

Guide de restauration des tourbières

Épandage du matériel végétal, du paillis et du fertilisant



François Quinty, Marie-Claire LeBlanc et Line Rochefort

Publié en partenariat par



Avec la participation financière de



Développement
économique Canada
pour les régions du Québec

Canada Economic
Development
for Quebec Regions



En partenariat avec



Crédits photos

Marie-Claire LeBlanc : couverture, Fig. 3, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 11, couverture arrière ;
François Quinty : Fig. 2, Fig. 4, Fig. 10 ;
Rémy Pouliot : Fig. 5.

Ce document devrait être cité comme suit

Quinty, F., M.-C. LeBlanc et L. Rochefort. 2020. Guide de restauration des tourbières –
Épandage du matériel végétal, du paillis et du fertilisant. GRET, CSPMA et APTHQ. Québec, Québec.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	4
Méthode de transfert de la couche muscinale	4
Épandage du matériel végétal	5
Quantité de matériel végétal à épandre	5
Épandre le matériel végétal	8
Ressources, temps et coûts	10
Résumé	10
Épandage du paillis	11
Fonctions d'un paillis	11
Types de paillis	12
Densité du paillis	13
Épandre le paillis	15
Ressources, temps et coûts	17
Résumé	18
Fertilisation	19
Le phosphore	19
Dosage du fertilisant	20
Application du fertilisant	20
Impacts potentiels sur l'environnement	21
Ressources, temps et coûts	23
Résumé	23

INTRODUCTION

Le présent fascicule a été préparé afin de rendre disponibles les connaissances acquises 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 les sections du guide de 2003 qui portaient sur l'épandage des plantes, l'épandage du paillis et la fertilisation (p. 49 à 62 dans la version française).

Le fascicule débute par un court rappel de la méthode de transfert de la couche muscinale, puis il décrit la façon d'épandre le matériel végétal, le paillis et le fertilisant. 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 site ;
- 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 sites restaurés.

¹Quinty, 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.

²Nugent, 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 sur les étapes de l'épandage du matériel végétal, du paillis et du fertilisant dans le cadre de la restauration des tourbières dominées par les sphaignes.

ÉPANDAGE DU MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'épandage du matériel végétal est une opération simple puisqu'il s'agit d'appliquer la bonne quantité de fragments en une couche uniforme sur le substrat tourbeux pour favoriser le succès de la restauration.

Quantité de matériel végétal à épandre

Il est difficile de déterminer précisément la quantité de fragments végétaux à épandre sur une surface donnée en raison des différences rencontrées dans la qualité du matériel végétal. Lors de la planification des travaux et de la récolte des plantes sur le site donneur, on évalue la quantité de matériel végétal requise en fonction de la superficie des secteurs³ à restaurer. Lors de l'épandage, l'évaluation de la quantité de matériel végétal à appliquer⁴ se fait visuellement. Des expériences comparant différentes quantités de matériel végétal ont montré que l'application d'une couche uniforme et mince donne les meilleurs résultats (figure 1 et tableau 1). En toutes circonstances, il est important de ne pas oublier que :

- Les sphaignes et autres mousses n'ont pas de racines et s'alimentent en eau par capillarité ou par les précipitations ;
- Les fragments doivent être en contact direct avec le substrat tourbeux pour avoir un meilleur accès à l'eau ;
- Les fragments situés sur le dessus d'une couche trop épaisse de matériel végétal ne sont pas en contact avec le sol et ont tendance à sécher ;
- Les fragments ensevelis sous une couche trop épaisse de matériel végétal auront un accès limité à la lumière ;
- Le matériel végétal doit recouvrir uniformément de 80 à 100 % de la surface du sol, car la végétation ne s'établit pas facilement par la suite et les endroits dénudés auront tendance à le rester durant une longue période.

³ 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 est réalisée. 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.

⁴ Les mots soulignés réfèrent à un encadré.

ÉVALUATION DE LA QUANTITÉ DE MATÉRIEL VÉGÉTAL À APPLIQUER

Étant donné que l'évaluation de la quantité de matériel végétal à appliquer se fait visuellement, il peut être parfois difficile d'estimer le recouvrement du sol par le matériel végétal lorsque ce dernier est de la même couleur que le substrat tourbeux. Pour faciliter cette évaluation, on peut faire un test en disposant des plaquettes ou une pellicule quelconque sur le sol avant l'épandage des plantes puis en observant la quantité de matériel végétal qui les recouvre après l'épandage (figure 2).

Il est préférable d'utiliser un matériau de couleur claire (une bâche, un sac de plastique, des plaquettes de bois ou de métal) pour mieux distinguer le matériel végétal qui est généralement foncé. On peut disposer plusieurs plaquettes pour obtenir une évaluation plus juste ou les disposer de manière à pouvoir vérifier si l'épandage se fait de façon uniforme latéralement dans la zone couverte par l'épandeur.

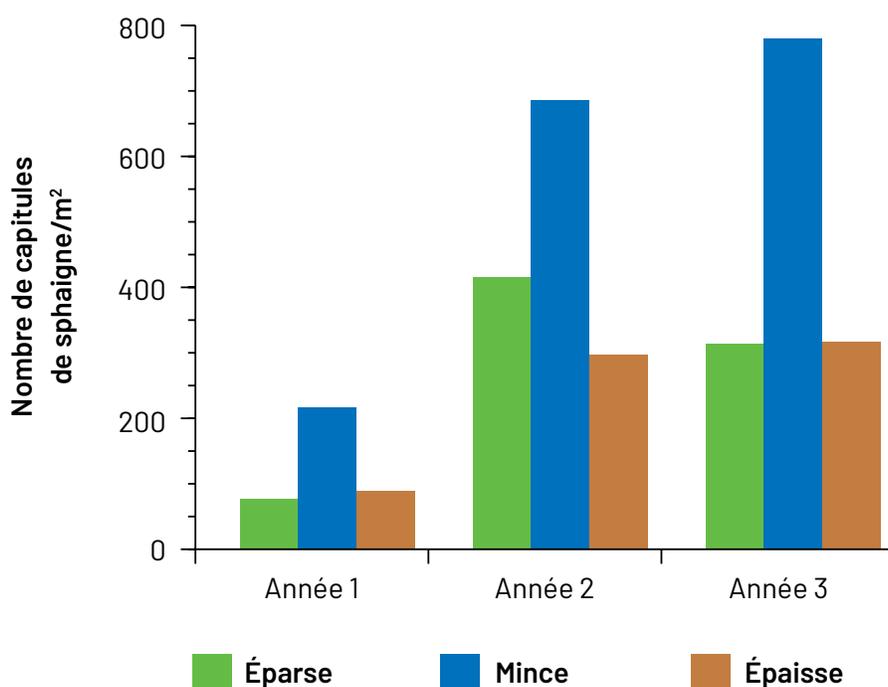


Figure 1. Établissement des sphaignes (en nombre de capitules par m²) en fonction de l'épaisseur de la couche de matériel végétal épandue durant les trois années suivant la restauration. Les résultats suggèrent qu'il est préférable d'appliquer une couche mince plutôt qu'une couche épaisse ou éparse.

Tableau 1. Description des quantités appropriées et inappropriées, en terme d'épaisseur de matériel végétal épandu.

Évaluation	Quantité	Description
Inappropriée	Couche épars	Le matériel végétal ne couvre pas entièrement le sol, la couche est discontinue soit en raison d'une application inégale, d'une quantité trop faible de matériel végétal ou parce qu'il est formé de mottes, ce qui rend difficile l'application d'une couche mince et uniforme.
Appropriée	Couche mince	Le sol est recouvert de 80 à 100 % d'une couche uniforme de matériel végétal de 1 à 2 cm d'épaisseur, lorsque non compressée (figure 2). Il est possible d'apercevoir la tourbe sous-jacente à quelques endroits.
Inappropriée	Couche épaisse	Le substrat tourbeux est complètement recouvert d'une couche de matériel végétal de plus de 2 cm d'épaisseur et le sol n'est pas visible. Les fragments situés sur le dessus de la couche ne sont pas en contact avec le substrat tourbeux et peuvent se dessécher.



Figure 2. Recouvrement du sol par le matériel végétal tel qu'évalué à l'aide d'une plaquette de bois. Ici la photo montre un exemple de recouvrement approprié (95 %).

En règle générale, on doit être en mesure d'apercevoir légèrement la surface de la tourbe sous les fragments, mais la quantité de matériel à épandre peut être adaptée à la qualité du matériel. Lorsque les plantes sont récoltées trop profondément (plus de 10 cm de la surface), une partie de tourbe sans potentiel de régénération est également récoltée ce qui diminue la qualité du matériel végétal. D'autre part, l'épandage de matériel végétal récolté au printemps peut entraîner une surestimation de la quantité de fragments épandus s'il contient de la neige ou de la glace.

MATÉRIEL VÉGÉTAL RÉCOLTÉ AU PRINTEMPS

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

Épandre le matériel végétal

Le matériel végétal est épandu à l'aide d'épandeurs à fumier conventionnels (figure 3). La plupart des épandeurs permettent d'appliquer le matériel végétal en une couche uniforme. Le premier chargement de matériel végétal est habituellement utilisé pour ajuster la quantité de matériel épandu. Pour ce faire, une personne se place à une distance sécuritaire à l'arrière de l'épandeur à fumier pour vérifier la quantité de fragments épandus en faisant varier le débit de l'épandeur et la vitesse du tracteur. Cette étape permet également de déterminer la largeur couverte par l'épandage. Une fois que la bonne combinaison entre la vitesse du tracteur et le débit de l'épandeur a été trouvée, l'opérateur peut faire le travail seul.

Il est recommandé d'établir une séquence d'épandage qui permet d'éviter le passage de la machinerie sur le matériel végétal lors de l'application du paillis. Le fait de circuler avec un tracteur ou toute autre machine sur les fragments végétaux avant qu'ils soient recouverts du paillis risque de les enterrer ou de les mélanger à la tourbe, ce qui nuira à leur survie. Puisque les épandeurs à paillis couvrent généralement une surface beaucoup plus large que les épandeurs à fumier utilisés pour le matériel végétal, la stratégie la plus efficace consiste à épandre 2 à 3 bandes de matériel végétal puis de les couvrir de paillis avec une pailleuse latérale sans avoir à circuler sur les fragments introduits.



Figure 3. Épandage du matériel végétal à l'aide d'un épandeur à fumier à panneau hydraulique et batteurs horizontaux.



Figure 4. Épandeur à fumier à tablier avec batteurs verticaux.



Figure 5. Épandeur en V à épandage latéral.

Divers types d'épandeurs ont été utilisés pour le matériel végétal, dont :

- Épandeur à tablier/tapis et batteurs horizontaux ;
- Épandeur à panneau hydraulique (*hydropush*) et batteurs horizontaux (figure 3) ;
- Épandeur à tablier/tapis et batteurs verticaux (figure 4) ;
- Épandeur en V à épandage latéral (figure 5).

La plupart des équipements utilisés permettent un épandage acceptable sans difficulté, à l'exception de l'épandeur latéral en V dont le mécanisme peut se bloquer en raison de la présence de racines et de branches.

Le matériel végétal est lourd, surtout quand il est gorgé d'eau, et un épandeur chargé peut facilement s'enliser lorsque le sol est mou. Il est préférable d'utiliser un épandeur équipé de pneus qui permettent une meilleure flottaison. Les conditions du sol constituent aussi un facteur important à considérer. Un sol gelé, au printemps ou à la fin de l'automne, ou un sol sec, généralement à la fin de l'été, offrent les meilleures conditions.

Il n'est pas recommandé d'épandre le matériel végétal lorsque le sol est trop mou, car la machinerie risque de créer des ornières profondes sur le sol. Des essais sur le terrain ont montré que ces ornières ont un effet négatif sur l'établissement des plantes. Les dépressions créées par les ornières offrent des conditions favorables à l'établissement des mousses, mais les zones situées entre celles-ci ont tendance à sécher plus rapidement, de sorte que sur l'ensemble de la surface, les conditions sont moins propices (voir le fascicule sur la **Préparation du site et remouillage**). Des observations montrent aussi que le paillis qui recouvre les zones surélevées entre les ornières est facilement déplacé par le vent, ce qui favorise le soulèvement gélival. Le paillis déplacé s'accumule habituellement dans les ornières, où il forme une couche épaisse et opaque qui nuit à l'établissement des plantes.

Le milieu de l'été n'est pas le meilleur moment pour épandre le matériel végétal même si des conditions favorables aux opérations peuvent être présentes, parce que les plantes s'assèchent très rapidement, ce qui peut compromettre leur survie et leur établissement. Le milieu de l'été est aussi le temps de l'année où l'extraction de la tourbe s'effectue, ce qui mobilise le personnel et l'équipement des producteurs de tourbe.

Ressources, temps et coûts

La machinerie requise pour l'épandage de matériel végétal est un tracteur, un épandeur à fumier et un équipement pour charger le matériel végétal dans l'épandeur à fumier. L'utilisation d'un épandeur de grande dimension permet de sauver du temps si les risques d'enlèvement sont faibles. Le coût de location d'un tel équipement varie beaucoup, mais il est généralement facile d'en louer à un agriculteur. Une équipe munie de l'équipement approprié peut épandre le matériel végétal sur 4 ou 5 hectares en une journée. Ceci dit, le temps requis peut être très variable selon différents facteurs tels que l'expérience de l'équipe, la proximité du matériel, la configuration du site, les conditions de portance, l'équipement utilisé, etc.

Résumé

- Épandre une couche mince et uniforme de matériel végétal (on doit pouvoir apercevoir la surface de la tourbe sous les fragments).
- Ne jamais circuler avec la machinerie sur le matériel végétal qui a été épandu (sans paille).
- Une fois les ajustements de machinerie complétés et en suivant une séquence précise avec la pailleuse, prévoir en moyenne de 2 heures/ha pour l'étape d'épandage du matériel végétal.

ÉPANDAGE DU PAILLIS

Les fragments de plantes qui forment le matériel végétal font face à des conditions très difficiles lorsqu'ils sont épandus sur les surfaces de tourbe nue. La chaleur, le soleil et le vent les assèchent, ce qui diminue leur chance de survie et de reformer un couvert végétal. Il est donc essentiel d'améliorer ces conditions afin que les plantes puissent s'établir.

Plusieurs techniques visant à améliorer les conditions d'établissement du matériel végétal ont été testées : l'irrigation à l'aide de gicleurs, le pompage de l'eau dans des canaux d'irrigation, l'utilisation de plantes-abris, de brise-vents, etc. Presque tous les résultats ont montré que le matériel végétal se desséchait et mourait avant d'avoir eu la chance de former un nouveau couvert végétal. L'utilisation d'un couvert protecteur (paillis) est le traitement qui a donné les meilleurs résultats.

Fonctions d'un paillis

Les paillis sont utilisés depuis longtemps en agriculture car ils offrent une protection au sol et aux plantes contre l'exposition aux conditions défavorables. En restauration des tourbières, la recherche a montré à plusieurs reprises que l'application d'un paillis est l'un des trois éléments-clés pour le succès de tout projet de restauration utilisant la méthode de transfert de la couche muscinale. Les deux autres éléments sont :

- 1) la réintroduction de plantes sous forme de matériel végétal contenant des fragments de plantes et autres diaspores, et
- 2) le remouillage des sites de restauration.

L'application d'un paillis équivaut à procurer aux fragments de plantes un toit sous lequel s'abriter. Le paillis crée une couche d'air plus humide, plus fraîche le jour et plus chaude la nuit, favorable à l'établissement des plantes (figure 6). Le paillis aide aussi à réduire l'évaporation à la surface de la tourbe, ce qui diminue les risques de dessiccation. Le paillis prévient le soulèvement gélival, un phénomène causé par les cycles gel-dégel qui perturbe les plantes, en diminuant les écarts de température.

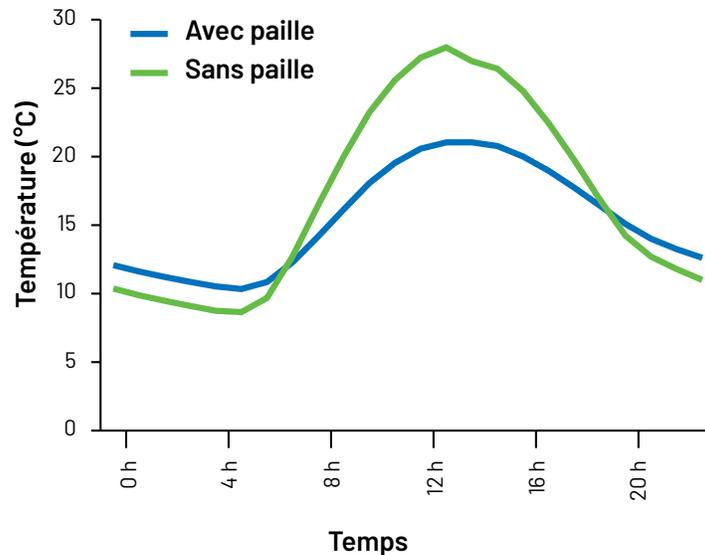


Figure 6. Température moyenne au sol au cours d'une journée avec et sans paillis composé, dans ce cas, de paille de céréales. En mi-journée, la température à la surface du sol est presque 10 °C plus élevée sans paillis.

Types de paillis

Une caractéristique importante d'un paillis est sa capacité à créer, à la surface du sol, une couche d'air qui reste fraîche et humide et qui demeure relativement isolée de l'air ambiant. Pour cela, un paillis doit être composé de longues tiges plus ou moins rigides, qui s'entrelacent lors de l'épandage pour former un couvert protecteur qui trappe l'air ambiant et limite les échanges avec l'air qui se trouve au-dessus du paillis. Il faut toutefois se méfier de la paille qui a été récoltée depuis plus de 6 mois et qui a été exposée aux intempéries : la couche extérieure de ces balles de paille est souvent mouillée ou pourrie et la paille n'a pas la rigidité d'un paillis frais. Celle-ci a tendance à s'écraser à plat au lieu de créer un coussin protecteur aéré. On observe un effet similaire lorsque le paillis végétal choisi est coupé ou haché en segments plus courts. Il faut s'assurer de ne pas utiliser de paille hachée ou que l'épandeur utilisé ne hache pas la paille.

Dans le cadre des expériences qui ont mené au développement de la méthode de restauration par transfert de la couche muscinale, la paille composée de céréales (blé, avoine, seigle ou orge) a été comparée à des paillis commerciaux, tels que le *Curlex* et l'*Eromat*, ainsi qu'à d'autres types de couvertures artificielles. La paille de céréales s'avère plus efficace que les paillis commerciaux pour protéger le matériel végétal, principalement parce qu'elle forme un paillis plus épais et qu'elle est plus facile à appliquer sur de grandes surfaces. Elle a aussi l'avantage d'être disponible presque partout à un coût relativement bas. Des balles de foin peuvent être utilisées mais seulement si la paille de céréale n'est pas disponible. Par contre, les balles de foin sont généralement plus chères et créent un paillis moins bien structuré qu'avec de la paille. Le foin peut favoriser l'établissement d'espèces indésirables car il contient des graines viables de différentes espèces, même si en général cela n'est pas un problème persistant car ces espèces ne résistent pas longtemps aux conditions acides du milieu. Même si la paille de céréales est celle utilisée dans la majorité des projets de restauration, on peut s'adapter à ce qui est disponible localement, comme la paille de pois, en autant que l'espèce végétale sélectionnée crée un paillis présentant les caractéristiques décrites au paragraphe précédent.

Il y a peu de problèmes de déplacement du paillis par le vent dans la plupart des sites à restaurer. Il semble qu'après quelques expositions aux précipitations, les brins de paille adhèrent les uns aux autres et le paillis peut résister au vent. Certains sites font toutefois exception, particulièrement ceux exposés au vent ou à des inondations suite au dégel printanier rapide qui libère une grande quantité d'eau en peu de temps, comme c'est souvent le cas dans les provinces des Prairies. Certaines actions peuvent toutefois prévenir ces déplacements. Lors de l'étape de préparation de la surface (voir le fascicule **Préparation du site et remouillage**), la création de digues permet de protéger la surface de tourbe contre l'érosion, et de limiter les mouvements du paillis et du matériel végétal. Dans le cas où le paillis serait déplacé, il est possible de faire une seconde application (manuellement ou mécaniquement) lorsque le sol est gelé.

Densité du paillis

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

- Un paillis trop épais peut retarder ou même empêcher l'établissement des plantes ;
- L'application d'une quantité insuffisante de paille offre trop peu de protection au matériel végétal et peut entraîner l'échec de l'établissement des plantes ;
- Le paillis compte pour une part importante du coût de la restauration.

La recherche a montré que 3 000 kg de paille/ha est la quantité minimale à utiliser pour maximiser l'établissement des plantes (figure 7). Même s'il est difficile de comparer le poids et le volume de la paille à cause des variations d'humidité, la quantité à appliquer représente approximativement de 18 à 20 balles rondes d'un diamètre de 5 pi (1,5 m)/ha (tableau 2).

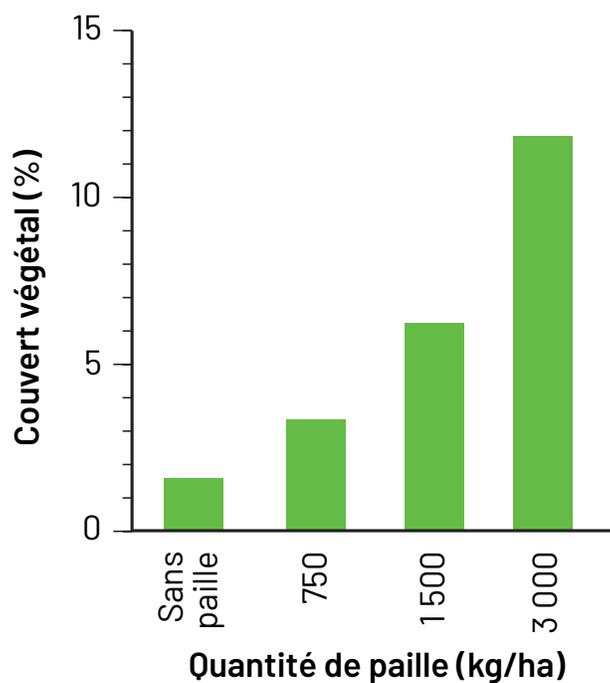


Figure 7. Couvert végétal (en pourcentage de recouvrement) sous différentes quantités de paille après 3 années de croissance. L'absence d'un paillis et l'application d'une quantité insuffisante de paille diminuent considérablement l'établissement de la végétation.

Tableau 2. Nombre de balles de paille requis par unité de surface.

Diamètre de la balle de 5 pi (1,5 m) de largeur	Nombre de balles	
	Par hectare	Par acre
4 pi (1,2 m)	25 à 30	10 à 12
5 pi (1,5 m)	18 à 20	7 à 8
6 pi (2 m)	12 à 14	5 à 6

BALLES RONDES

L'utilisation de balles plus grosses est considérablement plus économique que de choisir celles de plus petite taille. Par exemple, une balle de 5 pi de diamètre représente approximativement 1,5 fois le volume d'une balle de 4 pi de diamètre. Les coûts de manutention sont élevés, car les balles doivent être transportées par camion, déchargées puis rechargées dans des remorques afin d'être amenées au site de restauration pour y être déchargées et rechargées dans la pailleuse qui les épand sur le terrain. Seulement 1 à 2 minutes sont requises pour épandre une balle, mais plusieurs minutes sont parfois nécessaires au chargement. Pour un même temps et un effort similaire, on manutentionne donc 50 % plus de paille en utilisant des balles de 5 pi de diamètre et 125 % plus avec des balles de 6 pi.

Des travaux ont aussi été réalisés avec de grosses balles carrées (dimension de 3 pi x 3 pi x 5 à 6 pi). Selon les équipements utilisés, ce type de balles s'est avéré plus ou moins facile à manipuler. Les balles carrées sont plus difficiles à épandre parce que les pailleuses ont un mécanisme rotatif conçu pour des balles rondes (tableau 3).

Un paillis adéquat doit être assez épais pour créer, au niveau du sol, une couche d'air isolée de l'air ambiant, mais il doit aussi permettre le passage d'une certaine quantité de lumière jusqu'au matériel végétal réintroduit. On doit pouvoir apercevoir la tourbe ou le matériel végétal à certains endroits à travers le paillis. Les observations montrent que les fragments de plantes ne survivent pas lorsque le paillis est épais et compact, probablement à cause d'un manque de lumière. Il est donc important que les amas ou les galettes de paille soient bien brisés lors de l'épandage.

Épandre le paillis

L'application du paillis est habituellement exécutée simultanément à l'épandage du matériel végétal. Cela permet de limiter la période pendant laquelle les fragments de plantes sont exposés au vent et au soleil, ainsi que d'éviter de circuler directement sur le matériel végétal.

Plusieurs types d'équipements ont été utilisés pour épandre le paillis (tableau 3, figures 8, 9 et 10). Une pailleuse à épandage latéral utilisant des balles rondes est l'appareil le plus couramment utilisé. Ce type d'équipement distribue la paille latéralement à une distance de 10 à 15 m. Les principaux avantages de cet équipement sont :

- Un seul opérateur peut faire le travail car la pailleuse est autochargeuse ;
- L'équipement peut contenir 2 balles de paille ;
- Une balle est épandue en 1 ou 2 minutes ;
- La machinerie n'a pas à circuler sur les plantes car la paille est épandue latéralement.

Tableau 3. Liste des équipements utilisés en Amérique du Nord pour épandre le paillis végétal et leur efficacité.

Pailleuse latérale (figures 8 et 9)	Cet équipement convient aux balles rondes . Il épand le paillis latéralement à une distance de 10 à 15 m. Il se charge par lui-même et peut transporter 2 balles.
Pailleuse verticale	Cet équipement utilise des balles rondes et l'épandage se fait par l'arrière. Le tracteur doit donc passer sur le matériel végétal, ce qui peut causer des dommages aux plantes épandues sur le sol . Le paillis n'est pas épandu à une grande distance.
Pailleuse latérale à chargement arrière (figure 10)	Cet équipement procure un épandage satisfaisant à une distance de plus de 10 m. Il peut utiliser des balles rondes ou des grandes balles rectangulaires . Les balles de paille doivent être chargées à l'aide d'un autre équipement (tracteur). Le chargement est difficile car l'ouverture est petite et orientée vers le haut.



Figure 8. Pailleuse latérale.



Figure 9. Pailleuse latérale (vue arrière).



Figure 10. Pailleuse latérale à chargement arrière.

Lors de l'épandage du paillis, l'opérateur doit éviter de circuler sur le matériel végétal qui a déjà été épandu, car les fragments de plantes risquent d'être écrasés, de se mélanger à la tourbe ou d'être enfouis, ce qui peut nuire à leur survie et à leur établissement. Le matériel végétal devrait toujours être manipulé avec soin. L'utilisation d'une pailleuse latérale permet d'épandre le paillis à une distance de plus d'une dizaine de mètres et de recouvrir les fragments de plantes sans avoir à circuler sur le matériel végétal.

L'épandage du paillis lors de journées venteuses peut compliquer les opérations car si le vent est trop fort, il devient presque impossible de faire le travail. Par contre, s'il souffle dans la bonne direction, le vent peut aider à épandre le paillis.

Ressources, temps et coûts

Les éléments suivants doivent être pris en compte lors de la planification de l'épandage :

- Location d'une pailleuse ;
- Achat du paillis ;
- Transport du paillis sur le site ;
- Chargement et épandage (à l'aide d'un tracteur et d'une pailleuse).

On estime à environ 6 heures/ha le temps nécessaire pour l'épandage du paillis. Le temps et les ressources requis ont été estimés en fonction de l'utilisation d'une pailleuse à épandage latéral autochargeuse, en tenant compte que l'opération est exécutée par un seul opérateur. Comme dans le cas de l'épandage du matériel végétal, plusieurs variables peuvent toutefois influencer le temps requis. D'une part, comme la plus grande partie du temps est consacrée au transport des balles de paille, une préparation préalable aux travaux pendant laquelle les balles sont placées à des endroits stratégiques limitera le temps de déplacement nécessaire à la recharge de l'équipement. Par ailleurs, comme l'épandage du paillis suit de près celui du matériel végétal, il importe de bien coordonner les deux opérations pour réduire le temps d'attente. Il est aussi très avantageux d'utiliser de plus grosses balles ou d'allouer plus de ressources à l'épandage du paillis. Par exemple, on peut dédier un opérateur spécifiquement au chargement de la pailleuse pour réduire les coûts en menant les deux opérations (épandage et recharge de la pailleuse) simultanément.

Le coût de la paille varie selon les régions et les années. Dans le cas où la paille ne peut pas être livrée directement au site de restauration faute d'accès, il faut ajouter du temps pour le transport de la paille à bord de remorques tirées par des tracteurs. Planifier à l'avance et prendre des arrangements avec les agriculteurs locaux augmentent les chances de réduire le coût d'achat de la paille. Le coût de location d'une pailleuse se négocie avec des agriculteurs situés à proximité.

Résumé

- Éviter de circuler sur le matériel végétal déjà épandu.
- Appliquer une couche uniforme de paille dès que possible après avoir épandu le matériel végétal.
- Appliquer la bonne quantité de paillis. Un paillis trop clairsemé n'offre pas une protection adéquate aux plantes et réduit leurs chances d'établissement. À l'opposé, un paillis trop dense peut limiter la lumière disponible pour les plantes et nuire à leur survie.
- Éviter d'utiliser un appareil qui hache la paille en petits morceaux, car celle-ci aura tendance à s'écraser au lieu de former un paillis épais propre à former une couche d'air frais et humide au-dessus du sol. Le paillis doit avoir une apparence aérée et permettre d'entrevoir le sol ou le matériel végétal à certains endroits.
- L'utilisation de grosses balles réduit le temps d'application et le coût de la restauration.
- L'utilisation de paille fraîche facilite l'épandage et réduit la quantité nécessaire ainsi que le coût de la restauration.

FERTILISATION

La fertilisation fait partie des mesures de restauration parce qu'elle augmente considérablement les chances de succès et la rapidité d'établissement des communautés végétales. Des expériences ont montré que la fertilisation phosphatée augmente la germination des spores et l'implantation de certaines espèces de mousses dites pionnières, notamment le polytric (*Polytrichum strictum*). En retour, ces mousses créent des conditions qui facilitent l'établissement et la croissance des fragments de sphaignes. La colonisation rapide par le polytric des substrats de tourbe nue stabilise le sol ce qui contribue à diminuer et à prévenir les dommages causés par l'érosion et le soulèvement gélival. En plus de favoriser l'implantation du polytric, la fertilisation aide l'établissement de plusieurs espèces de plantes vasculaires caractéristiques des tourbières. Les avantages de la fertilisation phosphatée ont été largement démontrés sur les nombreux sites où elle a été utilisée. On la considère donc essentielle au succès de la restauration⁵.

Le phosphore

Beaucoup de fertilisants contiennent du phosphore, mais ils ne conviennent pas tous à la restauration des tourbières car la plupart contiennent aussi des quantités variables d'autres éléments. Par exemple, la fertilisation azotée n'est pas nécessaire pour la restauration des tourbières, car les surfaces de tourbe nue contiennent assez d'azote pour assurer la croissance des plantes habituées à des conditions pauvres en nutriments. Les fertilisants riches en calcium doivent aussi être évités car les teneurs élevées en calcium sont nuisibles à la croissance des sphaignes et pourraient favoriser l'implantation d'espèces indésirables. Il est donc recommandé d'utiliser des fertilisants qui contiennent principalement du phosphore.

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

La roche phosphatée granulaire est le fertilisant recommandé car il permet une bonne distribution du phosphore lors de l'application en plus d'être un fertilisant à dégagement lent (*slow release*). La roche phosphatée la plus communément utilisée dans l'est du Canada, de formulation 0-13-0, contient 25% de phosphate total (P_2O_5) et la moitié (13 %) est immédiatement assimilable par les plantes, tandis que l'autre moitié devient disponible graduellement, surtout en milieu acide. D'autres fertilisants riches en phosphore, comme le superphosphate, ne sont pas recommandés parce qu'ils sont très concentrés et qu'ils doivent être appliqués en de si petites quantités qu'ils ne peuvent pas être épandus uniformément.

⁵ L'application d'engrais en milieu humide peut être soumise à des réglementations qu'il est important de vérifier avant les opérations de fertilisation.

Dosage du fertilisant

Le dosage recommandé pour la roche phosphatée de formulation 0-13-0 est de 150 kg/ha (60 kg par acre). Par exemple, 180 kg de fertilisant sont nécessaires pour une superficie de 30 m x 400 m (100 pi x 1 200 pi). La dose peut être ajustée si un fertilisant à teneur plus faible ou plus forte en phosphore est utilisé.

Application du fertilisant

On applique le fertilisant après la mise en place du paillis avec un simple épandeur conique qui s'adapte sur la prise de force d'un tracteur (figure 11). Ce type d'appareil est efficace compte tenu des petites quantités de fertilisant utilisées. Il existe aussi des épandeurs coniques qui peuvent être fixés ou tirés à l'arrière d'un véhicule tout-terrain et qui sont actionnés par un moteur électrique ou par le roulement des roues. Ce dernier modèle ne donne pas toujours les résultats escomptés car il peut bondir sur les inégalités de la surface, faisant en sorte que le mécanisme d'entraînement fonctionne de façon intermittente et que le fertilisant n'est pas appliqué également.

Il est essentiel de bien ajuster l'épandeur avant de procéder à la fertilisation pour épandre la bonne quantité de fertilisant. Il peut arriver que les épandeurs ne puissent pas être étalonnés précisément. Une méthode d'ajustement consiste à charger l'épandeur d'une quantité connue de fertilisant à épandre sur une surface donnée (ex : 180 kg pour une planche de 1,2 ha), puis à ajuster le débit de l'épandeur et la vitesse du véhicule de façon à couvrir toute la surface avec la quantité chargée. L'opérateur peut ensuite ajuster le débit de l'épandeur et la vitesse du véhicule en conséquence. Il faut aussi déterminer la largeur couverte par l'épandeur. Il est généralement facile de le faire en demandant à une personne se tenant à une distance sécuritaire du tracteur de l'estimer à l'œil. Les épandeurs coniques montés sur tracteur couvrent environ 15 m de largeur.

Le fait de circuler sur les endroits où le paillis a déjà été appliqué cause beaucoup moins de dommages que lorsque l'on circule directement sur le matériel végétal sans paillis. La flottaison d'un tracteur est améliorée par la présence du paillis et il ne laisse presque aucune trace lors de son passage pour la fertilisation, sauf si le sol est mou. Cela est particulièrement vrai lorsque l'épandeur est fixé sur la prise de force d'un tracteur équipé de roues doubles ou triples, car le poids du fertilisant est alors distribué sur les roues du tracteur. Sur les sites de plus petite taille (> 1 ha), des équipements légers (ARGO, VTT) peuvent être utilisés, sur lesquels des épandeurs à alimentation électrique peuvent être fixés. Ces véhicules ont l'avantage d'être très légers.



Figure 11. Application de fertilisant à l'aide d'un épandeur conique fixé à la prise de force du tracteur.

Il est recommandé d'appliquer le fertilisant quand les plantes peuvent l'absorber et en bénéficier, c'est-à-dire durant la période où elles sont en pleine croissance ou juste avant. Il est aussi important d'appliquer le fertilisant lorsque les probabilités d'affecter les plans d'eau et les surfaces adjacentes sont les plus faibles. Il est donc recommandé d'appliquer le fertilisant entre la fin du printemps, une fois que l'eau de fonte s'est retirée et que le sol est assez sec pour supporter la machinerie, et le début de septembre. Si l'application se fait trop tard, elle sera peu utile aux plantes parce que le fertilisant risquera d'être lessivé avec l'excès d'eau associé aux précipitations d'automne ou au printemps lors de la fonte des neiges. Enfin, on recommande d'éviter d'appliquer le fertilisant avant de fortes précipitations. Il faut donc vérifier les prévisions météorologiques (vent et précipitations) avant de procéder à l'application du fertilisant.

Impacts potentiels sur l'environnement

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

- une dose faible est appliquée, une seule application ;
- la roche phosphatée est un fertilisant à dégagement lent ;
- le phosphore a une faible mobilité et il est retenu par la tourbe ;
- le drainage des secteurs restaurés est bloqué, donc l'eau ne devrait pas s'évacuer.

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

- Manipuler le fertilisant avec précaution, éviter les manipulations à moins de 30 m des cours d'eau et éviter les déversements ;
- Respecter le dosage recommandé. Ajouter plus de fertilisant ne signifie pas l'obtention de meilleurs résultats. Au contraire, ajouter trop de phosphore peut nuire à la sphaigne et favoriser la prolifération d'espèces indésirables ;
- S'assurer de bien bloquer les canaux de drainage avant ou tout de suite après l'application du fertilisant pour qu'il ne puisse pas s'écouler vers les cours d'eau récepteurs ;
- Garder tout surplus dans un endroit sec pour une utilisation future en restauration.

ESPÈCES INDÉSIRABLES

Un inconvénient possible de la fertilisation est qu'elle peut favoriser la croissance de plantes non caractéristiques des tourbières. Les espèces qui pourraient tirer de profit de la fertilisation varient en fonction de leur présence à proximité des sites en restauration. Dans l'est du Canada, l'épilobe à feuilles étroites (*Chamaenerion angustifolium*) et les espèces dont les graines sont présentes dans la paille sont les plus fréquentes. Dans les provinces de l'Ouest, les espèces envahissantes et les mauvaises herbes sont répertoriées et leur contrôle est souvent obligatoire. Le bouleau et le peuplier sont aussi communément rencontrés. Il existe peu de données sur l'évolution à long terme des populations de ces espèces sur les sites restaurés, mais on s'attend à ce qu'elles déclinent en raison de l'acidité du milieu, de la remontée du niveau de l'eau et de la compétition grandissante des espèces de tourbières.

Le roseau commun (*Phragmites australis*) constitue une espèce indésirable qui est de plus en plus fréquente. Elle colonise plusieurs types d'habitats et on la retrouve dans les tourbières en production et dans certains sites restaurés. Une fois établie, cette espèce se répand rapidement et est très difficile à déloger. Le roseau produit de nombreuses graines qui peuvent se retrouver dans les produits de tourbe. Sa présence peut nuire au rétablissement des espèces de tourbières visées par la restauration. La plante se reproduit aussi végétativement, en formant de nouveaux individus à partir de segments de rhizomes. Il est préférable d'intervenir tôt après l'identification de cette plante sur un site, car les petites colonies peuvent être détruites par l'excavation (le matériel excavé devrait être manipulé avec soin et incinéré autant que possible) tandis que les grandes colonies peuvent devenir rapidement hors de contrôle. Le recours aux herbicides (glyphosate et imazapyr) est la seule méthode qui permet de contrôler les plus grandes populations mais leur usage dans les milieux humides peut être assujéti à certaines restrictions. L'établissement d'un couvert végétal constitué d'espèces de tourbières pourrait prévenir l'installation du roseau par l'apport de graines car celles-ci ont besoin de lumière pour germer. Une fois établi, le roseau se répand par son système racinaire.

Ressources, temps et coûts

La fertilisation demande peu de temps et de ressources. Un opérateur muni d'un tracteur et d'un épandeur d'engrais peut fertiliser environ 2 ha en 1 heure. De petits épandeurs d'engrais coniques peuvent être empruntés à des agriculteurs pour une somme modique. Même si de nos jours on ne les utilise presque plus, plusieurs agriculteurs en possèdent encore.

La roche phosphatée est un fertilisant naturel dont la disponibilité varie d'une région à l'autre. La forme non granulaire est moins chère, mais elle est plus difficile à manipuler et à épandre uniformément, et elle peut causer la contamination des cours d'eau et des zones environnantes plus facilement.

Les éléments à prendre en considération lors de la planification de la fertilisation sont l'achat du fertilisant, la location ou la disponibilité de la machinerie (tracteur et épandeur d'engrais) et le temps nécessaire à l'épandage qu'on évalue à 0,5 heure/ha.

Résumé

- Une dose de 150 kg /ha (60 kg/acre) de roche phosphatée 0-13-0/ha est recommandée afin d'accélérer l'établissement d'un tapis de mousses.
- Utiliser un fertilisant granulaire plutôt qu'un fertilisant en poudre.
- Ajuster le débit de l'épandeur d'engrais et la vitesse du tracteur pour épandre la dose adéquate.
- Appliquer le fertilisant entre la fin du printemps (après la fonte des neiges) et le début de septembre.
- Manipuler le fertilisant avec précaution afin d'éviter la contamination des cours d'eau et de la tourbe des planches encore utilisées pour la récolte.



Publié en partenariat par



Avec la participation financière de



Développement
économique Canada
pour les régions du Québec

Canada Economic
Development
for Quebec Regions



En partenariat avec

