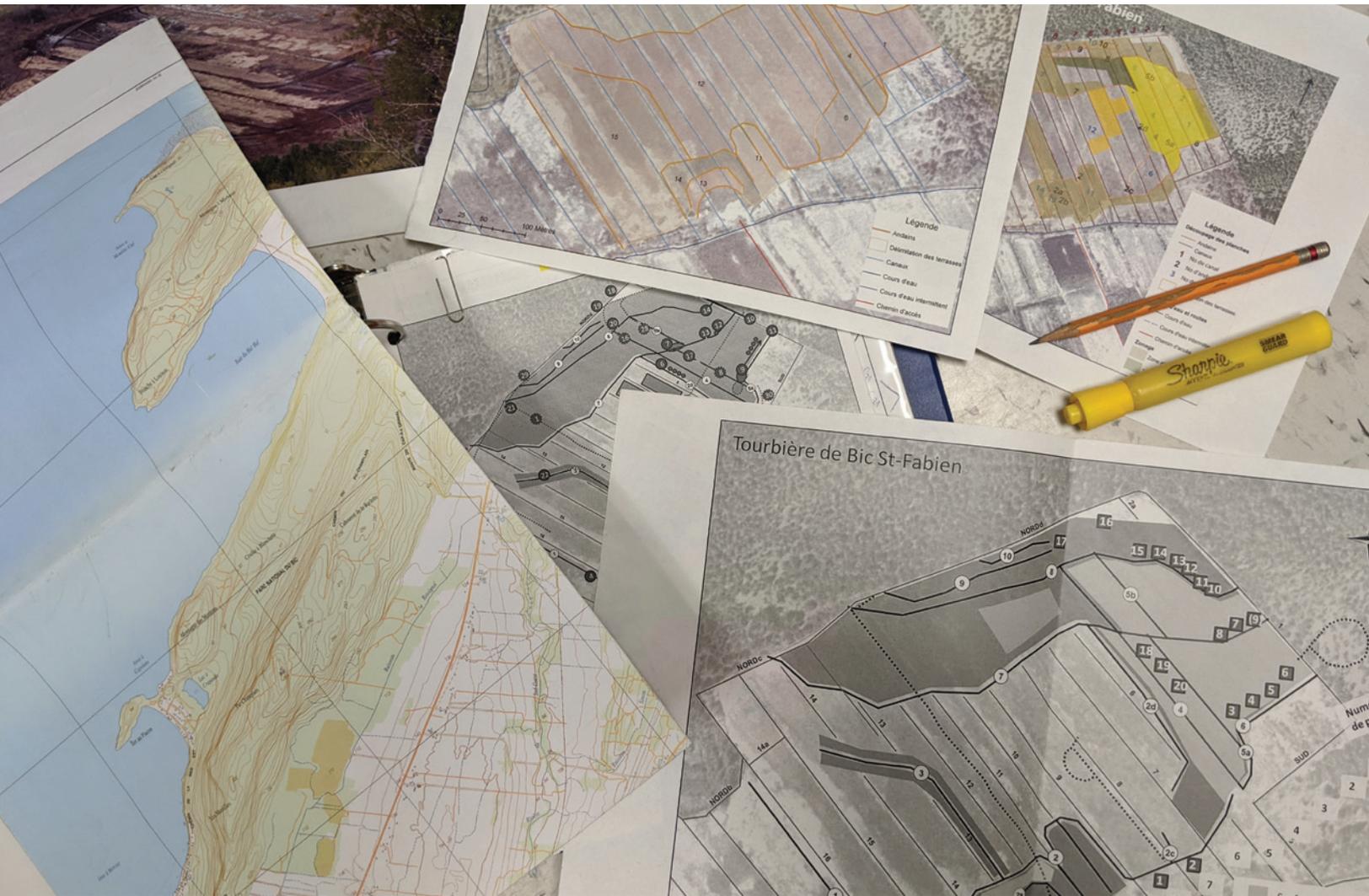


Guide de restauration des tourbières

Planification de la restauration



François Quinty, Marie-Claire LeBlanc et Line Rochefort

Publié en partenariat par



Avec la participation financière de



En partenariat avec



Crédits photos

Marie-Claire LeBlanc : couverture, Fig. 3;

John Prevost : couverture arrière.

Ce document devrait être cité comme suit

Quinty, F., M.-C. LeBlanc et L. Rochefort. 2020. Guide de restauration des tourbières – Planification de la restauration. GRET, CSPMA et APTHQ. Québec, Québec.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	4
Méthode de transfert de la couche muscinale	4
Standards internationaux pour la restauration écologique	5
Processus de planification	6
Définition du projet de restauration	7
Caractérisation du secteur	7
A. Caractéristiques de l'écosystème avant la perturbation	8
B. Caractéristiques du secteur à restaurer	8
i. Conditions hydrologiques	8
ii. Topographie	10
iii. Caractéristiques de la tourbe	12
iv. Aspects chimiques	14
v. Végétation existante	14
C. Caractéristiques du milieu environnant	15
D. Source de matériel végétal	16
Choix de l'option de mise en valeur	16
Planification des travaux	17
Élaboration du plan de restauration	17
Planification du suivi	20
Ressources, temps et coûts	20
Résumé	21
Annexes	22
Annexe A – Exemple de carte présentant la caractérisation d'une tourbière avant restauration	22
Annexe B – Exemple de plan de restauration	23

INTRODUCTION

Le présent fascicule a été préparé afin de rendre disponibles les nouvelles approches développées pour la planification des projets de restauration de tourbières depuis la parution du *Guide de restauration des tourbières, 2^e édition* en 2003¹. Il s'adresse principalement à l'industrie de la tourbe horticole, mais sera utile à toute personne qui s'intéresse à la restauration des tourbières à sphaignes qui ont été drainées et dont la surface présente un substrat de tourbe dénudée. Il constitue une mise à jour et remplace la section du guide de 2003 qui portait sur la planification de la restauration (p. 15 à 26 dans la version française).

Le fascicule débute par un court rappel de la méthode de transfert de la couche muscinale, puis détaille les étapes de la planification des projets. Le temps et les ressources nécessaires pour chacune de ces étapes sont aussi décrits.

MÉTHODE DE TRANSFERT DE LA COUCHE MUSCINALE

La méthode de transfert de la couche muscinale (MTCM) développée par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET, Université Laval) pour la restauration des tourbières à sphaignes (bogs, fens pauvres et fens modérément riches) se base sur la réintroduction active d'espèces végétales de tourbières et la gestion hydrologique. La méthode a été utilisée dans plus d'une centaine de projets de restauration au Canada ainsi que dans plusieurs autres pays. Elle permet le retour de plus de 80 % des espèces qui forment le matériel végétal prélevé dans un site donneur et limite à seulement 3 à 6 % les espèces non associées aux tourbières sur les sites restaurés. De plus, le suivi de la végétation à long terme (> 10 ans) montre une diminution de ces espèces atypiques avec le développement du tapis muscinal. Une étude du GRET en collaboration avec des chercheurs de l'Université McGill a démontré hors de tout doute qu'une tourbière restaurée depuis 15 ans peut à nouveau capter et séquestrer du carbone².

Le succès de la méthode de transfert de la couche muscinale est largement lié à la qualité des opérations de restauration ainsi qu'aux conditions météorologiques et hydrologiques dans lesquelles celles-ci sont réalisées. La MTCM inclut les opérations suivantes :

- Planification ;
- Préparation du secteur à restaurer ;
- Récolte de matériel végétal sur un site donneur ;
- Épandage du matériel végétal ;
- Épandage d'un paillis ;
- Fertilisation ;
- Remouillage par le blocage du système de drainage ;
- Suivi des secteurs restaurés.

¹ Quinty, F. et L. Rochefort. 2003. *Guide de restauration des tourbières, 2^e édition*. Association canadienne de mousse de sphaigne et ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec.

² Nugent, K., I.B. Strachan, M. Strack, N.T. Roulet et L. Rochefort. 2018. Multi-year net ecosystem carbon balance of a restored peatland reveals a return to carbon sink. *Global Change Biology* 24 (12) : 5751-5768.

Le présent fascicule se concentre avant tout sur l'étape de la planification dans le cadre de la restauration des tourbières dominées par les sphaignes. La distinction entre réaménagement, restauration écologique et réhabilitation³ est d'ailleurs décrite dans l'encadré qui suit.

RÉAMÉNAGEMENT, RESTAURATION ÉCOLOGIQUE ET RÉHABILITATION

Le **réaménagement** est un terme général qui comprend l'ensemble des travaux qui visent à aménager un milieu à la suite d'une activité quelconque. La restauration écologique et la réhabilitation sont des formes de réaménagement.

La **restauration écologique**, selon la *Society of Ecological Restoration (SER)*, est le processus qui assiste l'autoréparation d'un écosystème endommagé, dégradé ou détruit. L'objectif de la restauration est le retour des composantes biologiques et des attributs de l'écosystème de référence, soit une tourbière dans le cas présent. Étant donné que les tourbières sont des écosystèmes qui évoluent avec le temps, leur restauration peut viser l'établissement de conditions qui ont existé à un moment ou un autre de l'évolution de la tourbière et qui peuvent être différentes de celles qui prévalaient au moment de la perturbation. À titre d'exemple, une tourbière à sphaignes utilisée pour l'extraction de tourbe pourrait être restaurée en tourbière dominée par les carex sachant que le site évoluera, avec le temps, vers une tourbière à sphaignes qui était en place avant l'extraction de la tourbe.

Par comparaison, l'objectif de la **réhabilitation** est de remettre un site perturbé ou contaminé dans un état acceptable et sécuritaire qui comporte des caractéristiques naturelles minimales sans égard à l'écosystème original. On pourrait penser, par exemple, à la plantation d'arbres en tourbière postextraction ou à l'établissement d'un couvert végétal sur un parc à résidus miniers.

STANDARDS INTERNATIONAUX POUR LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

L'approche de restauration décrite dans ce guide est le fruit de nombreuses années de collaboration entre l'industrie de la tourbe horticole du Canada et la communauté scientifique, particulièrement le Groupe de recherche en écologie des tourbières. Elle répond à la nécessité de trouver des pistes pour diminuer l'empreinte environnementale des activités humaines et est basée sur de nombreux essais et projets de recherche qui visaient à développer, puis à peaufiner les méthodes de restauration des tourbières. L'approche rejoint aussi les Standards internationaux pour la restauration écologique de la *Society for Ecological Restoration (SER)*⁴. La SER est une organisation internationale à but non lucratif qui promeut la science et les bonnes pratiques de restauration écologique au bénéfice des humains, de la biodiversité, des écosystèmes et du climat. Elle développe des outils, publie des documents de référence, diffuse de l'information et établit des normes afin de définir et d'offrir l'excellence dans le domaine de la restauration écologique.

³ Les mots soulignés réfèrent à un encadré.

⁴ Gann G.D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C.R. Nelson, J. Jonson, J.G. Hallett, C. Eisenberg, M.R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler et K.W. Dixon. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. 2^e édition. *Restoration Ecology* 27(S1): S1-S46. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13035>

Les Standards internationaux s'adressent à tous les types de restauration écologique. L'approche décrite dans ce guide respecte et s'inspire des 8 principes qui sous-tendent la restauration écologique selon la SER :

1. La restauration écologique mobilise les parties prenantes ;
2. La restauration écologique s'appuie sur de nombreux types de connaissances ;
3. Les pratiques de restauration écologique s'inspirent des écosystèmes de référence indigènes, tout en tenant compte des changements environnementaux ;
4. La restauration écologique soutient les processus de rétablissement de l'écosystème ;
5. Le rétablissement de l'écosystème est évalué en fonction de buts et d'objectifs clairs, à l'aide d'indicateurs mesurables ;
6. La restauration écologique vise le plus haut niveau de rétablissement possible ;
7. La restauration écologique gagne en valeur cumulée lorsqu'elle est appliquée à grande échelle ;
8. La restauration écologique s'inscrit dans un continuum d'activités de restauration.

Plus particulièrement, les Standards définissent des balises quant à la planification, la mise en œuvre, le suivi et le maintien des projets de restauration écologique, lesquelles sont applicables et pertinentes dans un contexte de tourbières.

PROCESSUS DE PLANIFICATION

Le processus de planification devrait être amorcé avant l'arrêt des opérations d'extraction de tourbe sur un secteur⁵ de tourbière afin de réduire la durée pendant laquelle les surfaces sont drainées et sans végétation. Remettre la restauration à plus tard requiert des opérations additionnelles et entraîne une hausse des coûts, en plus de réduire les chances de réussite. Avec le temps, les conditions du milieu et de la tourbe se détériorent : il peut alors y avoir une diminution de la capacité de stockage de l'eau causée par l'oxydation et la décomposition, l'apparition du phénomène de soulèvement gélival, la formation d'une croûte à la surface, etc. Plus le temps passe et plus on risque que des plantes indésirables envahissent le secteur.

Dans une optique de lutte aux changements climatiques, la restauration rapide des secteurs permet aussi d'éviter l'émission de grandes quantités de gaz à effet de serre (GES) puisque c'est lorsque les surfaces sont asséchées et dénudées de végétation que ces émissions sont les plus importantes. Selon une étude sur les GES, la restauration sans délai permet de contrebalancer l'impact des activités d'extraction 155 ans plus tôt qu'un site restauré après un délai de 20 ans. Si un secteur ne peut être restauré rapidement, il vaut mieux en bloquer le drainage pour faire remonter le niveau de l'eau en attendant de procéder aux travaux.

En règle générale, il est plus facile de gérer adéquatement le blocage des fossés de drainage lorsque des secteurs adjacents sont restaurés simultanément. Il est donc

⁵ Le terme « site » réfère à un site de production de tourbe, donc à une tourbière. Le mot « secteur » décrit quant à lui une zone homogène, affectée par un même réseau de drainage. C'est à cette échelle que la restauration doit être planifiée. Les planches sont quant à elles les champs de tourbe, séparés par les fossés de drainage secondaires. Par contre, afin d'alléger la lecture, les termes « site » et « secteur » sont tous deux utilisés dans ce document afin de désigner les zones en restauration.

avantageux de coordonner la fermeture des secteurs et les travaux de restauration subséquents afin d'inclure de plus grandes superficies.

Pour toutes ces raisons, il est recommandé de planifier le moment où les secteurs de tourbière cesseront d'être utilisés dès leur ouverture de façon à faciliter la restauration à l'échelle du site. La planification de la restauration débute donc bien avant la fermeture d'un secteur. Tous les projets de restauration et de réhabilitation doivent débiter par une planification minutieuse afin de s'assurer de bien identifier les options appropriées pour un secteur donné et d'évaluer le temps et les ressources nécessaires pour leur mise en œuvre. La planification de la restauration comprend deux étapes :

1. Définition du projet de restauration ;
2. Planification des travaux.

C'est à l'étape de la définition du projet qu'on détermine les options qui ont une chance d'être appliquées avec succès selon les caractéristiques du secteur, et qu'on précise le but à atteindre et les objectifs visés par le projet. Le **but d'un projet de restauration de tourbière est le retour de l'écosystème et ses fonctions, incluant l'accumulation de tourbe et la biodiversité**. Le projet comporte également des objectifs spécifiques qui mènent à poser des actions dont les résultats sont mesurables et permettent d'évaluer le succès des travaux.

Pour sa part, la planification des travaux vise à définir précisément les procédures qui doivent être appliquées pour atteindre les objectifs, ce qui comprend les méthodes, les ressources, un échéancier ainsi qu'une évaluation des coûts.

DÉFINITION DU PROJET DE RESTAURATION

La définition du projet de restauration consiste à analyser les facteurs qui influencent les travaux de restauration qui seront requis, notamment en ce qui concerne la préparation du terrain. L'analyse de ces facteurs peut aussi mener au choix d'une option de restauration autre qu'une tourbière à sphaignes, par exemple vers un fen ou un autre type de milieu humide. Lorsque les conditions ne le permettent pas, des options de réaménagement telles que la plantation d'arbres peuvent être envisagées. Il faut donc faire une analyse approfondie de ces facteurs dès le début d'un projet de restauration.

Caractérisation du secteur

Malgré des méthodes d'extraction de tourbe similaires employées par l'industrie, les tourbières peuvent présenter des conditions variables une fois ces activités terminées. L'épaisseur du dépôt tourbeux, le type de tourbe, la nature du substrat sous-jacent et la topographie sont, entre autres, à l'origine de ces différences. Il importe donc de caractériser précisément les secteurs à restaurer afin de guider le choix de l'option ou de la méthode de restauration à privilégier.

La caractérisation vise la collecte des informations pertinentes sur les conditions du secteur à restaurer, soit :

- A. Caractéristiques de l'écosystème avant la perturbation
- B. Caractéristiques du secteur à restaurer
 - i. Conditions hydrologiques
 - ii. Topographie
 - iii. Caractéristiques de la tourbe
 - iv. Aspects chimiques
 - v. Végétation existante
- C. Caractéristiques du milieu environnant
- D. Source de matériel végétal

A. Caractéristiques de l'écosystème avant la perturbation

À leur état naturel, toutes les tourbières possèdent des caractéristiques propres (ouvertes ou forestières, avec ou sans mares, communautés végétales spécifiques, etc.). Elles ont aussi pu être affectées par d'autres activités qui les ont modifiées avant même le début des activités d'extraction de la tourbe. L'identification des éléments anciennement présents sur le secteur peut guider le choix des éléments à rétablir ou à considérer lors des travaux (par exemple, la présence de mares). Les conditions originales permettent aussi d'interpréter les résultats de la restauration à l'étape du suivi. Par exemple, on peut s'attendre à ce que des arbres s'établissent si la tourbière était boisée à son état d'origine.

Les informations sur les conditions de la tourbière avant la perturbation peuvent provenir de plusieurs sources :

- Rapports géologiques, descriptions écologiques, cartes, études d'impact sur l'environnement, études sur la végétation ;
- Photographies anciennes et récentes, aériennes ou prises au niveau du sol ;
- Témoignages de travailleurs du milieu de la tourbe et de gens de la région ;
- Évidences paléoécologiques, dendrochronologie ;
- Tourbières naturelles locales similaires ou secteurs naturels de tourbières utilisées pour l'extraction de tourbe.

Les caractéristiques de la tourbière avant la perturbation influencent :

- Le type d'éléments qui pourront être inclus dans le plan de restauration ;
- L'interprétation des résultats du suivi.

B. Caractéristiques du secteur à restaurer

i. Conditions hydrologiques

Le potentiel de remouillage est essentiel en restauration de tourbières puisqu'il s'agit de milieux humides. Or, la capacité des tourbières naturelles à emmagasiner l'eau et à régulariser les fluctuations de la nappe phréatique est diminuée lorsqu'elles sont drainées. Il faut examiner les conditions hydrologiques du secteur postextraction afin d'évaluer le potentiel

de remouillage et d'élaborer les stratégies de gestion de l'eau qui permettront de fournir un approvisionnement suffisant pour assurer l'établissement des sphaignes et autres plantes.

On doit identifier les pertes d'eau potentielles ainsi que les contraintes au blocage du drainage et à la hausse de la nappe phréatique. À titre d'exemple, ces contraintes peuvent inclure la taille du secteur à restaurer, la présence de secteurs adjacents encore en production, de fossés de drainage en bordure du secteur de restauration devant demeurer actifs ou la perte partielle de la couche imperméable au fond des fossés.

TAILLE DU SECTEUR À RESTAURER

Puisqu'il est question de travaux qui requièrent de la machinerie, un projet de restauration vise habituellement une superficie d'au moins 1 hectare (ha). Il est plus facile de rehausser la nappe phréatique et de créer des conditions hydrologiques adéquates à l'établissement des plantes de tourbières sur un grand secteur que sur quelques planches adjacentes à des zones encore utilisées pour l'extraction de tourbe. On doit aussi tenir compte qu'un fossé de drainage affecte le niveau d'eau jusqu'à une distance d'environ 15 m latéralement : la nappe phréatique de secteurs restaurés situés près de fossés actifs sera donc plus basse, ce qui aura des répercussions sur les plantes en établissement.

La restauration doit être réalisée dans des secteurs où les fossés peuvent être bloqués, ce qui est généralement le cas lorsque de grandes superficies sont fermées. De plus, la restauration de grandes surfaces facilite la circulation de la machinerie, ce qui augmente l'efficacité des travaux. Le coût de la restauration est aussi généralement diminué grâce aux économies d'échelle et de temps réalisées en restaurant de plus grandes superficies à la fois. En définitive, si les secteurs sont trop petits ou situés trop près de secteurs où l'extraction de tourbe a toujours lieu, il pourrait être préférable de reporter la restauration.

Pour des surfaces de plus petite taille, comme ça pourrait être le cas dans une aire protégée ou sur une surface où la végétation a été décapée pour la construction de structures pétrolières, il est possible d'utiliser des équipements plus petits tels un véhicule tout-terrain, un ARGO (VTT amphibie) et des équipements qui leur sont adaptés. Mais l'expérience suggère que la restauration de grands secteurs mène à de meilleurs taux de réussite, surtout en regard des conditions hydrologiques.

Les secteurs naturels adjacents au secteur de restauration doivent être pris en considération dans les plans de restauration parce qu'ils représentent la principale source d'eau, autre que les précipitations, susceptible de l'alimenter et de contribuer au maintien de conditions hydrologiques favorables. Par contre, un apport d'eau issu de milieux non tourbeux pourrait affecter négativement les plantes de tourbières si les caractéristiques chimiques de l'eau ne sont pas appropriées.

Les conditions hydrologiques déterminent :

- Le potentiel de remouillage et de restauration des conditions hydrologiques adéquates pour les plantes de tourbières ;
- La stratégie de préparation du terrain pour le remouillage.

Actions à réaliser :

- Identifier les sources d'eau potentielles et déterminer leurs caractéristiques chimiques (voir aussi le point iv. sur les aspects chimiques);
- Identifier les pertes d'eau potentielles ;
- Déterminer les contraintes à la hausse de la nappe phréatique ;
- Examiner le réseau de drainage régional.

ii. Topographie

La topographie influence directement la répartition et les mouvements de l'eau, deux éléments qui ont un impact direct sur les conditions d'établissement des plantes. Il est important de répartir l'eau le plus également possible à travers le site et d'éviter la création de secteurs inondés ou secs durant de longues périodes. L'écoulement de l'eau à la surface de la tourbe peut déplacer le matériel végétal introduit et le paillis protecteur, et éroder la tourbe en surface ou autour des ouvrages de rétention d'eau. Lorsque les secteurs à restaurer sont en pente, il est nécessaire de construire des digues de tourbe de façon à répartir l'eau le plus uniformément possible et en contrôler les mouvements. Dans certains cas, la remontée topographique à l'extrémité des anciennes planches d'extraction peut empêcher un remouillage adéquat et forcer le choix d'options autres que la restauration pour ces zones surélevées. De la même façon, une dénivellation prononcée entre la tourbière en restauration et les milieux naturels adjacents peut rendre la restauration de la bordure inefficace. Il importe donc de bien caractériser ces zones afin d'y prévoir des actions spécifiques.

À une autre échelle, il faut tenir compte de la topographie des planches à restaurer. Plusieurs ont un profil bombé (convexe) pour favoriser le drainage rapide de l'eau lors de l'extraction. Ces planches doivent être aplanies de façon à ce que l'eau puisse se répartir sur toute la surface. De plus, tous les éléments topographiques, buttes surélevées, bordure des chemins, dépressions humides, devraient être notés afin de prévoir adéquatement leur aplanissement. La modification du profil des planches fera partie du plan de restauration.

On recommande de procéder à un relevé pour dresser une carte topographique qui permettra de mieux planifier la préparation du secteur. Les relevés topographiques devraient être réalisés en mesurant plusieurs points sur chacune des planches, aux endroits où l'on suspecte une dénivellation, ainsi que le long de transects traversant les secteurs à restaurer d'une extrémité à l'autre, jusqu'aux milieux naturels adjacents lorsque possible. Ceci peut être réalisé relativement facilement à l'aide d'instruments d'arpentage ou encore en ayant recourt aux services d'une firme spécialisée. En reportant les données d'élévation sur un graphique, il devient facile de visualiser la préparation de terrain nécessaire afin d'obtenir une topographie plane et graduelle (figure 1). Grâce aux drones et aux données LiDAR, qui sont maintenant disponibles gratuitement pour certaines régions, il est aussi possible de préparer un modèle numérique de terrain qui présente la topographie avec une bonne précision. Ces données ouvrent la possibilité de déterminer la zone d'influence du blocage d'un fossé ou encore d'identifier le nombre et la localisation des digues à construire. Une évaluation visuelle des pentes peut aussi aider à déterminer l'endroit où des digues sont nécessaires, mais cette méthode n'est pas recommandée.

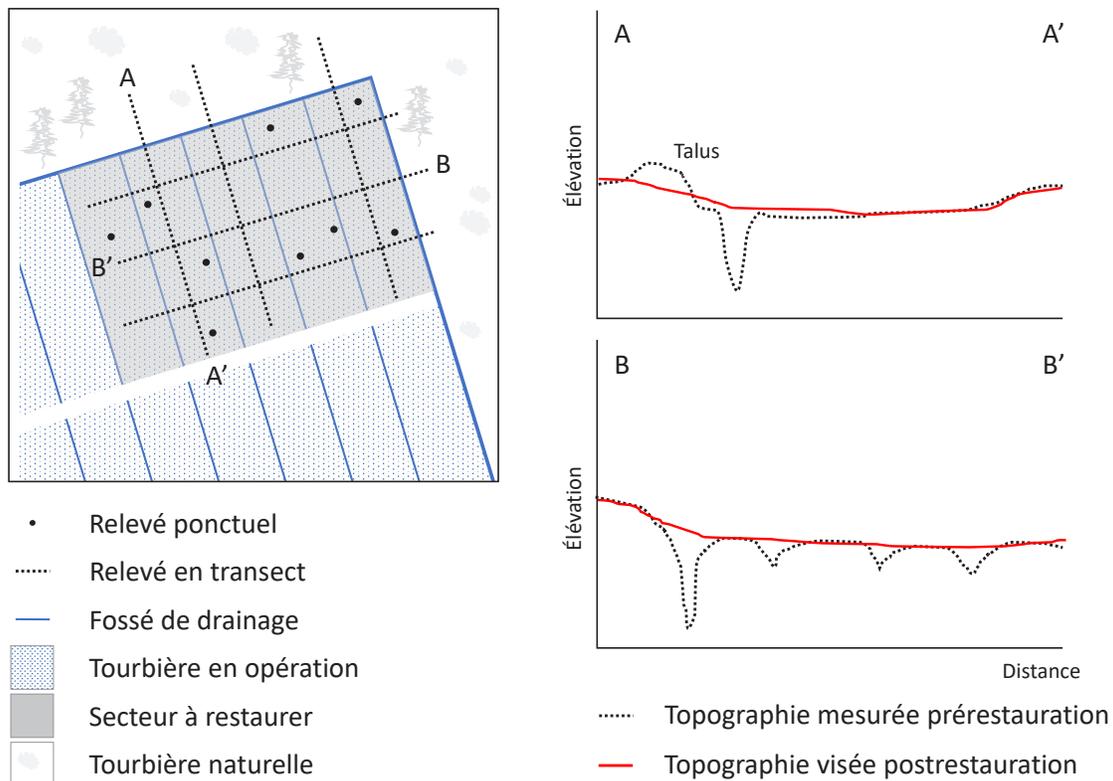


Figure 1. Exemple de localisation des relevés topographiques (à gauche) et de profils le long de deux transects (à droite; A et B) d'un secteur à restaurer.

La topographie détermine :

- Les interventions nécessaires pour la préparation du secteur ;
- L'emplacement des digues ;
- La zone d'influence du blocage des fossés ;
- Le potentiel de remouillage localement ;
- La possibilité de création de mares aux endroits naturellement plus humides.

Actions à réaliser :

- Effectuer un relevé topographique ou un modèle numérique de terrain du secteur ;
- Identifier les planches au profil convexe ;
- Identifier les zones où la topographie devra être remaniée.

iii. Caractéristiques de la tourbe

Un plan de restauration adéquat devrait inclure des informations sur les caractéristiques de la tourbe résiduelle telles que son épaisseur, sa composition botanique dominante (tourbe de sphaigne, tourbe de carex, etc.) et son degré de décomposition sur l'échelle de von Post. Ces informations sont essentielles pour choisir l'option de réaménagement la plus appropriée. Lorsque la couche de tourbe est mince, les racines des plantes peuvent facilement entrer en contact avec le substrat minéral sous-jacent. De plus, les eaux de surface peuvent être enrichies en éléments nutritifs. Ces deux situations favorisent l'établissement d'espèces indésirables et pourraient nuire aux plantes de tourbières. La présence de matériel minéral (argile, sable, gravier) à la surface de la tourbe, parfois issu de l'entretien des fossés de drainage, devrait aussi être prise en compte lors de la planification des travaux. De plus, la faible capacité de stockage de l'eau de la tourbe très décomposée crée des conditions d'humidité variables qui ne sont pas propices à l'établissement des sphaignes.

Il n'est pas facile de déterminer l'épaisseur minimale de la couche de tourbe permettant la restauration d'une tourbière à sphaignes. Par principe de précaution, une épaisseur d'au moins 50 cm de tourbe devrait être conservée pour la restauration, mais il existe des endroits où des conditions de tourbière ombrotrophe sont encore présentes avec une épaisseur de tourbe moindre. Il est fréquent de rencontrer des dépôts de tourbe de carex de faible épaisseur au bout de planches situées à la marge d'une tourbière offrant des conditions plus favorables au réaménagement qu'à la restauration. En fait, il est préférable de s'en remettre à la chimie et à la composition botanique de la tourbe qu'à son épaisseur.

Les caractéristiques de la surface de la tourbe doivent aussi être examinées avant d'entreprendre la préparation du terrain. Il reste souvent une couche de tourbe meuble issue d'un dernier hersage de la surface des planches. Cette couche de tourbe meuble est instable et très sensible aux processus d'érosion et de soulèvement gélival. Un autre phénomène qui apparaît sur les planches où les activités d'extraction ont cessé est la formation d'une fine croûte formée d'un mélange de cyanobactéries, de lichens, d'algues, de mousses et d'hépatiques aussi nommée « croûte biologique ». La présence de tourbe meuble ou de cette croûte biologique empêche les fragments végétaux d'avoir accès à l'eau du dépôt tourbeux sous-jacent par capillarité. Pour ces raisons, il sera essentiel de rafraîchir la surface de la tourbe avant d'épandre les fragments végétaux. Ce sujet est discuté dans le fascicule sur la **Préparation du site et remouillage**.

Les caractéristiques de la tourbe déterminent :

- Le choix entre la restauration d'une tourbière à sphaignes, d'un fen et d'autres options de réaménagement ;
- Les procédures de préparation du terrain.

Déterminer :

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

SOULÈVEMENT GÉLIVAL

Le soulèvement gélival se produit lorsque la température oscille autour du point de congélation (alternance gel-dégel) et que le sol contient beaucoup d'eau (figures 2 et 3). Lorsque le gel pénètre la surface de la tourbe, l'eau contenue dans le sol est attirée vers la surface et gèle à son contact. Des aiguilles ou des cristaux de glace sont alors créés. Les particules de tourbe en surface et les fragments végétaux réintroduits sont alors soulevés par la glace. Quand celle-ci fond, généralement dans les heures qui suivent les gels nocturnes, les particules de tourbe et les fragments végétaux se déposent sur le sol. L'action répétée de ce processus ameublît la tourbe, mêle les fragments végétaux à la tourbe et empêche leur enracinement. Cela peut même briser les tapis de sphaigne et soulever les plantules nouvellement établies. Le soulèvement gélival amène la création d'une microtopographie très particulière dont la surface est sujette à l'érosion et demeure souvent dénudée de végétation.

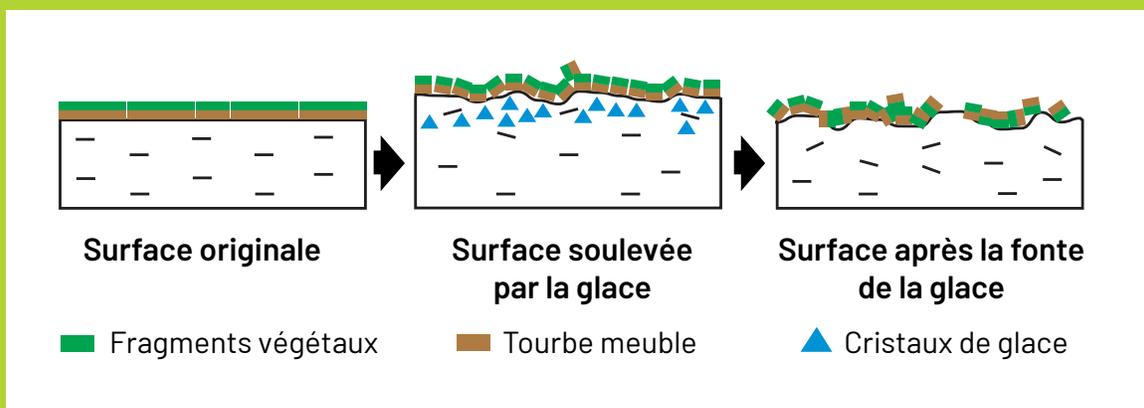


Figure 2. Illustration des perturbations causées par le soulèvement gélival aux surfaces de tourbe et aux fragments de plantes qui s'y trouvent.



Figure 3. Microtopographie typique se formant à la surface de la tourbe suite au soulèvement gélival (à gauche).

iv. Aspects chimiques

Une analyse chimique de l'eau et de la tourbe devrait être réalisée pour s'assurer que les conditions sont appropriées à l'établissement des plantes des tourbières à sphaignes. Pour la plupart des sites, une simple analyse du pH et de la conductivité électrique permet de déterminer à quel type de milieu s'apparente le dépôt résiduel. En règle générale, **les seuils maximums recommandés pour la restauration de tourbières à sphaignes sont de 5,5 à 5,8 pour le pH et de 100 à 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la conductivité électrique.** La détermination de la concentration en éléments minéraux de la tourbe résiduelle tels le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le potassium (K) s'avère un complément utile à la prise de décision. Pour restaurer une tourbière à sphaignes, la concentration des cations de base ne devrait pas dépasser 5 à 9 mg/l pour le Ca, 4 à 8 mg/l pour le Mg, et 0,5 à 2 mg/l pour le K. À noter que les tourbières côtières auront une conductivité électrique plus élevée si la concentration en sodium (sels marins) est élevée. Lorsque les valeurs de chimie de l'eau ou de la tourbe sont plus élevées, il serait approprié de considérer la restauration en faveur d'une tourbière minérotrophe (fen). Lorsque le milieu est considérablement enrichi en nutriments (azote ou phosphore), la restauration d'un marais, d'un marécage ou la plantation peuvent être des options valables. Des concentrations relativement élevées de Ca sont néfastes pour les sphaignes et un enrichissement en éléments nutritifs, particulièrement l'azote et le phosphore, pourrait favoriser l'établissement d'espèces indésirables.

Les aspects chimiques déterminent :

- L'option de réaménagement à considérer, soit le choix du type de tourbière à restaurer (tourbière à sphaignes ou fen) ou la réhabilitation en faveur d'un autre type de milieu humide;
- Les possibilités d'invasion par les espèces indésirables.

Analyser :

- Le pH et la conductivité électrique de l'eau et de la tourbe (analyser aussi les sources d'eau potentielles);
- Le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium et les éléments nutritifs (azote et phosphore).

v. Végétation existante

Les sites où l'extraction de tourbe a cessé peuvent être colonisés par diverses communautés végétales s'ils sont laissés sans intervention pour quelques années. La végétalisation débute généralement par la bordure des fossés où on trouve des conditions plus humides et parfois plus riches en élément minéraux. La végétation devrait être retirée lors de l'étape de la préparation du secteur, à deux exceptions près :

- 1) dans les zones très humides où il sera de toute façon très difficile de circuler avec la machinerie,
- 2) dans les zones où des espèces graminoides sont densément implantées, ce qui pourrait être un indicateur de conditions minérotrophes qui nécessiteraient la restauration d'un fen.

En toutes circonstances, les espèces présentes devraient être identifiées, car elles représentent une source utile de renseignements sur les caractéristiques chimiques et hydrologiques d'un site.

Des projets de restauration ont montré que des espèces envahissantes, telles que le roseau commun (*Phragmites australis*) ou le bouleau (*Betula* spp.), peuvent rapidement coloniser des secteurs qu'on a voulu restaurer. Ces espèces très compétitives peuvent ensuite limiter l'accès aux ressources des autres plantes de tourbières, ce qui compromet leur établissement et leur croissance. La présence de telles espèces sur le secteur à restaurer ou à proximité doit être prise en compte lors de la planification de la restauration et du choix de restaurer ou de réhabiliter. On peut alors adapter les pratiques selon les méthodes de propagation de ces espèces, comme par exemple en réalisant les travaux de restauration hors de la période de dissémination des graines de ces espèces, ou en évitant l'introduction de diaspores (rhizomes, racines, etc.) dans des secteurs adjacents où ces espèces ne sont pas établies.

La végétation existante détermine :

- Le choix entre la restauration d'une tourbière à sphaignes, d'un fen et la réhabilitation ;
- Les procédures de préparation du terrain.

Évaluer :

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

C. Caractéristiques du milieu environnant

Plusieurs tourbières utilisées pour l'extraction de la tourbe se situent dans de grands complexes de milieux humides. L'étude attentive de la situation hydrogéomorphologique de la tourbière à restaurer pourra révéler des indices sur l'évolution du secteur à restaurer. À titre d'exemple, au Manitoba, plusieurs tourbières à sphaignes sont en fait des îlots ombrotrophes insérés dans de grands fens. Il ne serait donc pas étonnant que le secteur restauré soit influencé par des apports d'eau riches à l'échelle du paysage.

Le milieu environnant et les activités humaines influencent aussi le potentiel de remouillage. Par exemple, il est difficile de restaurer une tourbière entourée de terres consacrées à l'agriculture, car le drainage agricole peut abaisser le niveau de la nappe phréatique à l'échelle régionale.

Actions à réaliser :

- Identifier la nature des terrains adjacents (tourbière naturelle, agriculture, opérations forestières, développement urbain, parcs industriels, etc.);
- Déterminer le sens d'écoulement des eaux au niveau régional dans lequel s'insère l'écosystème.

D. Source de matériel végétal

Puisque la méthode de restauration par transfert de la couche muscinale repose sur l'introduction active de plantes propres aux tourbières, une source suffisante de matériel végétal de bonne qualité constitue un élément essentiel pour réaliser un projet de restauration. Il faut donc, à l'étape de la planification de la restauration, s'assurer d'avoir accès à une quantité suffisante de matériel végétal composé des plantes recherchées pour la restauration des tourbières à sphaignes (voir le fascicule **Récolte du matériel végétal et gestion des sites donneurs**).

La source de matériel végétal détermine :

- Le choix entre la restauration et la réhabilitation ;
- Les procédures de récolte des plantes.

Évaluer :

- La présence et l'abondance des sphaignes ainsi que la composition du couvert végétal ;
- La superficie du site donneur en fonction de la superficie du secteur à restaurer ;
- L'accès au site donneur.

Choix de l'option de mise en valeur

Les éléments recueillis lors de la caractérisation du secteur permettent de sélectionner l'option de réaménagement la plus appropriée en fonction des conditions qui prévalent, soit la restauration de tourbière à sphaignes, d'un fen ou un autre type de réhabilitation.

La restauration d'une tourbière à sphaignes selon la méthode du transfert de la couche muscinale requiert deux conditions essentielles :

- La possibilité de créer des conditions hydrologiques qui garantissent un apport suffisant en eau aux plantes épandues à la surface. Il faut donc d'abord déterminer le potentiel de remouillage d'un secteur.
- La présence de conditions chimiques appropriées aux tourbières à sphaignes puisque les espèces de sphaignes de ces milieux sont intolérantes à un pH trop élevé et à un environnement riche en calcium ou en éléments nutritifs (N, P). Le type de tourbe et son degré de décomposition, la présence d'espèces envahissantes, en plus des analyses chimiques de l'eau et de la tourbe peuvent être indicatrices de bonnes ou de mauvaises conditions. Ces éléments varient le long d'une même planche de sorte qu'il faut en dresser un portrait général à l'échelle du secteur à restaurer.

On doit considérer ces deux facteurs conjointement et évaluer leur influence sur les chances de succès de la restauration. Une autre option de réaménagement devrait être choisie si on estime que la restauration a peu de probabilités de réussir.

PLANIFICATION DES TRAVAUX

Une fois que l'analyse des conditions d'un secteur mène à un choix quant au type de milieu à restaurer (but du projet), la deuxième composante d'une bonne planification consiste à établir un plan de restauration. Cette étape primordiale permet de déterminer et de prévoir précisément chacune des opérations à réaliser. La planification des opérations est un facteur très important pour la réussite de la restauration pour plusieurs raisons :

1. **Elle permet d'intégrer les travaux de restauration aux opérations usuelles d'extraction de la tourbe.** Par exemple, la restauration de planches où l'extraction de tourbe est terminée, et l'ouverture de nouveaux secteurs peuvent être effectuées conjointement puisqu'il est ainsi possible de récupérer et d'utiliser le matériel végétal des planches en ouverture pour la restauration.
2. **Elle garantit que l'opération la plus appropriée est effectuée au bon endroit, au bon moment et de la bonne façon.** La méthode de transfert de la couche muscinale repose sur l'introduction de plantes dont le succès d'établissement dépend d'une série de facteurs qui sont associés à chacune des opérations de restauration. On doit tenir compte que le matériel biologique vivant nécessite des précautions et des soins particuliers.
3. **Elle permet d'obtenir les ressources matérielles et humaines requises au moment voulu.** Les délais imprévus entre chacune des étapes de la restauration peuvent affecter considérablement la réussite du projet. À titre d'exemple, un temps d'attente trop long entre les étapes de l'épandage du matériel végétal et de la paille peut diminuer la survie des mousses puisque ces dernières sont très sensibles à la dessiccation. L'arrivée hâtive d'une chute de neige peut aussi entraver les travaux.
4. **Elle permet de recueillir des données sur le déroulement des opérations** et de faire progresser le développement des techniques de restauration des tourbières. Toutes les informations concernant les travaux telles que les caractéristiques du secteur avant l'extraction de la tourbe, la végétation du site donneur, le temps requis pour effectuer les travaux et les détails du déroulement des opérations devraient être documentées. L'analyse de ces informations, en plus des données recueillies sur l'établissement des plantes et le régime hydrologique des secteurs, aidera à identifier les facteurs responsables du succès ou de l'échec de la restauration. C'est la diversité des projets de restauration qui permet de développer et d'améliorer les techniques de restauration des tourbières.
5. **Elle diminue le coût de la restauration.** Si toutes ces recommandations sont mises en pratique, la planification réduira assurément le coût de la restauration en permettant une gestion efficace du temps, des ressources et du matériel.

ÉLABORATION DU PLAN DE RESTAURATION

L'élaboration du plan de restauration procure un outil indispensable pour la gestion d'un projet de restauration, ce qui facilite le déroulement des opérations et permet d'en estimer le coût.

PLANS DE RESTAURATION

Les plans de restauration peuvent être de deux types :

Plan conceptuel : Le plan de restauration conceptuel peut être élaboré dans le but de satisfaire aux exigences réglementaires ou en amont d'un projet. Il fait couramment partie des documents demandés pour l'obtention des autorisations pour mener une activité qui affectera une tourbière. Ce plan est qualifié de conceptuel car, en général, il ne s'appuie pas sur les conditions résiduelles qui prévalent sur un secteur, mais plutôt sur celles qu'on anticipe à la cessation des activités. Il comprend une description générale du secteur, il définit des buts et objectifs en fonction des options acceptées par la législation (restauration de tourbière, habitat forestier, création de mares, etc.) et de leurs chances de succès, il décrit sommairement les méthodes qui seront utilisées et il s'accompagne d'une carte qui indique les secteurs de la tourbière où ces options seront appliquées. Il comprend aussi un programme de suivi. Le plan conceptuel n'est pas abordé dans le présent guide de restauration puisque chaque institution définit ses propres barèmes.

Plan opérationnel : Le plan opérationnel est celui dont il est question dans ce guide lorsqu'on mentionne « plan de restauration ». Il constitue la feuille de route qu'utilise la personne qui doit mener un projet de restauration. Il se base sur les conditions résiduelles observées au secteur à restaurer.

Un plan de restauration devrait comprendre les éléments suivants :

- Une **carte du secteur** à restaurer indiquant :
 - la zone de restauration et ses dimensions ;
 - le site donneur et ses dimensions (sur une autre carte si nécessaire) ;
 - les zones d'accès et de circulation ;
 - les zones d'entreposage du matériel végétal ;
 - le réseau de drainage et les endroits où il sera bloqué ou modifié ;
 - les données topographiques, incluant les zones où la topographie doit être remaniée ;
 - le tracé prévu des digues ;
 - la localisation prévue des mares ou d'autres éléments à mettre en place.
- Une **description détaillée de chacune des opérations** à réaliser incluant :
 - la nature des travaux ;
 - un échéancier ;
 - les équipements requis ;
 - le matériel requis ;
 - les ressources humaines requises.

Si certaines étapes de la restauration consistent en tâches assez simples (i.e. l'épandage des plantes et de la paille), les travaux associés à la préparation du secteur à restaurer exigent d'être définis à l'avance afin de pouvoir être réalisés adéquatement. Par exemple, la disposition de la tourbe de surface issue du nivellement, la largeur et la hauteur des digues, l'emplacement, la taille et la profondeur des mares doivent être déterminés à l'avance.

L'**échancier de réalisation des opérations** représente un élément important puisque le but de la planification est de prévoir les activités à venir. Ainsi, on peut faire la liste des activités dans l'ordre chronologique avec des dates butoir, même approximatives. Certaines opérations peuvent être exécutées à n'importe quel moment de l'année, tandis que d'autres nécessitent des conditions particulières. L'échéancier facilite la mobilisation des ressources au bon endroit au moment opportun.

Il est important de pouvoir compter sur des **équipements appropriés** et en bon état de marche. Il est possible qu'on doive louer des équipements qui ne sont pas utilisés pour l'extraction de tourbe, tels que les épandeurs à fumier, à paille et à fertilisant. Il faut identifier l'endroit où on peut les louer, s'assurer de leur disponibilité et leur bon état de marche en fonction des conditions propres aux tourbières. La pression au sol de la machinerie (poids de l'équipement vs nombre et type de pneus) est particulièrement importante et il pourrait être nécessaire de modifier la machinerie utilisée pour prévenir son enlèvement (par exemple en doublant les roues). Il en va de même pour les équipements dont peuvent disposer les producteurs de tourbe mais qui peuvent être sur un site de production différent, comme une niveleuse ou un rotoculteur qu'il faut transporter au site de restauration.

Les **intrants requis pour la restauration** se limitent généralement à la paille et au fertilisant (voir le fascicule sur l'**Épandage du matériel végétal, du paillis et du fertilisant**). Il faut trouver et acheter la paille à l'avance et au bon moment de l'année, soit avant que les agriculteurs procèdent à leur récolte, ainsi que l'acheminer sur le site. À défaut de planification, il faudra s'en procurer auprès d'un revendeur à un coût plus élevé et possiblement à une plus grande distance. Il faut aussi commander le fertilisant à l'avance pour éviter des ruptures de stock et des délais.

La planification permet de pouvoir compter sur la disponibilité des **ressources humaines requises** lors des travaux. Cet aspect est important compte tenu que les travaux de restauration se déroulent souvent en dehors de la période des opérations d'extraction (parfois l'hiver), à un moment où certains travailleurs saisonniers pourraient ne pas être disponibles.

PLANIFICATION DU SUIVI

Le suivi de la restauration ne se limite pas à la collecte de données sur l'établissement des plantes. Il commence dès l'étape de la planification par la prise en note des caractéristiques du secteur à restaurer et du site donneur, ainsi que tous les détails concernant le déroulement des travaux de restauration. Ces informations pourront permettre de planifier le suivi qui devra être fait, d'identifier les éléments responsables du succès de la restauration ou des problèmes particuliers à un secteur.

Le suivi devrait comprendre des visites régulières du secteur restauré, notamment au dégel et au cours de l'année suivant les travaux de restauration, afin de détecter et de corriger rapidement les problèmes éventuels. Une attention particulière devrait être portée aux structures de blocage des fossés de drainage et aux digues qui peuvent céder lors du premier dégel, ou encore entraîner l'inondation d'un secteur.

Tous les éléments mentionnés précédemment peuvent être colligés dans un document qui servira de cahier de bord lors des travaux de restauration. On pourra aussi y noter les changements apportés au plan établi, ce qui permettra de conserver un historique des opérations pour référence et suivi ultérieurs.

RESSOURCES, TEMPS ET COÛTS

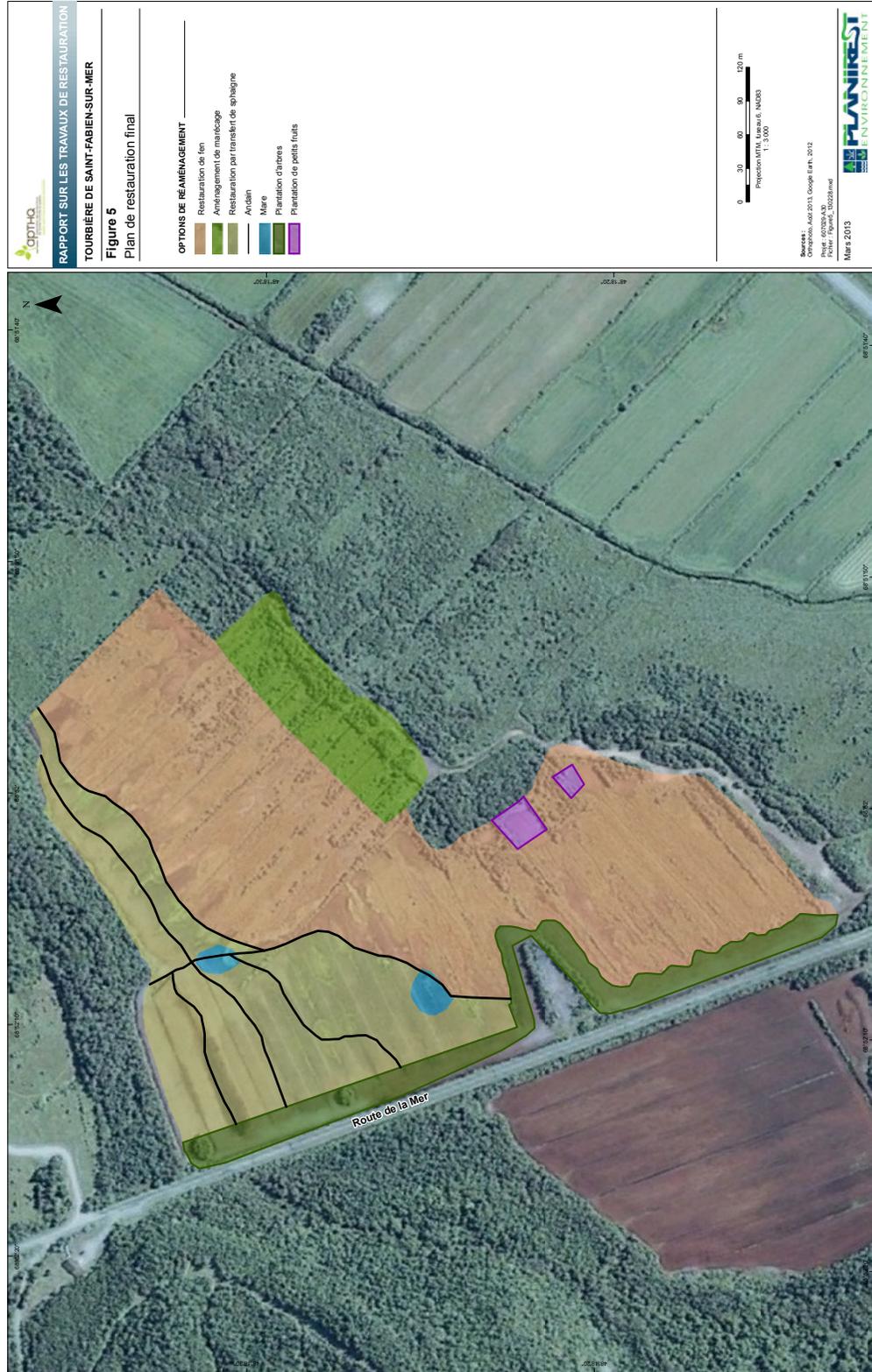
Selon une estimation réalisée en 2011 à partir des données provenant de l'industrie de la tourbe horticole canadienne et de consultants, la planification de la restauration exigerait 1 heure par hectare à quoi s'ajouterait 1 heure par hectare pour du support technique. Ces chiffres doivent être interprétés avec soin car plusieurs facteurs peuvent faire varier le temps requis pour cette étape.

La planification comprend la cueillette et l'analyse des données en amont du projet jusqu'à l'élaboration d'un plan des opérations (travaux, ressources, échéancier, etc.). Elle inclut aussi la gestion administrative du projet de restauration. Pour sa part, le support technique concerne les tâches qui doivent être faites par du personnel spécialisé telles que les analyses chimiques, la cartographie et le relevé topographique. Certaines tâches peuvent être considérées comme des frais fixes puisqu'elles demandent un niveau d'effort comparable sans égard à la taille du secteur à restaurer. La recherche et l'achat des intrants, la mobilisation de l'équipement et la gestion administrative en font partie. Pour leur part, la cueillette et l'analyse des données peuvent exiger beaucoup de temps. Pour cette étape, l'expérience de la personne responsable et la complexité du projet influencent grandement le nombre d'heures qui seront allouées au projet de restauration. De plus, le support technique peut devoir être réalisé, en tout ou en partie, par des consultants externes ce qui augmente les coûts.

RÉSUMÉ

- Coordonner les activités d'ouverture et de fermeture de secteurs de tourbières afin de restaurer rapidement les plus grandes superficies possibles.
- Déterminer avec précision les conditions du secteur à restaurer puisqu'elles dicteront les actions à réaliser. Les éléments à évaluer incluent :
 - Conditions hydrologiques : sources et pertes potentielles d'eau ;
 - Topographie : données d'élévation à l'intérieur et autour du secteur ;
 - Caractéristiques de la tourbe : épaisseur du dépôt, type et dépôt sous-jacent ;
 - Aspects chimiques : pH et conductivité en particulier ;
 - Végétation existante : couvert végétal existant, présence de plantes envahissantes.
- Évaluer les deux facteurs essentiels à la restauration d'un secteur par la méthode de transfert de la couche muscinale : le potentiel de remouillage et les conditions chimiques appropriées aux tourbières à sphaignes.
- Préparer un plan de restauration comprenant une carte du secteur à restaurer, les éléments à réaliser et à mettre en place (site donneur, digues, blocage du drainage etc.) ainsi qu'une liste de chacune des opérations à exécuter.
- Détailler un échéancier afin de s'assurer du bon déroulement de chacune des étapes des travaux et d'avoir tout le nécessaire au bon endroit, au bon moment.

Annexe B – Exemple de plan de restauration (cas de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer au Québec)

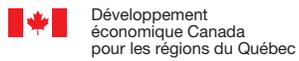




Publié en partenariat par



Avec la participation financière de



En partenariat avec

