,1 – 0,7 – 0,7 ou 2 – 0,5 – 1,2 (pour optimiser la survie)	80 % et plus		6 à 7 cm	
	2 – 0,5 – 0,7 (pour optimiser la croissance)	80 % et plus		6 à 9 cm	
	Aucun fertilisant	Environ 55 %		3 cm	
Érable rouge a	4,2 – 23,3 – 35,7 (pour optimiser la croissance)	70 % et plus			92 cm
	Aucun fertilisant	Environ 70 %			38 cm
Mélèze laricin a, b, c	2 – 0,5 – 0,7, 1,1 – 0,7 – 0, ou 2 – 0,5 – 1,2 (pour optimiser la survie)	90 % et plus		10 à 20 cm	
	7 – 3 – 5 (pour optimiser la croissance)	90 % et plus		30 cm	
	Aucun fertilisant	Environ 80 %		1 cm	
Pin blanc d	Aucun fertilisant ²	90 % et plus		40 cm	
Pin gris a	2 – 0,5 – 1,2 (pour optimiser la survie et la croissance)	90 % et plus	9 cm		
Pin rouge d	Aucun apport de fertilisant ²	80 % et plus	4 cm		
Thuya occidental c	Aucun apport de fertilisant ³	90 % et plus			

¹ Référence : a) Bussièrès (2005); b) Caisse (2007); c) Jean-François (2010); d) Demers (2007).

² Les différentes formulations expérimentées n'ont pas eu d'effet significatif sur la survie, ni sur la croissance des pins après une année de croissance.

³ Aucune expérience de fertilisation n'a été menée pour cette espèce. Les plantations ont eu lieu sur un dépôt de tourbe mince (30 cm).

Durée de vie de la fertilisation initiale

Les effets positifs associés à la fertilisation initiale sont généralement de courte durée et s'échelonnent sur moins de cinq ans. Selon les buts de la plantation et l'état nutritionnel des arbres, une nouvelle fertilisation peut être nécessaire, et ce, aussitôt que trois ans après la fertilisation initiale.

AUTRES AMENDEMENTS ET PRATIQUES DE TRAVAIL DU SOL

Nous ne recommandons pas l'utilisation d'autres formes de fertilisants ou d'amendements du sol en raison des risques d'envahissement par des adventices. En effet, l'incorporation de fumier, de compost, de sol minéral, de chaux ou de cendre ne peut se faire qu'en les mélangeant à la tourbe résiduelle de surface avec de la machinerie. Cette pratique libère l'élément

fertilisant à la surface du sol, ce qui risque de favoriser la germination et la prolifération d'espèces indésirables provenant des milieux environnants.

Le mélange du sous-sol minéral avec la tourbe est une autre opération possible afin d'augmenter les taux d'éléments minéraux dans la tourbe résiduelle. Pour les mêmes raisons expliquées dans le paragraphe précédent, nous ne recommandons pas cette option. Cela dit, au Canada le dépôt est souvent trop épais pour pratiquer une telle opération. Dans les rares endroits où la profondeur du dépôt le permettrait, la quantité de souches et de branches souvent présentes dans les derniers centimètres de tourbe compliqueraient aussi énormément le travail, en plus d'être onéreux.

EN BREF

La fertilisation est généralement nécessaire pour assurer le succès des plantations d'arbres sur un dépôt de tourbe de sphaignes. Rappelons qu'il est préférable d'analyser la tourbe avant la mise en terre des plants. Si le contenu en éléments

chimiques diffère de façon importante des valeurs trouvées normalement en tourbière après la récolte de la tourbe à des fins horticoles, consultez un spécialiste afin d'ajuster la fertilisation des arbres (Figure 35).

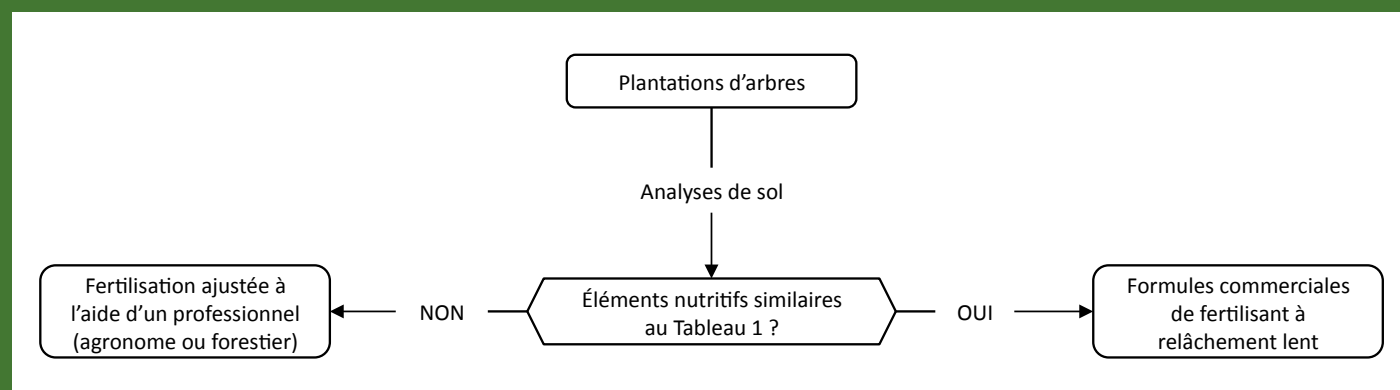


Figure 35. Le choix de la fertilisation

RÉFÉRENCES ET SUGGESTIONS DE LECTURE

Andersen, R., Rochefort, L. et Landry, J. 2011. La chimie des tourbières du Québec : une synthèse de 30 années de données. *Le Naturaliste canadien* 13: 5-14.

Aro, L. et Kaunisto, S. 1998. Forestry use of peat cutaway areas in Finland. Dans : *The spirit of peatlands – 30 years of the International Peat Society. Proceedings of the International Peat Symposium*. Jyväskylä, Finlande, 7 au 9 septembre 1998. *Sous la direction de Sopo, R.* p. 185-187.

* Bussières, J., Boudreau, S. et Rochefort, L. 2008. Establishing tree on cut-over peatlands in eastern Canada. *Mires and Peat* 3: Article 10.

* Caisse, G., Boudreau, S., Munson, A. et Rochefort L. 2008. Fertiliser addition is important for tree growth on cut-over peatlands in eastern Canada. *Mires and Peat* 3: Article 11.

Demers, M. 2007. Essais d'aménagement de tourbières r sidu elles par la reforestation avec du pin (*Pinus* sp.) : résultats obtenus un an près la plantation. Mémoire de fin d'études, Université de Moncton, Campus d'Edmunston, Nouveau-Brunswick. 82 p.

Jean-François, Jean-Pierre. 2010. Réponses morphologiques et nutritionnelles de plantations juvéniles de conifères fertilisés en tourbières r sidu elles. Mémoire de maîtrise, Université Moncton, Campus d'Edmunston, Nouveau-Brunswick. 67 p.

Kaunisto, S. 1997. Peatland forestry in Finland: problems and possibilities from the nutritional point of view. Dans : Trettin, C. C., Jurgenssen, M. F., Grigal, D. F., Gale, M. R. et Jeglum, J. K. ( d.). *Northern forested wetlands ecology and management*. CRC Lewis Publishers Boca Raton. P. 387-401.

Margolis, H. A. et Brand, D. G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 375-390.

Parent, L.-E. et Gagné, G. ( d.). 2010. Guide de référence en fertilisation, 2   d. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 473 p.

Renou-Wilson, F. 2011. Optimal practices in the afforestation of cutaway peatlands. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Allemagne. 254 p.

* Document .pdf disponible à partir du site du GRET : www.gret-perg.ulaval.ca sous l'onglet publications.



CHAPITRE 6

SUIVI, ENTRETIEN ET ÉVALUATION DU SUCCÈS DES PLANTATIONS

Le suivi des plantations est une étape essentielle dans tout projet de réaménagement. Celui-ci permet d'évaluer le succès des plantations et de déterminer si les objectifs fixés initialement ont été atteints. Le suivi permet aussi une gestion efficace des plantations en permettant de déceler rapidement les problèmes et d'y apporter l'entretien et les correctifs nécessaires.

SUIVI DES PLANTATIONS

Le suivi des plantations sur sol minéral est généralement effectué 1, 2, 5 et 8 ans après la mise en terre des plants. Nous vous suggérons donc de suivre la même fréquence, puisque cela permet de comparer vos rendements avec les moyennes québécoises. Dans le cas de plantations réalisées dans le cadre d'une restauration écologique, le suivi pourrait être fait au même moment que celui effectué pour évaluer le succès de la restauration. Voici les éléments à compiler et à conserver pour un bon suivi :

Avant la plantation :

- La description du site avant la plantation (voir chapitre 2) :
 - État du drainage.
 - Degré de décomposition von Post de la tourbe résiduelle.
 - Épaisseur du dépôt de tourbe résiduelle.
 - Texture du sous-sol minéral.
 - Résultats des analyses chimiques de la tourbe résiduelle (et du sous-sol minéral si le dépôt est mince).
- La description de la nature des activités de préparation du site et la date d'exécution des travaux.

Au moment de la plantation :

- Un plan de la plantation.
- Les espèces utilisées (incluant leur provenance, le type de plants et leur calibre).
- Le nombre de plants mis en terre et la date de la plantation.
- La hauteur moyenne des plants lors de la mise en terre.
- Les observations concernant l'état des plants avant la mise en terre (rapport H/D, signe de carences, etc.).
- Le plan de fertilisation (type de fertilisant, formulation, dose par plant, méthode et date d'application).

Les années suivant la plantation (1, 2, 5 et 8 ans) :

- Taux de survie (évalué sur 10 % ou plus des plants; peut être déterminé pour toute la plantation, selon la superficie). Un plant est considéré comme « vivant » s'il porte des feuilles vertes sur un ou plusieurs de ses rameaux (Figure 36). Les plants déracinés doivent être comptés parmi les plants n'ayant pas survécu (Figure 37).
- Hauteur des plants et longueur de la flèche terminale (mesurée selon un échantillonnage aléatoire dans la plantation, par exemple 10 échantillons de 10 plants).
- Présence de blessures sur les arbres.
- Signes de carences nutritionnelles :
 - Symptômes.
 - Correctifs appliqués (détails de la refertilisation).
- Présence de mauvaises herbes :
 - Degré d'infestation et de compétition.
 - Méthodes de contrôle utilisées.
- Présence de maladies et ravageurs :
 - Symptômes et estimation de l'étendue.
 - Méthodes de contrôle utilisées.



Figure 36. Plant d'épinette dont la flèche terminale est morte, mais qui a survécu.



Figure 37. Plant en récipient qui a été déraciné par l'effet du soulèvement gélival et qui est considéré « mort » lors du suivi.

PHOTOS : É. Paradis

Pour chacun des éléments, il importe de bien noter la date d'observation et/ou d'application (voir la fiche de prise de données *Plantations – Suivi* à l'Annexe 2).

TECHNIQUES DE MESURE

Survie : Parcourir des secteurs représentatifs de la plantation avec un compteur manuel (Figure 38) pour dénombrer les plants vivants dans une main et les plants morts dans l'autre; l'addition des deux vous donnera le nombre total de plants échantillonnés.



Figure 38. Compteur manuel utilisé pour dénombrer les plants.

PHOTO TIRÉE DE :
www.groupe-mcneil-dendrotik.com

Hauteur : À l'aide d'un mètre ou d'un gallon, mesurer le plant du sol à sa partie la plus haute (Figure 39). Si le plant mesure déjà plus de 3 ou 4 m, utiliser un clinomètre selon les instructions du fabricant.



PHOTO A. Jacob

Figure 39. Mesure de la hauteur des plants lors du suivi d'une jeune plantation de pins.

Longueur de la flèche terminale : Peut être mesurée sur les conifères seulement. À l'aide d'un gallon, mesurer la tige principale du plant de son extrémité jusqu'à la première « cicatrice de croissance » rencontrée (Figure 40).

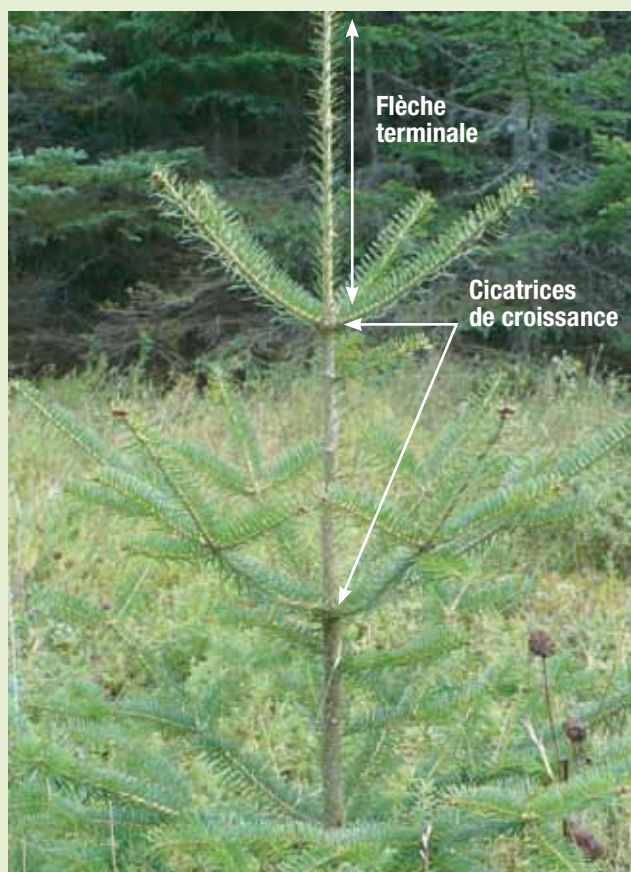


PHOTO S. Hugron

Figure 40. Flèche terminale d'un sapin baumier.

ÉVALUATION DU SUCCÈS

L'évaluation du succès d'une plantation devrait tenir compte d'indicateurs de performance préalablement établis et adaptés selon le type de réaménagement. Dans le cas des plantations d'arbres dans un contexte de restauration écologique, les indicateurs de succès doivent tenir principalement compte de la survie des arbres plutôt que de leur croissance, puisqu'en tourbière naturelle la croissance est généralement faible en raison de la saturation en eau (Figure 41). Le manque de données rend impossible l'évaluation d'un seuil précis concernant le taux de survie pour les plantations dans ce contexte. On suppose toutefois qu'un taux de survie de 60 à 70 % des arbres serait satisfaisant pour un projet de restauration écologique compte tenu de la nappe phréatique élevée.



PHOTO : L. Rochefort

Figure 41. Épinettes dont le taux de croissance est faible dans les tourbières naturelles.

À l'heure actuelle, la majorité des essais de plantations sur tourbe résiduelle ont été effectués dans des secteurs drainés et non restaurés, où le taux de survie était supérieur à 80 % pour les conifères et à 70 % pour les feuillus. Un taux de survie inférieur à ces niveaux indique généralement une fertilisation ou un drainage inadéquat et des mesures correctrices devraient être apportées.

ENTRETIEN

Le suivi périodique du succès des plantations permet de déterminer si un entretien est nécessaire. De façon générale, ces mesures seront plus efficaces et moins coûteuses si elles sont mises en application dès le diagnostic des problèmes et elles permettront d'éviter d'éventuels échecs de plantation.

Contrôle des adventices

Parmi les adventices potentiels, on compte les mauvaises herbes de type agricole, certaines espèces de tourbière et des espèces arborescentes de milieux ouverts comme les bouleaux. Généralement, leur envahissement dans les tourbières résiduelles est relativement faible, car la tourbe est acide et peu fertile. Toutefois, dans le cas où un envahissement des plantations par des espèces indésirables surviendrait, celles-ci peuvent exercer une compétition avec les plants pour les nutriments, l'eau, la lumière ou pour l'espace. Un certain degré d'envahissement par les adventices peut être toléré (Figure 42). Toutefois, lorsque la végétation compétitrice couvre une partie importante de la surface du sol, des mesures de contrôle doivent être appliquées.



PHOTO : S. Hugron

Figure 42. Présence d'un faible couvert de linaigrettes dans une plantation qui peut être tolérée, car elle ne nuit pas à la croissance des arbres.

L'EFFET DES PLANTES INDÉSIRABLES DANS LES PLANTATIONS

La fertilisation appliquée à la surface de la tourbe ou en dose trop importante peut entraîner un envahissement des plantations par des végétaux non désirables. Il en est de même pour la fertilisation à l'aide de pastilles ou de poches de thé lorsque le site de plantation a été inondé, permettant la remontée des éléments nutritifs à la surface (Figure 43). Ces adventices peuvent intercepter une proportion importante de la lumière essentielle à la croissance des plants d'arbres. L'envahissement des plantations par des broussailles (arbres de petite taille et arbustes) diminue principalement la croissance en diamètre des plants ce qui provoque une augmentation de l'instabilité des tiges. La mortalité causée par la compétition survient donc plus tardivement. Par ailleurs, si des planches adjacentes aux sections réaménagées sont toujours en extraction, la présence de mauvaises herbes dans les plantations pourrait causer la contamination de la tourbe récoltée.



PHOTO : L. Rochefort

Figure 43. Établissement du bouleau dans une plantation d'épinettes causé par la remontée des éléments nutritifs (fertilisation avec des poches de thé) à la suite d'une période d'inondation du site.

L'entretien manuel peut être envisagé pour les sites de petite superficie. En raison de la nature « friable et lâche » de la tourbe résiduelle, il est relativement facile d'arracher manuellement plusieurs herbacées. Concernant les arbres et arbustes, il est

possible de les couper manuellement à l'aide de sécateurs ou d'une débroussailleuse. L'entretien manuel permet généralement un contrôle assez efficace des adventices, même s'il doit être effectué périodiquement.

SAVIEZ-VOUS QUE?

Si le site de plantation est envahi par des bouleaux de grande taille, il est préférable de les couper lorsqu'ils sont en feuilles et avant la fin du mois d'août, à une hauteur de 50 cm plutôt qu'au ras du sol (Figure 44). De cette façon, le bouleau n'a pas l'énergie nécessaire pour développer de nouvelles pousses à partir de la souche (qui sont aussi appelées rejets de souche).



PHOTO : L. Rochefort

Figure 44. Coupe des bouleaux à 50 cm du sol afin de limiter leur capacité de régénération.

L'**entretien mécanique** est recommandé sur des sites de grande superficie dont l'espacement des plants est suffisant pour permettre la circulation de la machinerie (principalement pour des projets autres que la restauration écologique). La tonte des mauvaises herbes, par exemple à l'aide d'un tracteur à gazon, doit être effectuée régulièrement et plusieurs fois par année (Figure 45). L'utilisation de la machinerie doit être restreinte à des périodes où la capacité portante du sol est suffisante (c.-à.d. éviter les sols trop humides) et une attention particulière doit être portée à ne pas endommager les plants.



PHOTO : J. Bussières

Figure 45. Planches dont les espèces indésirables ont été tondues entre les plants d'arbres et d'essences fruitières en tourbière résiduelle. Notez les monticules de tourbe et les planches de récolte en second plan.

Les conifères sont généralement moins affectés par la compétition que les espèces décidues. Dans les deux cas, lorsque la hauteur du feuillage de l'arbre dépasse la hauteur des plantes indésirables, le contrôle des adventices n'est généralement plus nécessaire.

Pour des plantations d'arbres mises en place dans un contexte de restauration écologique, le risque d'envahissement par les adventices demeure faible à cause des conditions saturées en eau qui ne leur conviennent généralement pas. Dans le cas où un envahissement surviendrait, nous recommandons

uniquement le désherbage manuel, car la circulation de la machinerie peut être difficile en raison de la faible capacité portante du sol et pourrait mettre en péril la survie des espèces introduites lors de la restauration.

Contrôles des ravageurs (insectes, champignons, broutement)

Les insectes, les champignons et le broutement par les animaux peuvent causer des dommages importants dans les plantations. Lors du suivi, les signes révélant la présence de ravageurs doivent être consignés et des actions doivent être entreprises rapidement pour éviter les épidémies.

Le broutement par les cervidés et les dommages causés par les rongeurs sont plus fréquemment observés sur les espèces feuillues que sur les conifères. Une des méthodes de protection contre les cervidés est la pose de clôtures de façon à former des exclos. Une autre méthode intéressante consiste à planter une tige de métal dont la hauteur est supérieure au plant juste à côté de celui-ci (de façon à ce qu'elle soit collée sur le tronc), ce qui dérange l'animal lorsqu'il tente de brouter le plant. Quant aux rongeurs, on peut limiter leurs dégâts par la pose de protecteurs individuels à la base des arbres.

Lorsque des dommages sont causés par des insectes ou des champignons, il est recommandé de faire appel à un spécialiste afin d'identifier exactement de quoi il s'agit et d'obtenir des conseils pour le traitement de la maladie. Il faut spécifier que les arbres souffrant de carences nutritionnelles sont généralement plus vulnérables aux ravageurs.

Refertilisation

L'effet bénéfique de la fertilisation initiale se fait sentir pendant une période de trois à cinq ans, après laquelle la croissance des arbres stagne. Dans le contexte d'une restauration écologique, ce ralentissement est tolérable, car la croissance annuelle des arbres dans les tourbières naturelles est généralement très lente (voir Figure 41). Ainsi, dans ces conditions, il n'est pas recommandé de fertiliser à nouveau les plants, à moins d'observer et une mortalité importante des plants qui ne peut être expliquée que par une déficience nutritionnelle.

Principales carences

Dans des sols acides comme la tourbe, les macronutriments (N, P, K, Ca, Mg et S) sont généralement peu disponibles et on peut donc s'attendre à des carences pour ces éléments. Au contraire, certains oligoéléments (Fe, Mn, Zn, Cu et Co) deviennent plus disponibles au fur et à mesure que l'acidité du sol augmente et le risque de carences pour ces éléments est très faible. Dans les tourbières résiduelles, des études ont démontré que l'élément le plus limitatif pour la croissance des arbres est le phosphore. Des carences en azote, en potassium, en cuivre et en bore ont aussi été observées dans des plantations en tourbière résiduelle (Figure 46).

Certains symptômes de carence peuvent aussi être associés à un problème de drainage, à des dommages par le gel ou par des ravageurs. Si une carence nutritive est suspectée, il est conseillé de procéder à des analyses de sol ainsi qu'à des analyses foliaires afin de le confirmer et de déterminer quels éléments nutritifs sont déficitaires. En cas de doute, il est fortement recommandé de consulter un spécialiste (forestier, ou agronome par exemple) afin de déterminer la cause exacte des symptômes observés et pour conseiller sur la marche à suivre pour régler le problème.

À titre indicatif, le Tableau 6 présente les symptômes de carence pour les macronutriments ainsi que pour deux micronutriments pour lesquels des carences ont déjà été observées dans les plantations sur tourbe résiduelle.



PHOTO : S. Hugron

Figure 46. Mélèze dont le feuillage est jaunâtre (à l'avant plant), probablement en raison d'une carence nutritive.

Tableau 6. Résumé des symptômes de carence pour chacun des éléments

Élément		Symptômes de carence	
		Conifères	Feuillus
Macronutriments	Azote (N)	Jaunissement du feuillage, débutant par les feuilles plus âgées. Croissance générale ralentie (nombre de branches et fructification réduits).	
	Phosphore (P)	Présence d'une coloration violacée sur le feuillage, débutant par les feuilles plus âgées. Retard de croissance et réduction de la fructification.	
	Potassium (K)	Jaunissement des vieilles aiguilles commençant par le bout. Aiguilles courtes.	La marge des feuilles jaunit, se nécrose et finit par s'assécher complètement.
		Croissance ralentie; dessèchement des branches.	
	Calcium (Ca)	Carence rare. La cime brunit et peut se recourber.	Chlorose (décoloration) et nécrose des feuilles.
		Dessèchement des bourgeons terminaux.	
	Magnésium (Mg)	Jaunissement et même rougissement des aiguilles. Coloration jaune-orangé s'étendant à la totalité de l'aiguille la seconde année.	Jaunissement entre les nervures des feuilles plus âgées, pouvant se dessécher et s'enrouler sur elles-mêmes.
Oligoéléments	Soufre (S)	Dépérissement rapide des jeunes arbres : les pointes des vieilles aiguilles rougissent, se nécrosent et tombent. Aiguilles restantes pouvant devenir vert pâle à blanc bleuté.	Coloration vert jaune pâle des jeunes feuilles; feuilles plus âgées non affectées.
		Symptômes similaires aux carences azotées.	
	Bore (B)	Flèche terminale recourbée. Mort prématurée des bourgeons apicaux, donnant une apparence similaire à celle d'un arbuste.	Jeunes feuilles rouges à brunâtres, plus petites et épaisses. Nouvelles tiges pouvant être décolorées et en zigzag.

Dans le cas de plantations utilisées comme brise-vent ou écran, la refertilisation pourrait avoir un effet bénéfique afin de stimuler la croissance. Lors de l'application d'une deuxième dose de fertilisant, l'ajout de phosphore donne généralement de bons résultats afin d'augmenter le taux de croissance des

arbres. En Amérique du Nord, l'application de 159 g par plant de roche phosphatée (une dose élémentaire de 9 g de phosphore par plant) a donné des résultats positifs pour les épinettes noires et les mélèzes.

Replantation

Lorsqu'une mortalité importante est observée dans les plantations (plus de 20 % pour les conifères ou plus de 30 % pour les essences décidues), un diagnostic devrait être effectué afin d'établir les causes possibles du faible taux de survie. Si les raisons expliquant la mortalité sont liées à une mauvaise préparation du site (p. ex. : canaux de drainage bloqués), à

une mauvaise qualité initiale des plants, à une manipulation inadéquate de ceux-ci ou à des dégâts physiques causés par la machinerie, nous recommandons d'effectuer les ajustements pour éviter que ces conditions ne se reproduisent et de remplacer les plants morts.

EN BREF

Il est important d'effectuer un suivi des plantations, et ce, pendant plusieurs années après la mise en terre des plants. La présence de plusieurs problèmes ou symptômes doit être vérifiée et, s'ils s'avèrent présents dans les plantations, des mesures correctrices devraient être apportées afin de rectifier la situation (Figure 47).

N'hésitez pas à faire appel à un spécialiste afin qu'il vous aide à effectuer les diagnostics des problèmes et à résoudre les problèmes éventuels.

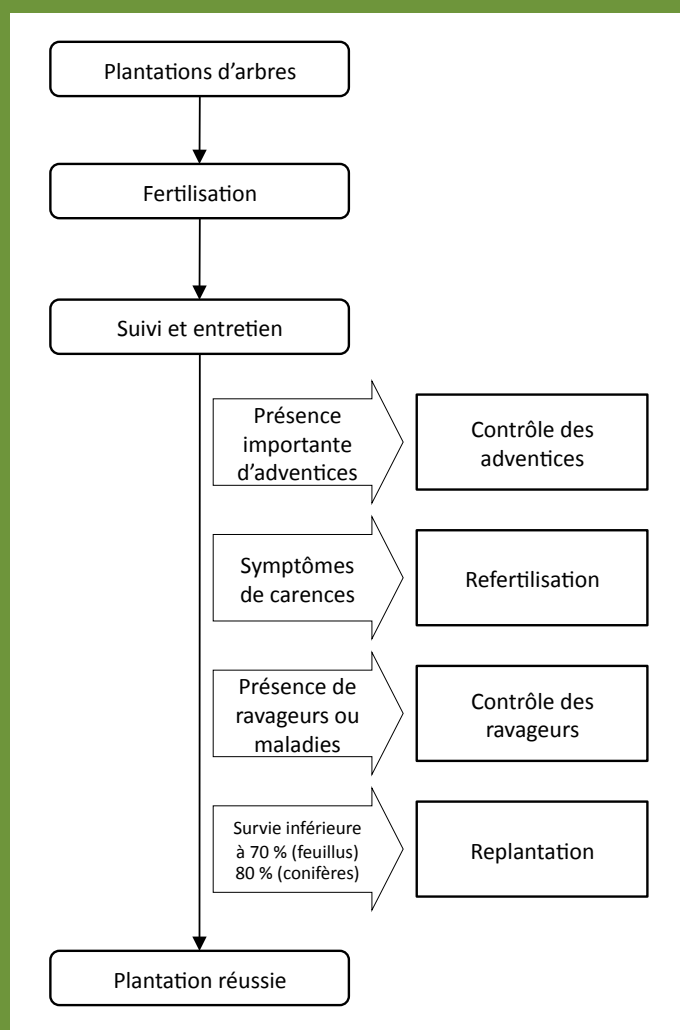


Figure 47. Le suivi et l'entretien des plantations

RÉFÉRENCES ET SUGGESTIONS DE LECTURE

Cregg, B. 2005. Conifer nutrition. Conifer corner, Michigan Landscape magazine, Sept/Oct issue: 42-45. (disponible en ligne : www.hrt.msu.edu/assets/Faculty-Photos/Cregg_Bert/conifernutrition.pdf).

Harris, R. W., Clark, J. R. et Matheny, N. P. 2004. Arboriculture – integrated management of landscape trees, shrubs and vines. Prentice Hall, New Jersey, États-Unis.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 2005. Qualité des plantations : guide de l'évaluateur. Gouvernement du Québec, Sainte-Foy. 40 p. (disponible en ligne : www.mrnf.gouv.qc.ca/).

Ontario Ministry of Natural Resources. 1995. Room to grow: controlling the competition. Ontario. 4 p. (disponible en ligne : www.lronline.com/Extension_Notes_English/).

Pallardy, S. 2008. Physiology of woody plants, 3e éd. Elsevier Inc., Burlington, Massachusetts, États-Unis. 454 p. (disponible en ligne : <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780120887651>).

Teagasc Agriculture and Food Development Authority. 2007. Nutrient deficiencies in forest crops. Fram Forestry Series No. 14. 8 p. (disponible en ligne : www.teagasc.ie).

Thiffault, N., Roy, V., Prément, G., Cyr, G., Jobidon, R. et Ménérier, J. 2003. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. Le Naturaliste canadien 127: 63-80.

Trottier, F., 1998. Performance des plantations établies par le ministère des Ressources naturelles, dans les forêts publiques du Québec, de 1986 à 1995. Publication RN98-3085, Direction de l'assistance technique, ministère des Ressources naturelles, Québec, 124 p. (disponible en ligne : www.mrnf.gouv.qc.ca/)

CHAPITRE 7

CONCLUSION

Les plantations d'essences forestières représentent un complément intéressant à la restauration écologique, car elles permettent d'augmenter la diversité d'habitats et d'espèces végétales associées aux sites restaurés. Les plantations peuvent être utilisées seules comme option d'aménagement dans les secteurs où la restauration écologique n'est pas possible en raison des conditions du site ou de problèmes logistiques. Dans le contexte de l'industrie de la tourbe horticole, les préoccupations environnementales et économiques des Canadiens pointent vers l'importance de toujours prioriser la restauration écologique lorsque cette option est possible.

La plantation d'arbres est un projet qui comprend plusieurs étapes (voir Figure 8) et qui s'échelonne sur plusieurs années. Les plantations doivent être prévues longtemps à l'avance, en même temps que la planification de l'exploitation d'une tourbière. Il est primordial de définir avant les travaux si les essences forestières seront utilisées comme complément à la restauration ou comme option de réaménagement en soi (Figure 9). Ces choix influenceront grandement le déroulement des étapes subséquentes et les critères d'évaluation du succès des plantations. Les travaux de plantation doivent être planifiés un à deux ans avant leur début en : caractérisant le futur site de plantation, choisissant les espèces à planter (Figure 18), effectuant les commandes auprès des pépinières et autres fournisseurs de matériel et déterminant les besoins au niveau des ressources humaines. La préparation du site doit être effectuée au moins quelques mois avant la plantation (Figure 16). La mise en terre des plants doit être une étape

très courte afin de garantir une bonne survie des plants. La fertilisation des plants est essentielle afin de garantir un bon taux d'implantation et de croissance (Figure 35). Après la plantation, le travail n'est pas terminé : un suivi doit être effectué régulièrement afin d'évaluer le succès, de pouvoir déterminer rapidement les problèmes potentiels et d'apporter les correctifs en conséquence (Figure 47). Il est important de ne pas trop tarder pour régler un problème, car il pourrait s'aggraver et éventuellement causer la mortalité des plants.

Certains grands sites en restauration peuvent être difficiles d'accès si l'abandon des activités de récolte ou le début de différents travaux de remouillage ont rendu le sol trop instable (mou) pour la circulation de la machinerie. Dans ces cas, il pourrait être intéressant d'explorer la possibilité d'effectuer la plantation en période hivernale. Le gouvernement de l'Alberta (T. Vinge, Ministry of Sustainable Resource Development, comm. pers.) a développé une méthode pour faire des plantations d'épinettes noires avec des plants déjà en hibernation dans des sols organiques gelés de tourbière. Cette approche permettant d'atteindre les îlots de plantation sur des sites relativement mouillés se doit d'être explorée.

Chaque projet de restauration et de plantations d'essences forestières est unique et nécessite mûre réflexion à toutes les étapes, de la conception au suivi. Nous espérons que ce guide sera un outil des plus complets pour vous guider lors de vos plantations et qu'il vous inspirera afin de réaliser un projet répondant à vos attentes.

REMERCIEMENTS

Ce guide a été produit grâce au financement provenant du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, du Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick, de l'Association canadienne de tourbe de sphaigne, de la Mousse Acadienne (1979) ltée, d'ASB Greenworld Ltd., des tourbières Berger ltée, de Fafard & Frères ltée, de la Compagnie de Tourbe FPM ltée, des Tourbières Lambert inc., des Tourbes Nirom Peat Moss Inc., de Premier Tech Horticulture et de Sun Gro Horticulture Canada ltée.

Les auteurs remercient chaleureusement Jacques Thibault, Sylvain Jutras et Josée Landry pour leurs commentaires constructifs, qui ont grandement contribué à améliorer le guide. Nous remercions également Claire Boismenu pour la révision linguistique du texte. Un grand merci à tous ceux qui ont permis d'enrichir le guide en nous transmettant des photos. Finalement, nous tenons également à remercier François Quinty qui a partagé avec nous son savoir concernant les plantations d'arbres en tourbières résiduelles.



GLOSSAIRE

Adventice Plante dont la présence est non désirée qui interfère avec la croissance et la survie des plantes ciblées dans les plantations.

Anaérobie Se dit des conditions d'un environnement caractérisées par un manque d'oxygène. Le contraire du terme « aérobie ».

Andin Ouvrage de retenue d'eau composé de tourbe dont le but est de distribuer également l'eau dans une tourbière restaurée et remouillée.

Asphyxie racinaire Mort des racines d'une plante par manque d'oxygène. Survient lorsque celles-ci se retrouvent dans l'eau pour une trop longue période de temps. Les racines ne sont alors plus en mesure de puiser l'eau dont la plante a besoin.

Biodiversité Diversité des organismes vivants dans une région donnée.

Brise-vent Alignement d'arbres, généralement perpendiculaire à la direction des vents dominants, dont le but est de ralentir la vitesse du vent et ainsi l'érosion éolienne, et/ou d'améliorer les conditions climatiques locales (température, humidité et accumulation de neige). Les haies brise-vent contribuent à la conservation des sols.

Bog Terme d'origine irlandaise désignant une tourbière alimentée en eau uniquement par les précipitations (pluie et neige). En Amérique du Nord, les bogs sont dominés par les mousses de sphaigne, les éricacées et l'épinette noire. Synonyme de tourbière ombrotrophe.

Carence Trouble de nutrition chez les plantes résultant du manque d'un élément essentiel.

Chlorose Symptôme apparaissant lorsqu'une feuille manque de chlorophylle et dont la couleur est typiquement jaunâtre

Débourrement Période de l'année, généralement au printemps, où les bourgeons éclosent.

Écran Arbres plantés dont le but est de cacher en totalité ou en partie une structure ou un bâtiment à des fins esthétiques.

Espèce compagne Espèce de plante qui contribue au développement d'une autre espèce végétale, notamment en apportant des éléments nutritifs nécessaires à sa croissance ou en améliorant les conditions environnementales.

Fen Terme d'origine anglaise désignant une tourbière alimentée en eau par le ruissellement de surface et/ou souterrain ayant été en contact avec le substrat minéral avoisinant en plus des précipitations. En Amérique du Nord, les fens sont dominés par les mousses brunes et les cypéracées. Synonyme de tourbière minérotrophe.

Fertilisation à la volée Fertilisation en surface sur tout le terrain en plantation.

Fertilisation localisée Fertilisation en surface sur un diamètre d'environ 10 cm autour du plant forestier, aussi appelée fertilisation en *spot*.

Gaz à effet de serre ou GES Gaz présents dans l'atmosphère qui, par leur capacité d'absorber et de renvoyer les rayons infrarouges provenant de la surface terrestre, contribuent au réchauffement climatique.

Hydrophyte Plante qui croît dans l'eau et dans les sols saturés en eau.

Lagg Terme d'origine suédoise désignant une zone humide à la marge des tourbières ombrotrophes.

Lessivage Entrainement par l'eau des éléments nutritifs solubles.

Minéralisation de l'azote Transformation, sous l'action de microorganismes, de l'azote organique du sol en azote minéral assimilable par les plantes.

Nutriment Élément nutritif organique ou minéral assimilable par la plante et qui est vital pour sa survie et sa croissance.

Oxydation Réaction chimique qui se produit lorsque la tourbe entre en contact avec l'oxygène de l'air et qui occasionne un dégagement de gaz carbonique (CO₂).

Planche de récolte Surface entre deux canaux de drainage d'où la tourbe est récoltée.

Plant étiolé État d'un plant qui est affaibli par le manque de lumière, qui se manifeste par une coloration plus pâle que normale, un faible développement des feuilles et un allongement des tiges.

Propagule Partie de plante ayant la capacité de produire un nouvel individu par reproduction asexuée (p. ex. : fragment de sphaigne ou de mousse, section de rhizome de certaines plantes herbacées, section de branche de certaines plantes ligneuses...).

Radicelle Petite racine fine qui porte les poils absorbants et qui est impliquée dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux.

Réaménagement d'une tourbière Aménagement d'une tourbière perturbée dont le but n'est pas le retour de l'écosystème d'origine. Équivalents anglais : *rehabilitation* ou *reclamation*.

Restauration d'une tourbière Aménagement d'une tourbière perturbée dont le but est la reconstitution des communautés végétales qui permettront le retour de la fonction d'accumulation de matière organique et de la biodiversité particulière des tourbières (p. ex. : les plantes carnivores).

Tourbe résiduelle Dépôt de matière organique restant après la récolte de la tourbe d'une tourbière.

Tourbière Milieu humide qui est caractérisé par l'accumulation de matière organique, qui est produite en plus grande quantité qu'elle n'est décomposée, menant à la formation d'une couche de tourbe en surface.

Tourbière résiduelle Tourbière laissée à la régénération spontanée après la récolte de la tourbe.

Zone de rusticité Zone la plus au nord où une espèce peut survivre. La rusticité dépend des conditions climatiques moyennes de chaque région, incluant les températures hivernales minimales, la durée de la période sans gel, les précipitations estivales, les températures maximales, l'enneigement, etc.





ANNEXE 1 : PROTOCOLE

PROTOCOLE : RÉCOLTE D'ÉCHANTILLONS POUR ANALYSE CHIMIQUE DE LA TOURBE RÉSIDUELLE

Description :

Le protocole suivant décrit la façon de récolter et d'entreposer les échantillons de tourbe avant de les envoyer à un laboratoire spécialisé pour les analyses.

Matériel :

- Contenants propres pour la récolte (p. ex. : sacs « Ziploc » neufs);
- couteau ou pelle pour creuser et récolter les échantillons;
- gants (pour ne pas toucher directement la tourbe);
- crayon marqueur pour identifier les sacs d'échantillons;
- glacière et « Ice packs » pour conserver les échantillons au frais avant l'analyse ou avant de les mettre au réfrigérateur ou au congélateur.

Échantillonnage :

On recueille généralement la tourbe à l'aide d'une pelle ou d'un couteau en prenant soin d'enlever toute végétation ou croûte oxydée située à la surface, sur environ 10 à 20 cm d'épaisseur. S'assurer de bien identifier le contenant de récolte afin de savoir d'où provient l'échantillon. Il faut récolter au moins 1 tasse (250 ml) de tourbe pour l'analyse du pH et de la conductivité et au moins 2 tasses (500 ml) si d'autres analyses sont prévues. Placer les échantillons au frais (glacière ou réfrigérateur) dès leur récolte. Conservez au congélateur les échantillons qui ne pourront pas être séchés rapidement après leur récolte.

Les échantillons doivent être séchés au maximum à 40°C le plus rapidement possible après leur récolte ou après leur décongélation. Les placer dans des assiettes d'aluminium propres au fond desquelles on a déposé une pellicule de plastique (p. ex. « Saran Wrap ») et les faire sécher pendant 2 à 3 jours, ou jusqu'à ce qu'ils soient secs. Pensez à bien identifier les assiettes d'aluminium. Évitez de toucher les échantillons avec vos doigts.

Une fois séchés, les échantillons peuvent être placés dans des sacs Ziploc neufs ou dans des contenants de plastique propres et bien identifiés. Ils peuvent alors être conservés quelques mois avant les analyses.

Analyses généralement demandées sur la tourbe sèche :

- P BrayII (ppm)
- échangeables (dans $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{BaCl}_2$) :
Ca, Mg, Fe, Mn, K, Na (ppm)
- N/NO_3 (ppm)
- N/NH_4^+ (ppm)
- pH
- conductivité (uS)
- Cl^- (ppm)
- concentrations totales :
N (%), P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na (ppm)

ANNEXE 2 : FICHES DE PRISE DE DONNÉES*

* Document .pdf des fiches disponible pour impression à partir du site du GRET : www.gret-perg.ulaval.ca sous l'onglet publications.

PLANIFICATION – DESCRIPTION DU SITE

SITE :
LOCALISATION (ville, prov., lat.et long.) :
PERSONNE-RESSOURCE :

DESCRIPTION GÉNÉRALE	Superficie disponible	
	Date de fin des activités de récolte	
	Caractéristiques du site avant la récolte de la tourbe - Type de tourbière - Espèces dominantes - Présence de mares et de bosquets	
	Végétation existante Végétation qui a colonisé naturellement les planches : - espèces - recouvrement (%)	
	Proximité des activités de récolte	
	Type de milieu naturel avoisinant - Type de milieu - Espèces dominantes - Présence de mares et de bosquets	

PLANIFICATION – DESCRIPTION DU SITE

TOURBE	ÉPAISSEUR DE LA TOURBE RÉSIDUELLE Incluant la localisation des sondages	
	Type de tourbe Sphaigne ou carex	
	Degré de décomposition	
	pH	
	Analyses chimiques - Date et lieu de récolte - Principaux résultats	
SOUS-SOL MINÉRAL	Texture (si le dépôt est inférieur à 150 cm)	
	Présence de sol minéral à la surface	
	Analyses chimiques (si le dépôt est inférieur à 30 cm)	
DRAINAGE	États des canaux - Actifs - À entretenir	
	Possibilité de remouillage - Est-ce que le remouillage est possible? - Existe-t-il des contraintes?	
	Signes de drainage déficient	
	Signes de drainage excessif	

PLANTATIONS – OPÉRATIONS DE PRÉPARATION

SITE :
LOCALISATION (ville, prov., lat. et long.) :
PERSONNE-RESSOURCE :

DATE DES TRAVAUX ET DURÉE	DESCRIPTION DES TRAVAUX	TRAVAUX EFFECTUÉS PAR

PLANTATIONS – MISE EN TERRE DES PLANTS

SITE :	
LOCALISATION (ville, prov., lat.et long.) :	
PERSONNE-RESSOURCE :	
But de la plantation Bosquet, lagg, haie-brise vent, etc.	
Provenance des plants	
Date de réception des plants	
Date de la mise en terre	
Nombre total de plants mis en terre - Incluant espacement entre les plants	
Espèces plantées - Incluant le nombre de plants/espèce - Hauteur moyenne des plants	
État des plants - Rapport H/D adéquat - Hauteur moyenne des plants à la plantation - Absence de signes de maladies et de carences	
Fertilisation - Date d'application - Formulation par espèce	

SITE :
LOCALISATION (ville, prov., lat.et long.) :
PERSONNE-RESSOURCE :
DATE DU SUIVI :

[illegible]

¹ Pour chaque arbre mesuré, indiquer un numéro d'arbre unique ce qui permettra de déterminer le nombre total d'arbres échantillonnés.

PLANTATIONS – SUIVI

SITE :
LOCALISATION (ville, prov., lat.et long.) :
PERSONNE-RESSOURCE :
DATE DU SUIVI :

TAUX DE SURVIE			
Espèce	Nb plants vivants	Nb plants morts	Nb plants total

CARENCES NUTRITIONNELLES

Description des symptômes	
Mesures correctives apportées (incluant la date d'application)	

ENVAHISSEMENT PAR LES ADVENTICES

Description de l'envahissement	
Mesures correctives apportées (incluant la date d'application)	

OBSERVATIONS SUR LES MALADIES ET LES RAVAGEURS

Description des symptômes	
Mesures correctives apportées (incluant la date d'application)	

