

Culture de sphaignes au Canada : état des connaissances



Mélina Guêné-Nanchen et Benoit-St-Hilaire

Publié en partenariat avec



Avec la participation financière de



En partenariat avec



Crédits photos

Couverture : VALORÈS

Figures 1 à 4, 9 à 13, 15, 16, 19 à 28, 30, 31 : Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET)

Figures 5 à 8, 34, 35 : Mélina Guéné-Nanchen

Figure 29 : VALORÈS

Figures 32, 33, 37, 39 : Sabine Wichmann

Figure 36 : Gerd Block

Figure 38 : Philipp Schroeder

Figure 40 : Benoit St-Hilaire

Couverture arrière : VALORÈS

Comité de révision :

Stéphanie Boudreau (CSPMA et APTHQ), Frédéric Caron et Valérie Lavoie (Premier Tech Producteurs et Consommateurs), Pierre-Olivier Sauvageau (Berger), Line Rochefort (Université Laval), Marion Tétégan Simon (VALORÈS) et Sandrine Hogue-Hugron (UQAR).

Ce document devrait être cité comme suit

Guéné-Nanchen, M. et B. St-Hilaire. 2022. Culture de sphaignes au Canada : état des connaissances. CSPMA et APTHQ. Québec, Québec.

TABLE DES MATIÈRES

Objectif et mise en contexte de la synthèse	5
1. Introduction	6
Un intérêt grandissant pour la culture de sphaignes	6
Utilisation potentielle des fibres de sphaignes	7
Bénéfices environnementaux, économiques, sociaux	8
Avancées internationales	9
2. Planification	10
Caractérisation du site visé pour la culture	10
Source du matériel végétal	14
Éléments clés à vérifier lors de la planification	16
3. Historique de la recherche	17
Méthode de remouillage	17
Contrôle des conditions hydrologiques	18
4. Étapes de mises en place	20
Aménagement des bassins	20
Dimensions des bassins	21
Installation du système d'irrigation	21
Réintroduction du matériel végétal	29
Systèmes d'irrigation	34
5. Maintenance et suivi	37
Entretien et hivernage du système d'irrigation, des barrages et des infrastructures	37
Suivi hydrologique	38
Suivi de la végétation	39
Contrôle des espèces indésirables	39
6. Récolte, entreposage et conditionnement	43
Récolte	43
Entreposage	46
Conditionnement	46

7. Ressources nécessaires (humaines, matérielles et financières)	47
Préparation du site et réintroduction du matériel végétal	51
Maintenance et suivi	51
Récolte	51
Cycles de production subséquents	52
8. Conclusion	53
9. Remerciements	54
10. Références	55
Articles scientifiques	55
Mémoires	57
Guides et rapports techniques	57
Autres	58

OBJECTIF ET MISE EN CONTEXTE DE LA SYNTHÈSE

Considérant les nombreux avantages potentiels de la culture de sphaignes et l'intérêt de l'industrie canadienne de la tourbe horticole, des projets de recherche en collaboration avec le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET), l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA), VALORÉS et l'Association canadienne des producteurs de tourbe de sphaigne (CSMPA) ont commencé au début des années 2000 à tester des approches de culture de sphaignes à petite échelle. Ces expériences ayant donné des résultats encourageants, une première station expérimentale de culture de sphaignes a été mise en place entre 2006 et 2012 au Nouveau-Brunswick avec les partenaires de l'industrie. Par la suite, deux nouveaux sites expérimentaux ont été établis au Québec et au Nouveau-Brunswick en 2013 et 2014 avec une optimisation, notamment du système d'irrigation et du contrôle hydrologique.

L'objectif de ce document est de faire l'état des connaissances acquises depuis l'instauration des premiers sites de culture de sphaignes, de rassembler l'expertise développée au cours de ces années et de récapituler toutes les notions nécessaires à l'établissement et au fonctionnement d'un site de culture de sphaignes. Compte tenu de l'expérience encore limitée sur certains aspects de la culture de sphaignes au Canada, certaines connaissances des équipes allemandes sont aussi présentées. Les informations exposées ici sont appelées à être modifiées au fur et à mesure que la recherche et la pratique progresseront.

Ce document amène d'abord des concepts de base sur la culture de sphaignes, notamment ses avantages et l'utilisation potentielle des fibres de sphaignes. Par après, les différents éléments à considérer lors de la planification d'un site de culture sont couverts, soit les caractéristiques du site et les sources de matériel végétal. La préparation terrain du site de culture englobant tous les aspects de l'aménagement des bassins, comme la mise en place du système d'irrigation et la réintroduction du matériel végétal sont abordées. La maintenance et le suivi du site de culture sont ensuite présentés, puis la récolte, le conditionnement des fibres de sphaignes, et les différentes ressources nécessaires. Finalement, un récapitulatif des éléments clés ainsi que des références utiles font office de conclusion.

1. INTRODUCTION

Un intérêt grandissant pour la culture de sphaignes

En horticulture moderne, la tourbe blonde ou la tourbe de sphaigne est le principal constituant des substrats de croissance en raison de ses caractéristiques uniques, soit sa forte capacité de rétention en eau et en nutriments, sa faible densité apparente, sa grande porosité et sa stabilité structurale.

La biomasse de sphaignes non décomposées est proposée comme alternative à la tourbe blonde, et pourrait être utilisée dans plusieurs contextes différents. Les sphaignes possèdent des propriétés physiques et chimiques très semblables à la tourbe blonde, puisqu'elle en constitue la base. Les sphaignes sont formées à partir de deux types de cellules végétales : les cellules chlorophylliennes ou chlorocystes, qui sont responsables de la photosynthèse, et les cellules hyalines ou hyalocystes, qui sont vides et permettent de stocker l'eau. Grâce à cette caractéristique particulière, les sphaignes ont une très grande capacité de rétention d'eau, soit jusqu'à 90 % de leur volume. Elles émettent également des acides humiques et ont la capacité d'absorber et de retenir les éléments nutritifs et les cations.



Figure 1. Fibres de sphaignes non décomposées.

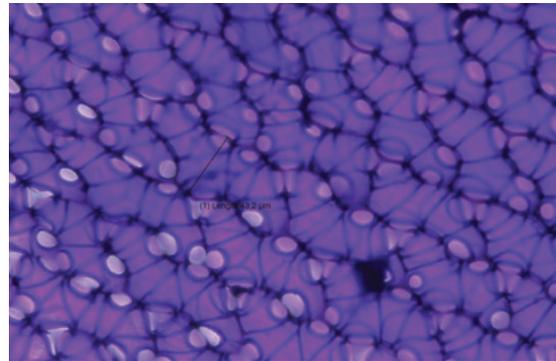


Figure 2. Structure cellulaire d'une feuille raméale de sphaigne.

La culture de sphaignes se définit comme la production durable de biomasse de fibres de sphaignes non décomposées sur une base cyclique et renouvelable. Les efforts investis pour la restauration des tourbières à sphaignes au Canada dans les trois dernières décennies ont permis de valider la faisabilité de multiplication à grande échelle de fibres de sphaignes non décomposées. Cependant, il a été démontré que l'optimisation de la production de biomasse de sphaignes nécessite un contrôle des conditions hydrologiques. C'est pourquoi sur le terrain, la culture de sphaignes se pratique en bassins irrigués, pour laquelle l'aménagement, la mise en place du système d'irrigation et la réintroduction du matériel végétal sont abordés dans la section [Étapes de mises en place](#) (p. 20).

Utilisation potentielle des fibres de sphaignes

I. Substrats de croissance

La fibre de sphaigne cultivée pourrait être employée comme nouvel ingrédient aux substrats de croissance afin de diminuer leur empreinte écologique. Par exemple, deux études canadiennes¹ ont démontré que la sphaigne peut remplacer en partie ou en totalité la perlite et la vermiculite utilisée dans les substrats sans altérer leurs qualités chimiques et physiques. Aussi, d'autres études suggèrent que la fibre de sphaigne peut substituer, du moins partiellement, la tourbe contenue dans les substrats de croissance ou encore, elle peut améliorer la structure des substrats de tourbe ayant des degrés de décomposition plus avancés (p. ex. : von Post H6 à H7²). En effet, le Principe de gestion responsable des tourbières³ recommande d'optimiser la récolte de tourbe dans une tourbière une fois cette dernière ouverte pour la production. Selon ce principe, il vaut mieux utiliser au maximum un dépôt de tourbe plutôt que d'en ouvrir un autre, mais en s'assurant de laisser un minimum de 50 cm de tourbe résiduelle (avec les caractéristiques appropriées) pour en faciliter la restauration. Par conséquent, l'addition de fibres de sphaignes comme ingrédient à valeur ajoutée lors la fabrication de substrat de croissance à base de tourbe provenant d'un site de récolte en fin de vie peut contribuer à une gestion raisonnée de la ressource. Il y a toutefois encore beaucoup d'inconnu concernant ces mélanges, car la proportion de sphaignes dans les substrats de croissance peut changer en fonction de plusieurs critères, comme la production horticole visée, le grade de tourbe dans le substrat et l'espèce de sphaigne.

La sphaigne est déjà employée comme substrat de croissance pour la propagation et la culture des orchidées. Il est reconnu que les espèces de cette famille sont particulièrement bien adaptées aux caractéristiques de la sphaigne comme substrat et ce marché est bien établi.

II. Matériel donneur pour la restauration de tourbières

Dans des régions où les sites donneurs utilisés pour la restauration des tourbières à sphaignes sont limités, la biomasse de sphaignes produites dans des sites de culture peut servir de matériel donneur. En comparaison avec du matériel de tourbières naturelles, l'utilisation de matériel provenant d'un site de culture a mené à un établissement similaire des sphaignes et des plantes vasculaires, et à une même diversité de plantes⁴. Pour ce faire, le tapis de sphaignes récolté en site de culture doit être d'au moins 5 cm d'épaisseur, ce qui peut être généré en environ 3-4 ans selon notre expérience dans le contexte canadien.

¹ Aubé et coll. (2015) et Jobin et coll. (2014)

² Voir l'Annexe C du [Guide de restauration des tourbières \(Quinty et Rochefort, 2003\)](#) pour évaluer le degré de décomposition de la tourbe.

³ Joosten et Clarke (2002)

⁴ Hugron et Rochefort (2018)

III. Autres utilisations potentielles

La fibre de sphaigne peut avoir plusieurs autres utilités, dont certaines sont déjà commercialisées alors que d'autres doivent être évaluées préalablement. Elle est entre autres utilisée comme agent de filtration pour l'eau usée. Dans le domaine animalier, la sphaigne est employée comme litière dans les terrariums. Certaines entreprises fabriquent des pots à fleurs suspendus avec de la sphaigne. Cette fibre pourrait aussi être ajoutée dans la fabrication de pots faits de tourbe. Avec sa grande capacité d'absorption, la sphaigne pourrait être utilisée dans certains produits hygiéniques comme des couches, des serviettes hygiéniques, du papier absorbant, ou tout simplement comme matière absorbante lors de déversement de produits toxiques. Finalement, dû à sa grande porosité, la fibre de sphaigne a le potentiel de servir de matière isolante dans la construction de bâtiments.

Bénéfices environnementaux, économiques, sociaux

La culture de sphaignes est une forme de **paludiculture**, qui se définit comme la production de biomasse agricole dans les milieux humides naturels ou remouillés. En tant qu'approche de gestion durable des tourbières, les activités en lien avec la culture de la sphaigne préservent le dépôt de carbone et n'entravent pas ou peu les biens et services écologiques.

La culture de sphaignes est en accord avec [les objectifs de développement durable des Nations Unies](#)⁵ (principalement, 12 – Consommation et production responsables, 13 – Lutte contre le changement climatique et 15 – Vie terrestre). Cette activité permet de conserver le carbone dans le sol de la tourbière qui supporte la culture. De plus, au fur à mesure que le tapis de sphaignes s'établit, les bassins de culture de sphaignes séquestrent activement du carbone. Cependant, en tenant compte également des émissions de méthane provenant des canaux d'irrigation et l'exportation de carbone lors de la récolte de la biomasse de sphaignes, les sites de culture de sphaignes sont généralement considérés comme carboneutres⁶. En favorisant le retour de plantes de tourbières, un certain niveau de biodiversité est maintenu dans les bassins de culture de sphaignes⁷.

Les fibres de sphaignes cultivées pourraient remplacer la mousse florale et le matériel donneur pour la restauration actuellement récoltés en milieu naturel et ainsi réduire les impacts de la récolte et conserver les écosystèmes de tourbières. En minimisant la quantité de tourbe requise dans les substrats de croissance, la culture de sphaignes pourrait permettre de diminuer les impacts environnementaux du drainage lors de l'extraction de la tourbe, à savoir l'oxydation de la tourbe, l'affaissement du sol et les émissions de CO₂. De plus, l'importance de maintenir les tourbières dans des conditions humides est désormais largement reconnue comme un moyen efficace pour réduire les émissions de CO₂ et lutter contre les changements climatiques. Au Canada, selon la Loi sur la tarification de la pollution causée par les gaz à effet de serre, une entreprise qui produit de la sphaigne en culture pourrait obtenir des crédits carbone dus au CO₂ séquestré lors de la croissance des plantes. Certains aspects concernant le bilan de carbone des sites de culture de sphaignes devraient cependant être étudiés plus en profondeur.

⁵ Les hyperliens sont uniquement disponibles dans la version en ligne du document.

⁶ Beyer et Höper (2015) et Günther et coll. (2017)

⁷ Muster et coll. (2020)

Les milieux humides en général ont une bonne capacité à contenir un grand volume d'eau. L'utilisation des tourbières pour la culture de sphaignes permet de conserver cette caractéristique de ces milieux humides, car elle ne requiert pas de drainage net du milieu, seulement l'installation de drains et canaux pour le contrôle de l'irrigation. Les activités reliées à la culture de sphaignes sont saines pour l'environnement et n'altèrent pas la santé et la sécurité des citoyens à proximité, créant même potentiellement des emplois pour ceux-ci.

Avancées internationales

Des progrès considérables ont été réalisés dans la recherche sur la culture de sphaignes au cours des deux dernières décennies, avec des essais à petite échelle dans plusieurs pays, et des essais à plus grande échelle au Canada et en Allemagne⁸. Outre les travaux faits au Canada, c'est surtout l'expertise allemande qui depuis les années 2000 a le plus progressé, notamment en raison de la rareté des tourbières à sphaignes et d'une forte pression de la part de la communauté européenne à réduire, voire éliminer l'extraction de la tourbe. Des recherches⁹ ont été réalisées à plusieurs niveaux du développement de la culture de sphaignes : propagation végétative des sphaignes, stockage et conditionnement des sphaignes, sélection des espèces, types de culture, par exemple sur tapis flottant, contrôle hydrologique, récolte des sphaignes, régénération post-récolte, etc.

Cependant, il est important de tenir compte des différences entre le contexte de l'Allemagne et celui du Canada avant d'effectuer des comparaisons directes. Notamment, l'établissement de sites de culture de sphaignes en Allemagne, plus précisément en basse Saxe, se fait principalement sur d'anciennes tourbières utilisées à des fins agricoles pendant des décennies, voire des siècles. Il en résulte qu'à la suite de la subsidence de la tourbe, ces tourbières se retrouvent maintenant sous le niveau de la mer. Ainsi, l'approche de la gestion de l'eau dans les sites de culture est complètement différente qu'au Canada. En Allemagne, des systèmes de pompage sont employés pour évacuer le trop-plein d'eau hors du site. De plus, les dépôts de tourbe sont généralement plus décomposés (von Post de H6 à H10), peu épais, et caractérisés par une très faible perméabilité⁹. La tourbe et l'eau d'irrigation sont plus riches en azote, phosphore et potassium pour plusieurs raisons, comme l'historique d'utilisation des tourbières en Europe (p. ex., pâturage, agriculture) et de plus importantes dépositions azotées atmosphériques. Cet enrichissement leur nuit notamment en favorisant des espèces de sphaignes à croissance rapide, comme *Sphagnum fallax* du sous-genre *Cuspidata*, par rapport à la sphaigne initialement réintroduite, *Sphagnum papillosum*¹⁰. De plus, en raison de saisons de croissance plus courtes au Canada, une productivité annuelle plus faible est normale comparativement aux résultats allemands.

⁸ Gaudig et coll. (2018)

⁹ Grobe et coll. (2021)

¹⁰ Gaudig et coll. (2017)

2. PLANIFICATION

La planification d'un site de culture de sphaignes comprend deux étapes, soit la définition du but de la culture et la planification des travaux. Selon l'objectif derrière la culture de sphaignes, que ce soit pour la production de mousse florale, pour l'intégration dans les substrats de croissance, pour la production de matériel végétal donneur pour la restauration, différents paramètres sont à prendre en compte.

Peu importe le but de la culture, on cherchera à répondre aux questions suivantes lors de la planification : est-ce que le site choisi est adéquat pour la culture et est-ce que toutes les ressources nécessaires, comme les installations générales avec accès à une source d'énergie, l'eau et le matériel végétal, sont disponibles ? La planification des travaux quant à elle inclut un plan détaillé des méthodes et ressources utilisées, un échéancier et une évaluation des coûts.

Caractérisation du site visé pour la culture

1. *Éléments généraux à considérer*

L'environnement à proximité du site choisi peut exercer une influence majeure sur le projet. Il est donc essentiel d'examiner attentivement les éléments de cet environnement et d'être en mesure, autant que possible, d'y prévoir les changements éventuels à moyen et à long terme. À titre d'exemple, une exploitation agricole à proximité pourrait avoir des impacts sur la culture. Il faut également prendre en compte tout drainage à proximité du site à mettre en place, car un drainage périphérique peut exercer une influence sur les niveaux et les mouvements de l'eau. Les éléments naturels peuvent impacter la culture de sphaignes, notamment, la proximité avec la mer pourrait causer une infiltration d'eau salée. Dans les provinces maritimes, l'érosion des côtes est aussi un élément de localisation à tenir en compte sur le long terme.

Pour l'Ouest canadien, les conditions climatiques régionales devraient être considérées lors de la planification, spécialement les précipitations annuelles, étant donné l'importance de l'apport en eau par les précipitations. Par exemple, des périodes de sécheresse trop longues peuvent être problématiques pour ce type de projet, même en présence d'un système d'irrigation.

Plusieurs autres éléments généraux doivent être étudiés lors de la planification afin de minimiser les risques et faciliter les opérations dans un site de production de sphaignes. Le choix du site et de sa structuration doit donc être minutieusement réfléchi avant de commencer les travaux de mise en place. Parmi les éléments à prendre en compte, il y a, entre autres, l'accessibilité au site par la machinerie lourde, l'entreposage du matériel récolté, la source d'énergie, la source d'eau pour l'irrigation et la proximité des différentes installations, comme le poste de contrôle pour l'irrigation et l'espace de développement des bassins pour expansion future. Ces éléments doivent être cohérents entre eux et pratiques pour les opérations prévues.

L'établissement d'un site de culture de sphaignes demeure une activité en milieu humide, et les lois et règlements en lien avec les opérations dans ce type de milieu s'appliquent. Il est donc important de contacter les autorités gouvernementales provinciales afin d'analyser les lois qui pourraient entraîner des conséquences sur le projet. Les ministères responsables des ressources naturelles et de l'environnement sont certainement les plus susceptibles de

fournir l'information pertinente. Dans certains cas, le niveau municipal peut avoir une juridiction sur les milieux humides de leur territoire.

La rentabilité du projet doit aussi être évaluée avant de démarrer un site de culture de sphaignes. Comme chaque projet possède ses particularités, il est important d'utiliser des outils d'analyse de rentabilité et de s'assurer que le risque financier est acceptable avant de débiter les travaux d'aménagement.

II. Sites potentiels pour la culture de sphaignes

Les bassins de culture de sphaignes peuvent être établis dans différents types de sites ayant chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Les anciennes tranchées créées lors de la récolte de tourbe par bloc ont un grand potentiel pour cette culture, car elles demandent généralement peu de réaménagement du terrain dû à l'alternance des tranchées et des terre-pleins. Le nombre de sites ayant servi à la coupe par bloc est toutefois limité au Canada et ce type de récolte de tourbe n'existe pratiquement plus dans l'industrie de nos jours. Les sites de culture de sphaignes peuvent aussi être mis en place dans les tourbières extraites par aspiration en fin d'activité. Ces sites sont beaucoup plus nombreux au Canada. Cependant, à ce jour, très peu de projets ont été réalisés sur ce type de site, ainsi, nos connaissances sont donc plutôt limitées. Finalement, les bassins de culture de sphaignes peuvent être établis dans une tourbière naturelle ou restaurée. Ce type de site demande toutefois un réaménagement assez important et peut certainement diminuer les bienfaits environnementaux que ces milieux procurent, principalement dû aux passages fréquents de la machinerie.

III. Caractéristiques hydrologiques et topographiques

Le choix de l'emplacement d'un site de culture de sphaignes devrait être fait en considérant les caractéristiques hydrologiques et topographiques, de façon à maximiser l'apport naturel en eau et à minimiser les pertes, selon la circulation de l'eau souterraine. Il est également important de porter attention au type de sol minéral sous-jacent et à sa porosité, car il peut y avoir un écoulement souterrain qui cause des pertes d'eau des bassins par une veine souterraine.

Tout premièrement, des connaissances sur le bassin versant naturel du site de culture et sur les cours d'eau à proximité devraient être acquises. L'utilisation de puits hydrologiques est un outil simple et pratique pour évaluer le niveau et les mouvements de l'eau. Ceux-ci devraient être placés à plusieurs endroits sur le site visé pour la culture de sphaignes et suivis à travers le temps, particulièrement aux périodes de crue et de sécheresse. De plus, des drones, des données LiDAR et des relevés topographiques peuvent être utilisés pour préparer un modèle numérique de terrain d'une précision élevée (figure 3). Celui-ci peut être avantageux, entre autres, pour indiquer les mouvements de l'eau, puis par après pour l'aménagement et le nivelage des bassins. En outre, la caractérisation des mouvements d'eau souterrains peut s'avérer très pratique pour déterminer la position optimale des bassins et du réseau d'irrigation lors de l'étape subséquente de préparation du site (voir section [Aménagement des bassins](#), p. 20).

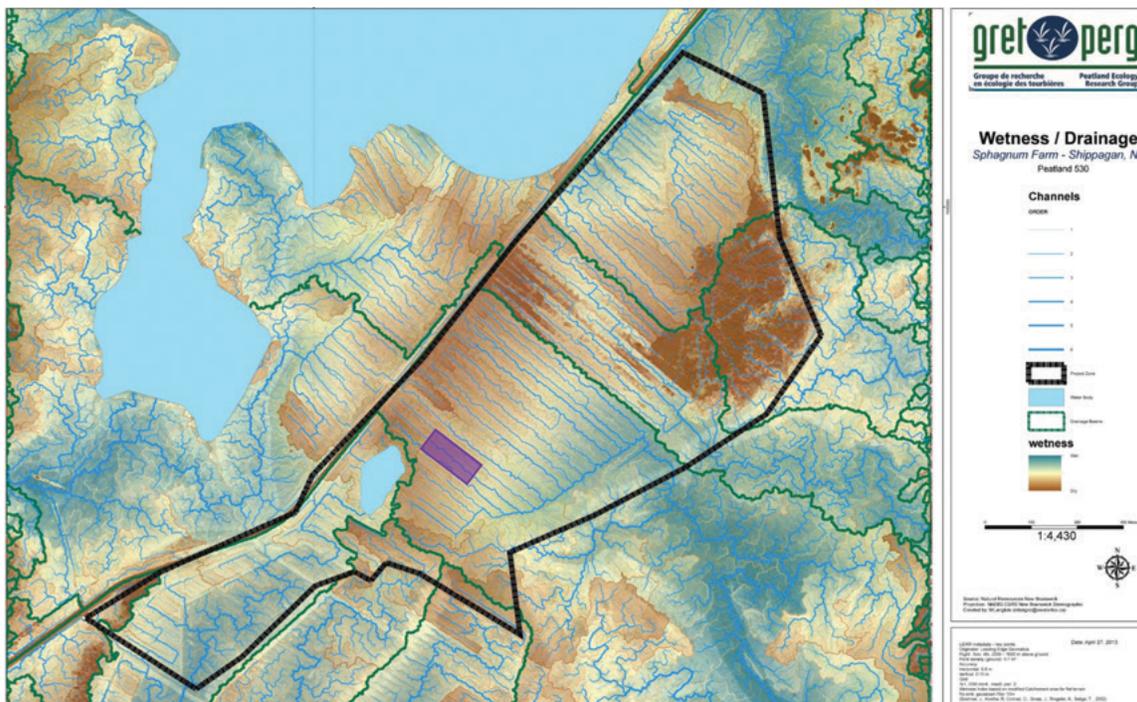


Figure 3. Exemple de carte LiDAR ayant aidé au choix de l'emplacement du site de culture dans la tourbière n° 530 à Shippagan au Nouveau-Brunswick (en violet).

IV. Caractéristiques de la tourbe

Une description détaillée des caractéristiques physicochimiques de la tourbe est essentielle pour déterminer si un site est adéquat à la mise en place d'un site de culture de sphaignes.

Au niveau des aspects chimiques, la caractérisation du pH et de la conductivité électrique de la tourbe en surface permet d'établir si le dépôt de tourbe est approprié pour la croissance des sphaignes. Similairement aux seuils recommandés pour la restauration des tourbières à sphaignes, les valeurs de pH de la tourbe ne devraient pas dépasser 5,5 à 5,8 idéalement, et les valeurs de conductivité électrique, 100 à 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Toutefois, ces balises sont flexibles surtout dans la mesure où une valeur plus faible de pH (p. ex., 4,8) peut être combinée avec une valeur plus élevée de conductivité (p. ex., 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et inversement. Concernant les cations principaux, soit le calcium, le magnésium et le potassium, leur concentration ne devrait pas excéder dans la mesure du possible 5 à 9 mg/l, 4 à 8 mg/l et 0,5 à 2 mg/l respectivement. Contrairement à la croyance que des niveaux élevés de calcium sont nuisibles aux sphaignes, ce sont en fait plutôt des concentrations accrues de bicarbonate qui sont néfastes puisqu'elles font augmenter l'alcalinité. La concentration de bicarbonate ne devrait absolument pas dépasser 500 à 2000 μM , ce qui correspond à une alcalinité de 800 à 2000 $\mu\text{eq}/\text{l}$. En deçà de ces seuils, le développement d'un tapis de sphaignes est possible, car, à l'opposé de l'agriculture conventionnelle, la culture de sphaignes ne requiert pas que le substrat soit riche en éléments minéraux ou en nutriments.

Au niveau des aspects physiques, la détermination du type de tourbe que l'on trouve en surface permet directement d'évaluer l'efficacité du substrat à jouer son rôle d'éponge, c'est-à-dire à absorber et à laisser l'eau y circuler facilement. La tourbe de sphaigne est le

substrat le plus approprié, car grâce à son faible degré de décomposition (von Post H1 à H5), elle transporte et retient aisément l'eau. De plus, l'épaisseur résiduelle du dépôt de tourbe devrait être considérée, malgré le fait qu'il soit difficile de fixer une épaisseur minimale. De manière générale, les sites de culture de sphaignes au Canada ont été établis sur une épaisseur d'au moins un mètre de tourbe peu décomposée (von Post H3-H4). L'établissement sur des dépôts de tourbe plus décomposés (von Post > H6) et moins épais est possible, mais le risque d'atteindre le substrat minéral sous-jacent lors du creusage des canaux d'irrigation augmente. Cela peut enrichir l'eau dans les canaux d'irrigation par contact direct et favoriser la propagation des plantes vasculaires capables d'atteindre le substrat minéral avec leurs racines. Il est recommandé d'établir un site de culture de sphaignes sur un dépôt de tourbe peu décomposé (von Post H1 à H5). De plus, le dépôt de tourbe devrait avoir une épaisseur minimale de 50 cm à 1 m selon la structure d'irrigation choisie, en évitant d'atteindre le substrat minéral lors de l'aménagement des bassins.

CULTURE DE SPHAIGNES SUR TOURBE DÉCOMPOSÉE EN ALLEMAGNE

En Allemagne, la culture de sphaignes établie sur des dépôts de tourbe très décomposée (> H6) et aussi peu épais que 30 cm a été testée et est possible. Cependant, lors de périodes de sécheresse, la tourbe en surface durcit et crée une croûte qui empêche la remontée de l'eau par capillarité jusqu'aux sphaignes (figure 4). De plus, si des précipitations importantes suivent ces périodes de sécheresse, cette croûte nuit également à pénétration de l'eau dans la tourbe, ce qui engendre des problèmes d'érosion considérables. Dans ce contexte, il faut éviter à tout prix les manques d'approvisionnement en eau à partir des réserves du sol. Cependant, comme la tourbe plus décomposée est moins perméable, il est beaucoup plus difficile de maintenir un niveau de nappe stable et élevé à l'échelle des bassins.



Figure 4. Surface de la tourbe en « croûte » et déplacement du matériel végétal à la suite de périodes de sécheresse et de pluies abondantes.

V. Quantité et qualité de l'eau disponibles pour l'irrigation

La quantité d'eau requise dépend du niveau d'eau ciblé, de la superficie des bassins et du type d'irrigation choisi pour les bassins de culture. Selon cette cible, le volume d'eau nécessaire pour irriguer les bassins peut être estimé rapidement d'après les dimensions des canaux d'irrigation. Les pertes d'eau par évaporation dans les canaux et par évapotranspiration dans les bassins sont minimes par rapport au volume total.

La source d'eau devrait être la plus locale possible, pour minimiser les ressources requises pour son acheminement et pour s'assurer que sa qualité soit adéquate pour la culture des sphaignes, en matière de conditions chimiques. Par exemple, la source d'eau utilisée pour le site de culture de sphaignes à la tourbière n° 530 de Shippagan (Nouveau-Brunswick) est un lac de tourbière situé à moins de 100 m, dont le pH et la conductivité électrique sont de 4,6 et 97 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pour le site de Saint-Modeste (Québec), l'eau provient d'un bassin de sédimentation et est stockée dans une citerne sur le site, avec un pH et une conductivité électrique de 6,7 et 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cependant, il peut être compliqué d'établir un site de culture de sphaignes à proximité d'une source d'eau naturelle en tourbière, notamment, considérant la nécessité d'une autorisation environnementale pour le prélèvement d'eau et un suivi fréquent du niveau. Il peut également être envisageable de creuser un bassin de rétention en eau, collectant l'eau de drainage des planches d'extraction, et l'eau de pluie et de fonte des neiges. Les lois et les règlements de la province devraient être consultés au préalable.

Ainsi, il est possible de cultiver des sphaignes avec de l'eau ayant des seuils plus élevés que ceux mentionnés plus haut quant aux caractéristiques chimiques de la tourbe. Selon les connaissances actuelles, le pH et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation ne devraient pas excéder 7 et 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

ENRICHISSEMENT DE L'EAU D'IRRIGATION EN ALLEMAGNE

En parallèle, en Allemagne, l'eau d'irrigation provient généralement de bassins de rétention collectant l'eau de drainage des champs agricoles avoisinants et l'eau de pluie. En plus de l'apport élevé de phosphore et de potassium découlant de l'eau d'irrigation, un apport en azote des dépositions atmosphériques a été observé. Cet enrichissement ne limite pas la croissance des sphaignes. Toutefois, dans ces conditions riches, des espèces de sphaignes à croissance rapide et très compétitives, comme *Sphagnum fallax*, du sous-genre *Cuspidata*, sont favorisées par rapport à *Sphagnum papillosum*, l'espèce visée pour la culture, allant jusqu'à la remplacer complètement.

Source du matériel végétal

La culture de sphaignes requiert que suffisamment de biomasse de sphaignes initiale soit disponible pour ensemercer les bassins. Considérant que la germination de spores de sphaignes sur le terrain est complexe et improbable, il convient de tirer avantage de la reproduction végétative des sphaignes, c'est-à-dire qu'elles sont capables de se régénérer à partir de n'importe quel fragment de la plante. Donc, il suffit de s'assurer qu'un site donneur de dimension adéquate (selon le ratio de réintroduction, voir section [Réintroduction du matériel végétal](#), p. 29) et avec les espèces visées pour la culture, soit disponibles, que ce soit dans une tourbière naturelle ou d'un cycle antérieur d'un site de culture de sphaignes.

1. Sélection des espèces de sphaignes à cultiver

La sélection des espèces de sphaignes à cultiver dépend de leurs propriétés intrinsèques et l'utilisation finale de la biomasse produite. Les propriétés intrinsèques des différentes espèces de sphaignes sont généralement similaires à l'intérieur d'un même sous-genre (*Acutifolia*, *Sphagnum*, *Cuspidata*).

Les sphaignes du sous-genre *Acutifolia* (figure 5), comme *Sphagnum rubellum* et *Sphagnum fuscum* se retrouvent sur les buttes et les platières des tourbières naturelles, où elles forment des tapis denses enchevêtrés transportant l'eau facilement par capillarité. Ces espèces de sphaignes sont donc plus résistantes à la sécheresse et tolèrent des niveaux d'eau bas. Les *Acutifolia* sont celles qui poussent le plus lentement, mais elles ont aussi les taux de décomposition les plus faibles, une propriété attrayante pour la culture de sphaignes.



Figure 5. Sphaigne du sous-genre *Acutifolia*.



Figure 6. Sphaigne du sous-genre *Sphagnum*.



Figure 7. Sphaigne du sous-genre *Cuspidata*.

SPHAGNUM FLAVICOMANS : UNE ESPÈCE INTÉRESSANTE POUR LA CULTURE DE SPHAIGNES

Sphagnum flavicomans est une espèce du sous-genre *Acutifolia* qui est endémique¹¹ aux régions maritimes atlantiques de l'Amérique du Nord. Elle présente un potentiel de culture prometteur étant donné qu'il s'agit d'une grosse espèce par rapport aux autres mousses du sous-genre *Acutifolia*, lui conférant une porosité élevée, caractéristique intéressante pour les substrats de croissance.



Figure 8. *Sphagnum flavicomans*.

Les sphaignes du sous-genre *Sphagnum* (figure 6), comme *Sphagnum medium* et *divinum* (cf anciennement identifié comme *Sphagnum magellanicum*) et *Sphagnum papillosum*, sont plus grosses, ce qui leur donne une grande porosité, caractéristique intéressante pour utilisation comme substrats de croissance. Elles forment des tapis moins denses que les *Acutifolia* en raison de leur plus grande taille, mais peuvent accumuler beaucoup de biomasse par unité de surface. Les sphaignes du sous-genre *Sphagnum* se décomposent lentement également, mais sont moins résistantes à la sécheresse que les *Acutifolia*, puisqu'elles ne forment pas des tapis aussi denses. On les retrouve dans les platières des tourbières naturelles où elles tolèrent des niveaux d'eau variables.

¹¹ Endémique: espèce présente exclusivement dans une région géographique délimitée.

Les espèces du sous-genre *Cuspidata* (figure 7), comme *Sphagnum cuspidata* et *Sphagnum fallax*, sont des sphaignes typiques des dépressions des tourbières naturelles. Elles forment des tapis lâches qui ne permettent pas une bonne conservation de l'eau en surface. Ainsi, même si les *Cuspidata* ont le taux de croissance le plus élevé, elles peuvent s'assécher fréquemment durant l'été et leur rendement en biomasse en est grandement affecté. De plus, leurs feuilles se décomposent rapidement, formant une tourbe essentiellement composée de tiges et donnant une biomasse de piètre qualité peu poreuse.

Ces différences au niveau de la taille des feuilles, des pores, et du taux de production et décomposition déterminent le potentiel d'utilisation des différentes espèces dans les substrats de croissance. Si l'objectif de la culture de sphaignes est de produire des sphaignes pour servir de substrat horticole, plusieurs espèces des sous-genres *Acutifolia*, *Sphagnum* et *Cuspidata* peuvent être sélectionnées. En effet, ces sous-genres ont démontré, lors de tests de croissance¹², qu'elles peuvent être intégrées à des substrats de croissance tout en conservant la qualité de ce dernier. Toutefois, certains résultats avec le sous-genre *Cuspidata* présentent moins de constance qu'avec les sous-genres *Acutifolia* et *Sphagnum*. Si le but est de cultiver de la mousse florale, aucune étude ciblant le sous-genre de sphaigne le plus adéquat n'est connue, mais on observe plus fréquemment que le sous-genre *Sphagnum* est utilisé. Si en revanche, il est prévu d'utiliser les fibres de sphaignes dans la fabrication d'un produit absorbant, alors il faut éviter les espèces du sous-genre *Cuspidata*. Finalement, si l'objectif est de produire du matériel donneur destiné à la restauration des tourbières, les sphaignes cultivées devraient être du sous-genre *Acutifolia* et *Sphagnum*, et inclure du polytric dressé (*Polytrichum strictum*), comme recommandé dans le [Guide de restauration des tourbières - Récolte du matériel végétal et gestion des sites donneurs](#).

Éléments clés à vérifier lors de la planification

Ainsi, la mise en place d'un site de culture de sphaignes est possible si les éléments clés suivants ont été identifiés comme étant disponibles lors de la planification :

- Accès à une source d'énergie
- Accès à une source d'eau d'irrigation de qualité adéquate
 - $\text{pH} \leq 7$ et conductivité électrique $\leq 200 \mu\text{S/cm}$
- Substrat de tourbe dans les bassins de qualité adéquate
 - $\text{pH} \leq 5,5$ à $5,8$ et/ou conductivité électrique ≤ 100 à $140 \mu\text{S/cm}$
 - Faible taux de décomposition (von Post H1 à H5)
 - Épaisseur minimale $\leq 0,5$ à 1 m
- Matériel végétal pour l'initiation du site de culture disponible et adéquat
 - Sous-genres *Acutifolia* et *Sphagnum*

¹² Gaudig et coll. (2018)

3. HISTORIQUE DE LA RECHERCHE

Méthode de remouillage

Les différents projets de recherche menés par le **Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET)** ont démontré la nécessité, en combinaison avec l'introduction de plantes, de remouiller le dépôt de tourbe résiduel des tourbières post-extraction afin de restaurer des conditions hydrologiques permettant l'établissement d'un tapis de sphaignes. Considérant la nécessité d'une nappe phréatique proche de la surface pour optimiser l'établissement et la croissance des sphaignes, les connaissances sur les différentes approches de remouillage des tourbières post-extraction sont très pertinentes dans un contexte de culture de sphaignes.

Par le passé, différentes techniques de remouillage des tourbières ont été mises à l'épreuve, sans qu'elles ne s'avèrent toutes efficaces. Notamment, l'irrigation de surface utilisant des gicleurs pour maintenir les sphaignes humides avait un effet négatif sur celles-ci, puisque l'eau de tourbières, riche en carbone organique dissous, créait des dépôts de tourbe sur les capitules de sphaignes (figure 9). Également, en phase d'établissement des sphaignes, les gouttes d'eau qui frappaient le sol, déplaçaient continuellement les propagules nouvellement réintroduites. Des gicleurs de type brumisateur ne sont pas envisageables non plus, car rapidement le système se bouche par les particules fines présentes dans l'eau. De plus, ce système d'irrigation est très coûteux à mettre en place. Par la suite, la création de bassins fermés (sans canaux d'irrigation et de drainage) de 20 cm de profondeur a été envisagée (figure 10). La culture en bassins permet en effet de fournir aux sphaignes un meilleur accès à l'eau, idéal à leur croissance, toutefois les conditions optimales sont difficiles à contrôler. De plus, la submersion des sphaignes est fréquente par l'inondation des bassins, ce qui leur est nuisible en phase d'établissement, alors que cette situation est moins problématique une fois le tapis de sphaigne complètement formé. Toutefois, lorsque le but est d'établir un tapis de sphaigne et d'en optimiser le rendement, par exemple, lors de la culture de sphaignes, **une gestion active des conditions hydrologiques en bassin est l'option la plus intéressante**. Le niveau de l'eau est maintenu juste sous la surface de la tourbe par irrigation latérale provenant de canaux réservoirs (figure 11). En période sèche, l'eau dans les canaux réservoirs est diffusée dans la tourbe adjacente par transport latéral selon la conductivité hydraulique de la tourbe. En période de surplus d'eau, les canaux servent à évacuer le trop plein d'eau afin d'éviter l'inondation.



Figure 9. Irrigation de surface avec gicleurs.



Figure 10. Irrigation par inondation superficielle.



Figure 11. Irrigation par apport d'eau latéral.

Contrôle des conditions hydrologiques

L'un des premiers sites de culture de sphaignes établi à plus large échelle (1,26 ha) au Canada a été mis en place dans un ancien site de coupe de tourbe par blocs au Nouveau-Brunswick (tourbière n° 527). Ce site profitait de la topographie particulière d'alternance de tranchées et de terre-pleins, en établissant les bassins de production dans les tranchées. Le niveau d'eau dans les bassins était contrôlé manuellement : le niveau des barrages était fixé pour maintenir une hauteur maximale du niveau de l'eau à environ 5 à 10 cm sous la surface. Ce système permettait d'évacuer les surplus d'eau à l'automne et au printemps, mais ne prévenait pas les baisses importantes du niveau de la nappe l'été, comme le seul apport d'eau provenait des précipitations.

Ainsi, les niveaux d'eau étaient très variables entre les différents bassins et à l'intérieur même des bassins. Cela avait pour effet de créer de grandes variations au niveau de la production de biomasse de sphaignes (figure 12 - bandes jaunes). L'optimisation de l'accès à l'eau dans les bassins de culture de sphaignes par **l'irrigation active permet en moyenne de doubler la production de biomasse**. L'installation d'un système d'irrigation actif est donc fortement recommandée lors de la mise en place d'un site de culture de sphaignes.

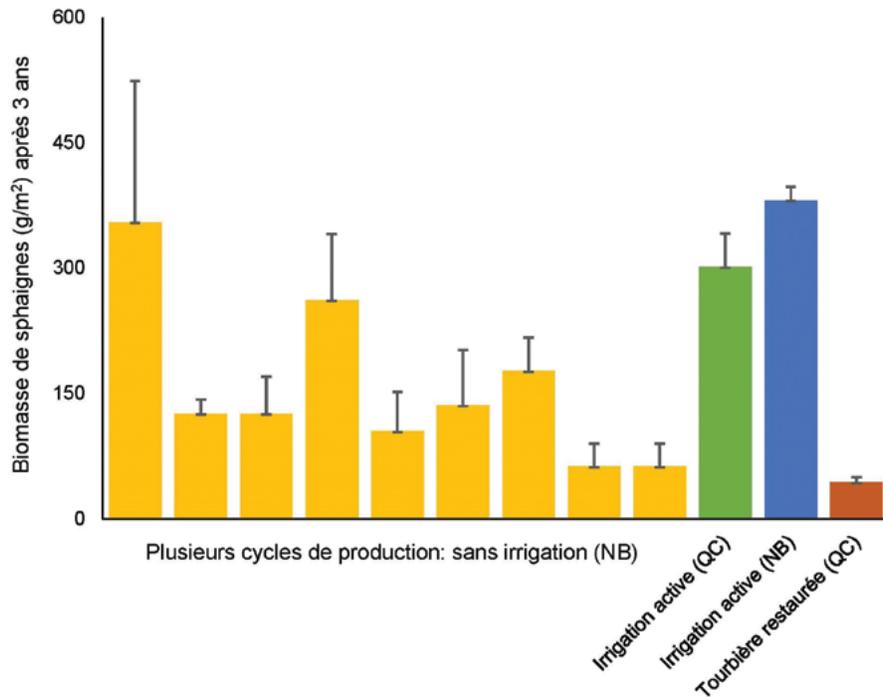


Figure 12. Accumulation moyenne de biomasse de sphaignes trois ans suivant leur réintroduction dans différents sites de culture de sphaignes avec ou sans irrigation au Nouveau-Brunswick et au Québec, en comparaison avec une tourbière restaurée.

PRODUCTION EN SERRE ET MICRO-PROPAGATION

Plusieurs études^{13,14} ont permis de démontrer que la culture de la sphaigne en serre dans un système hydroponique est aussi possible. Ce genre de culture permettrait d’allonger significativement la période de croissance des sphaignes. De plus, des tests de micro-propagation ont aussi été réalisés avec succès, toutefois ces techniques peuvent être complexes, car elle ne fonctionne qu’à partir des spores qui sont plutôt difficiles à obtenir dû à leur rareté.

¹³ VALORÉS (2022a)

¹⁴ Données non-publiées, GRET

4. ÉTAPES DE MISES EN PLACE

La mise en place d'un site de culture de sphaignes débute par l'aménagement des bassins et l'installation du système d'irrigation. Afin de s'assurer de son bon fonctionnement, il peut être pertinent de tester l'efficacité du système d'irrigation avant de mettre en place la végétation. Une fois le matériel végétal réintroduit dans les bassins, le système d'irrigation peut être à nouveau mis en marche.

La majorité de ces étapes s'effectue avec de la machinerie. Les opérations devraient être effectuées en priorité de l'extérieur (en bordure) des bassins afin de minimiser les perturbations et la compaction de la tourbe. L'altération du profil de la tourbe aura pour conséquence de modifier ses propriétés, notamment sa conductivité hydraulique. Dans un contexte où la machinerie doit circuler à l'intérieur des bassins, le drainage préalable des bassins peut réduire les risques d'enlèvement. Dans ce cas, la circulation de la machinerie sur des flotteurs, des panneaux de contreplaqué, ou sur la couche végétale avant son retrait devrait être favorisée, ainsi que l'emploi de mini-excavatrices sur chenilles. L'opération sur le sol gelé est une option également possible, toutefois, la fenêtre d'opération peut être difficile à cibler, comme il faut qu'une partie du sol ait commencé à dégeler, mais que le dessous soit encore gelé. Finalement, il est important de considérer que le risque d'enlèvement de la machinerie varie selon le contexte. L'opération de machinerie sur les anciennes planches de récolte présente moins de risque que dans une tourbière naturelle, comme la tourbe est plus décomposée, compactée et contient moins d'eau.

Aménagement des bassins

L'aménagement des bassins de culture s'amorce par leur délimitation, le retrait de la végétation de surface lorsque nécessaire, le creusage des bassins au niveau désiré et leur nivellement. Les trois dernières étapes peuvent s'effectuer simultanément avec une excavatrice munie d'un godet adapté. Lors du creusage des bassins, une attention particulière doit être portée afin de ne pas atteindre le substrat minéral sous-jacent. Un contact avec celui-ci lors du creusage peut causer des problèmes importants de perte d'eau par une veine souterraine selon la porosité du minéral, et une contamination de la tourbe par le sol minéral. L'atteinte d'une tourbe très décomposée (von Post > H6) est aussi à éviter, car cela pourrait favoriser la croissance d'espèces compétitrices. Cela souligne l'importance d'une caractérisation préalable des conditions du site.

Un godet en forme de lame peut être utilisé pour le nivellement. Ceci doit être fait conjointement avec l'emploi d'un niveau laser ou d'une station totale. Ainsi, une personne située directement dans le bassin en vérifie le niveau et peut donner des instructions à l'opérateur de l'excavatrice, et au besoin faire de petits ajustements avec une pelle à la main. La personne située dans les bassins devrait porter des raquettes si les bassins sont humides. Le niveau de précision visé dans un bassin devrait être de **plus ou moins 5 cm**, afin de permettre une distribution uniforme de l'eau et assurer un rendement optimal des sphaignes.

Dimensions des bassins

Idéalement, la largeur des bassins choisie devrait permettre à l'excavatrice d'atteindre le centre du bassin avec son bras et ainsi pouvoir manœuvrer sur toute la surface du bassin en circulant de part et d'autre de celui-ci. Cette option permettra de faciliter la plupart des opérations, dont l'établissement des bassins et la récolte de la sphaigne. La largeur des bassins influence également l'efficacité du système d'irrigation. En effet, en période de sécheresse, l'irrigation latérale sera moins efficace plus l'on s'éloigne des canaux d'irrigation (figure 13). Par conséquent, plus les bassins seront larges, plus il sera difficile d'atteindre les niveaux d'eau désirés au centre du bassin. Concernant la longueur des bassins, celle-ci dépend du dénivelé total du site. Plus celui-ci est important, plus il est complexe et difficile d'obtenir le niveau de précision visé sur toute la longueur du site. Il vaut mieux dans ce cas faire plusieurs bassins plus courts.

Les dimensions des bassins varient dans les différents sites de culture de sphaignes au Canada. Des bassins irrigués de 10 m par 50 m, et de 20 m par 50 m ont été mis en place avec succès, quoique ces derniers ont nécessité l'ajout de micro-canaux transversaux afin de mieux distribuer l'eau jusqu'au centre.

Installation du système d'irrigation

1. Type d'irrigation

Au cours des expériences de culture de sphaignes réalisées au Canada, différents dispositifs d'irrigation ont été testés afin de déterminer les méthodes d'irrigation optimales. Entre autres, l'utilisation de canaux réservoirs ouverts a été combinée avec l'utilisation de drains souterrains et de micro-canaux. De plus, différentes positions des structures d'irrigation ont été employées. Cinq dispositifs différents ont été mis en place jusqu'à maintenant (figure 13), soit : a) des canaux réservoirs périphériques ; b) un canal réservoir longitudinal central ; c) un canal réservoir longitudinal latéral avec des drains souterrains transversaux ; d) un canal réservoir transversal latéral avec un drain souterrain longitudinal central ; et e) un canal réservoir longitudinal latéral avec micro-canaux transversaux. Le choix du dispositif d'irrigation approprié doit tenir compte des conditions du site, plus particulièrement de la profondeur et des caractéristiques physiques de la tourbe, et de l'écoulement naturel des eaux (voir l'encadré, p. 26). Si l'épaisseur de tourbe résiduelle ne permet pas de creuser des canaux réservoirs, une approche d'irrigation avec des micro-canaux devrait être favorisée pour éviter d'atteindre le substrat minéral sous-jacent. En présence de tourbe plus décomposée, l'utilisation de micro-canaux permet une meilleure distribution de l'eau à l'intérieur des bassins.

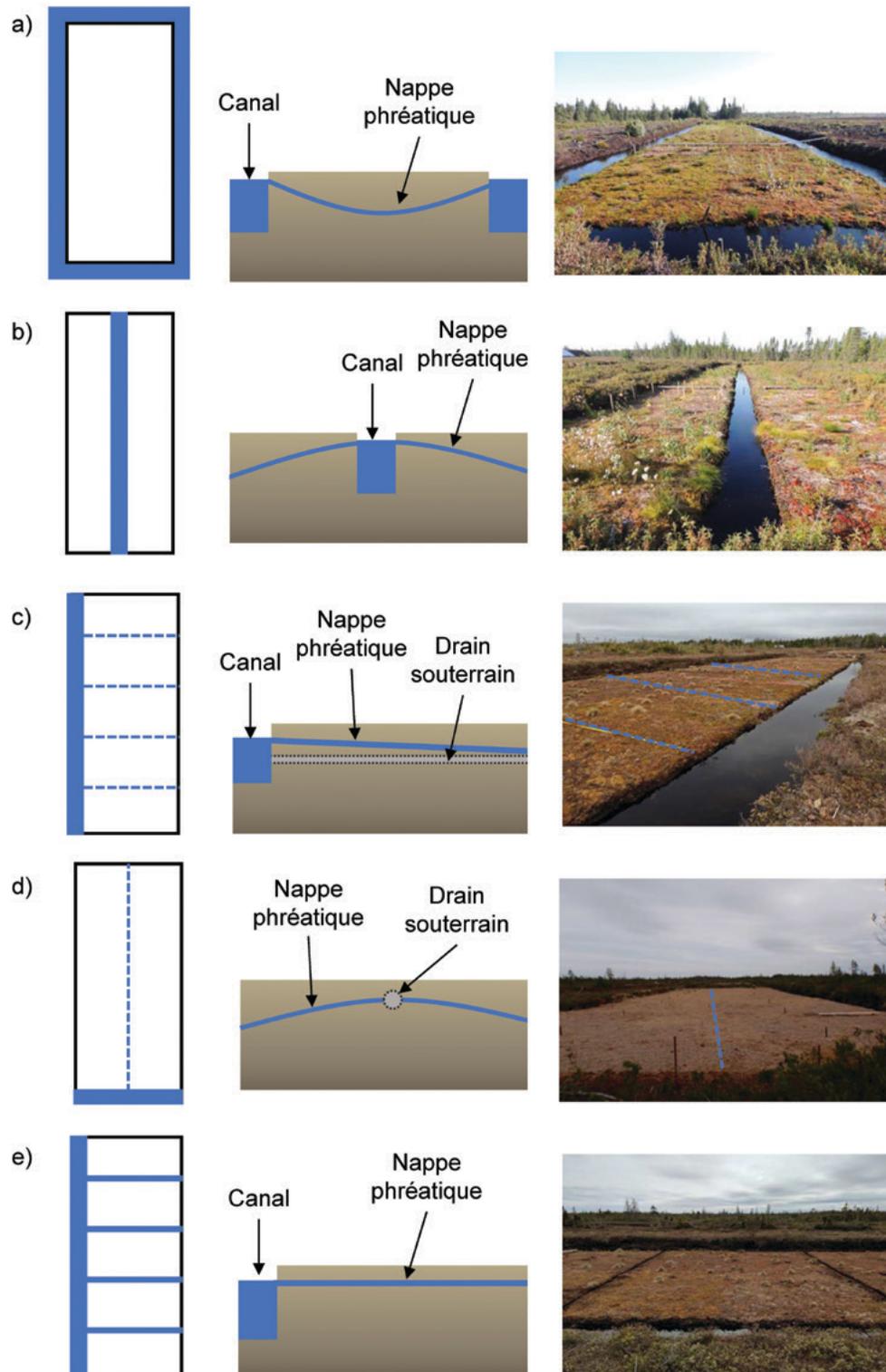


Figure 13. Schéma des différents types de structure d'irrigation en plan aérien et en coupe transversale, a) des canaux réservoirs périphériques ; b) un canal réservoir longitudinal central ; c) un canal réservoir longitudinal latéral avec des drains souterrains transversaux ; d) un canal réservoir transversal latéral avec un drain souterrain longitudinal central ; et e) un canal réservoir longitudinal latéral avec micro-canaux transversaux.

L'alimentation en eau avec les canaux réservoirs s'effectue par diffusion dans la tourbe à proximité des canaux creusés. Le niveau de la nappe dans les bassins varie selon la position des canaux réservoirs (périphériques, central ou latéral ; figure 13), la nappe étant plus élevée à proximité des canaux puis s'abaissant en s'éloignant des canaux. L'efficacité de diffusion de l'eau dépend également du degré de décomposition de la tourbe qui influence la conductivité hydraulique ; plus celle-ci est décomposée, plus la conductivité hydraulique est faible et moins l'eau circulera facilement. Sur les différents sites de culture au Canada, les canaux ont 65 à 85 cm de profondeur et 60 à 130 cm de largeur (tableau 1). Toutefois, il a été constaté que plus les canaux sont profonds, plus ils ont tendance à drainer les bassins plutôt que les irriguer, et que les canaux ont tendance à s'élargir à la suite du creusement. De plus, des grands canaux réservoirs peuvent augmenter les pertes potentielles d'eau, par écoulement souterrain, ruissellement au niveau du barrage ou par évaporation. Aussi, de grands canaux émettront davantage de méthane dans l'atmosphère nuisant au bilan carbone du site. Ainsi, il est préférable d'utiliser des canaux moins profonds afin de ne profiter que de l'écoulement dans les premiers 30-50 cm où se trouve la tourbe la plus perméable caractérisée par des valeurs de conductivité hydraulique horizontale supérieure à celle des horizons plus profonds. Le creusement des canaux devrait être effectué lorsque la tourbe n'est pas saturée en eau, puisque la structure de la tourbe peut être endommagée.

L'emploi de drains souterrains a été envisagé dans l'optique de réduire les pertes d'eau par évaporation et les émissions de méthane provenant des canaux réservoirs. L'efficacité d'irrigation par des drains souterrains dépend directement de la conductivité hydraulique de la tourbe à la profondeur à laquelle ils sont installés, et de la distance entre les drains. Ce type d'irrigation n'est pas recommandé pour les tourbières possédant une tourbe résiduelle modérément décomposée (von Post > H5). Les drains souterrains qui ont été mis en place sont des drains agricoles perforés de 4" de diamètre fait de polyéthylène. Les perforations sont des fentes d'environ 2 cm de longueur. Ceux-ci sont connectés hydrauliquement à une extrémité du canal réservoir. Lorsque les drains souterrains sont installés latéralement, ils sont espacés d'environ 10 m. Leur installation est complexe, car ils doivent être placés au niveau sur toute leur longueur et demandent d'être recouverts après installation. Après recouvrement, le niveau du bassin doit être réajusté. De plus, l'utilisation de drains souterrains ne semble pas optimale au point de vue pratique, car il est possible, même probable qu'ils se combent avec de la tourbe avec le temps. De plus, comme ceux-ci ont été installés à 75 cm de profondeur dans une tourbe plus décomposée, leur efficacité n'est pas optimisée.

Afin de profiter de la perméabilité de la couche de tourbe de surface (les 30 premiers centimètres) par rapport aux horizons plus profonds, plus imperméables, il est possible d'utiliser des micro-canaux afin de répartir l'eau plus efficacement. En étant disposés transversalement, ceux-ci peuvent être creusés et nettoyés avec une excavatrice ayant un bras suffisamment long et une pelle d'environ 20 cm de largeur, à partir de l'extérieur des bassins. Ils sont plus faciles à mettre en place et à entretenir que les drains souterrains. De plus, comme leur taille est réduite, les micro-canaux ne représentent pas des obstacles opérationnels aussi importants que les canaux réservoirs. Par exemple, ils sont faciles à traverser à pied ou avec de la machinerie et ils entraveraient possiblement moins l'écoulement naturel de l'eau souterraine (voir l'encadré, p. 26).

Tableau 1. Dimensions des structures d'irrigation actuellement utilisées dans les sites de culture de sphaignes au Canada.

Type d'irrigation	Position	Dimensions
Canal réservoir	Périphérique, longitudinal central, longitudinal latéral, transversal latéral	60 à 130 cm de largeur par 65 à 85 cm de profondeur
Drain souterrain	Transversal, longitudinal central	Tuyau de 4" enterré à environ 75 cm
Micro-canal	Transversal	20 cm de largeur par 15 cm de profondeur

Le nombre optimal de micro-canaux ainsi que la distance entre eux dépendent du niveau de décomposition de la tourbe à la surface des bassins et des précipitations reçues lors de la saison de croissance (entre mai et octobre) dans la région du site. Étant donné que la circulation de l'eau est moins bonne dans la tourbe très décomposée, ce qui se traduit par une conductivité hydraulique basse, il est recommandé d'augmenter le nombre de canaux et de les rapprocher davantage en comparaison d'un bassin ayant de la tourbe moins décomposée. La conductivité hydraulique saturée peut être mesurée par [la méthode du trou à la tarière](#) en milieu stratifié. Finalement, une région recevant plus de précipitations lors de la saison de croissance pourra espacer davantage ces micro-canaux (tableau 2).

Tableau 2. Approximation de l'espacement des micro-canaux¹⁵ recommandé selon la conductivité hydraulique équivalente¹⁶ de la tourbe de sphaignes et selon le cumulatif des précipitations reçues entre mai et octobre pour la région de Québec/Bas-St-Laurent (350 mm) et la région Atlantique (500 mm). L'espacement entre les micro-canaux peut être ajusté en fonction de la taille du bassin. Un '-' indique que la conductivité est si faible qu'il n'est physiquement pas recommandé d'utiliser les micro-canaux pour l'irrigation.

Conductivité hydraulique (K_e ; m/jour)	Espacement des micro-canaux (m)	
	Québec/Bas-St-Laurent	Région Atlantique
24	50	75
2	15	18
1,5	12	15
1	10	13
0,8	9	12
0,6	7	10
0,4	5	8
0,18	2,5	4
0,034	-	0,5
0,017	-	-
0,009	-	-

Les résultats de rendement en biomasse de sphaignes indiquent qu'il existe peu de différence entre les différents types de structure d'irrigation, même si ceux-ci ne permettent pas tous d'obtenir un niveau uniforme d'eau à l'intérieur des bassins (figure 13). Le choix du type d'irrigation dépend donc plus de considérations pratiques. Notamment, le dispositif avec le canal réservoir latéral combiné avec des micro-canaux semble être celui qui présente les meilleures perspectives pour de la culture de sphaignes à grande échelle. Les drains souterrains même s'ils fournissent des résultats similaires de production de sphaignes ne sont pas recommandés puisque leur efficacité à long terme n'est pas assurée. Les bassins avec des canaux périphériques sont quant à eux définitivement moins pratiques au niveau opérationnel.

¹⁵ Les valeurs dans le tableau 2 sont le résultat d'une simulation pour un micro-canal de section rectangulaire de 20 x 20 cm, qui aura toujours un niveau d'eau de -2 cm (c'est-à-dire, plein à 18 cm).

¹⁶ La conductivité hydraulique équivalente (K_e) est une «moyenne» des valeurs de conductivité hydraulique saturée (K_{sat}) mesurées pour les différents horizons identifiés et pondérées par épaisseur d'horizon.

IMPORTANCE DE CONSIDÉRER L'ÉCOULEMENT NATUREL DE L'EAU

Selon leur position et leur profondeur, il a été constaté que les canaux réservoirs peuvent intercepter l'écoulement naturel de l'eau, et ainsi nuire à l'apport naturel en eau dans les bassins (figure 14). À la station de culture de sphaignes de Shippagan (tourbière n° 530), certains bassins en périphérie reçoivent naturellement plus d'eau que d'autres en fonction de leur position. Ces derniers nécessiteront davantage d'irrigation artificielle pour maintenir le niveau ciblé de la nappe phréatique. L'utilisation des micro-canaux pourrait potentiellement diminuer cet effet. De plus, l'orientation des bassins et des canaux peut être choisie de manière à diminuer ou éviter ce phénomène, lorsque possible.



Figure 14. Interception de l'écoulement naturel de l'eau par les canaux réservoirs. Les flèches bleues indiquent l'intensité de l'écoulement naturel de l'eau et les flèches orange montrent l'écoulement intercepté par les canaux (image : 2022 CNES/Airbus).

II. Type de barrages

Afin de contrôler le niveau d'eau dans les bassins, des barrages sont disposés à leur sortie des canaux. Deux catégories différentes de barrages ont été testées jusqu'à maintenant : (1) des barrages fixes et (2) des barrages mobiles automatiques.

Les barrages fixes sont des systèmes très simples du contrôle du niveau de l'eau (figures 15 et 16). Ceux-ci sont ajustés pour maintenir un niveau maximal de l'eau dans les canaux durant l'été, puis ouverts au besoin, au printemps et à l'automne pour évacuer les surplus d'eau. À titre d'exemple, des plaques d'acier d'environ 1 m de hauteur enfoncées presque entièrement dans la tourbe ont été utilisées. Celles-ci possèdent une ouverture permettant d'insérer des planches de bois et ainsi de déterminer le niveau maximal de la nappe phréatique (figure 16).



Figure 15. Barrage fixe à niveau variable ajustable manuellement.



Figure 16. Barrage fixe où le niveau maximal du niveau d'eau est ajusté avec l'ajout ou le retrait de planche insérée dans une plaque en acier.

Afin d'avoir plus de contrôle sur le niveau de la nappe phréatique au cours de l'été, un dispositif a été mis en place afin de rendre les barrages mobiles et automatiques. Il a été observé qu'en temps de pompage d'eau dans les bassins, les canaux ont un effet d'irrigation, alors qu'en temps de précipitations, les canaux ont plutôt un effet de drainage (figure 17). Dans cette dernière situation, le niveau de la nappe phréatique sera plus haut au centre du bassin, alors que ce sera l'inverse lors des sécheresses. Compte tenu de cette information, il est souhaitable de diminuer la hauteur du niveau d'eau en temps de précipitation et de l'augmenter en temps de sécheresse. C'est le rôle que peuvent jouer les barrages mobiles.

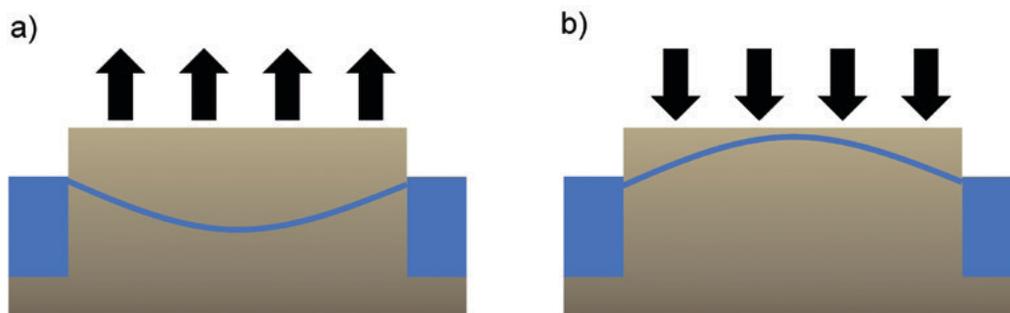


Figure 17. Comportement de la nappe phréatique dans les bassins en fonction des conditions météorologiques a) en période d'irrigation artificielle, les canaux ont un effet d'irrigation et la nappe phréatique sera plus basse en s'éloignant des canaux ; b) lors de précipitations, les canaux ont un effet de drainage et la nappe phréatique est plus haute en s'éloignant des canaux.

Le barrage mobile est en fait un système de tuyauterie munie d'une valve installée du côté de l'aval du barrage (figures 18 et 19). Un trou doit être fait dans le bas du barrage afin que l'eau entre dans le système de tuyaux. La valve est naturellement en position fermée dans le but de conserver l'eau dans le canal. Pour diminuer la hauteur du niveau d'eau, il suffit d'ouvrir la valve. Celle-ci peut s'ouvrir de deux façons. La première façon est grâce à un système qui se contrôle à distance. Un sonar (MaxBotix MB 7389) mesure la hauteur du niveau d'eau dans le canal en amont du barrage. Lorsque le niveau d'eau devient trop haut, un programme envoie le signal d'activer un actuateur linéaire (Firgelli automations, FA-PO-150-12-12) qui ouvre la valve, ce qui permet d'évacuer l'eau. Le second système est automatique et est muni d'un flotteur. Lorsque le niveau d'eau devient trop élevé dans le canal, le flotteur fait ouvrir la valve sans intervention. Ce dernier système permet d'éviter les inondations surprises dans les bassins, même en cas de panne du système.

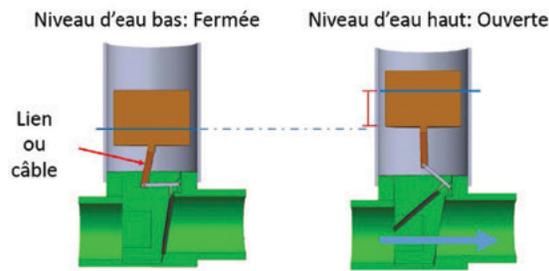


Figure 18. Fonctionnement des barrages mobiles. La valve du barrage est naturellement fermée et celle-ci peut s'ouvrir soit par l'actuateur linéaire, soit par un flotteur lorsque le niveau d'eau est trop haut dans le canal réservoir (image tirée du mémoire de maîtrise de Guillaume Goulet, 2019).



Figure 19. Barrage mobile fonctionnant avec un sonar mesurant le niveau d'eau dans le canal réservoir, et avec un actuateur linéaire et un flotteur (dans le tuyau gris) pour ouvrir la valve du barrage.

En plus des barrages fixes ou mobiles, il est recommandé de placer en aval de ceux-ci des barrages de tourbe bien compactés avec une excavatrice. Ces barrages ont principalement le rôle de protéger les barrages en métal et en bois de la force de la glace en hiver, en permettant un niveau d'eau similaire des deux côtés du barrage. Les barrages de tourbe peuvent très bien rester en place en été, tant que leur hauteur soit légèrement inférieure aux premiers barrages. En fait, les barrages de tourbe peuvent même aider à garder plus d'eau dans le bassin et créer une protection supplémentaire en cas de fuite au niveau du premier barrage.

III. Niveau de la nappe visé

Le principal besoin des sphaignes est sans contredit l'eau. Toutefois, les sphaignes ne sont pas des plantes aquatiques et ne tolèrent pas une submersion prolongée. Le niveau de la nappe phréatique optimal serait donc le plus près de la surface possible, mais sans créer d'inondation. En plus de nuire à la survie des sphaignes, des inondations fréquentes peuvent favoriser le développement de champignons et peuvent déplacer la sphaigne et la

paille à la suite de la réintroduction et ainsi ruiner les travaux de mise en place. Une nappe phréatique trop basse pourrait affecter considérablement la croissance, voire la survie de la sphaigne. Le maintien d'un **niveau d'eau élevé et stable** est particulièrement essentiel lors de la phase d'établissement des sphaignes, soit environ les deux premières années. Par la suite, une fois le tapis de sphaignes établi, des variations du niveau d'eau sont moins problématiques au niveau de la survie, mais peuvent affecter négativement les rendements. Finalement, un niveau d'eau élevé permet de minimiser le soulèvement gélival et ses impacts sur l'établissement des sphaignes, et minimise aussi l'établissement et la croissance d'arbres et d'arbustes.

Les résultats de rendement en biomasse de sphaignes indiquent qu'un niveau d'eau situé à -10 cm sous la surface de la tourbe permet généralement d'obtenir plus de biomasse qu'à -20 cm, et ce, peu importe l'espèce de sphaigne. De plus, il a été constaté que la stabilité du niveau d'eau est un facteur important contrôlant la croissance des sphaignes et la séquestration du carbone. Cependant, tout dépendant du type de structure d'irrigation et des barrages utilisés, le niveau d'eau dans les bassins ne respecte pas toujours la cible visée tout au long de la saison de croissance. Une approche combinant un canal réservoir, des micro-canaux et un barrage mobile automatique offre le meilleur potentiel de distribution uniforme de l'eau dans le bassin et de contrôle efficace de son niveau.

Réintroduction du matériel végétal

La réintroduction du matériel végétal dans les bassins de culture est très similaire à l'étape de réintroduction lors de la restauration des tourbières à sphaignes avec la méthode de transfert de la couche muscinale (MTCM). Ainsi, la plupart des recommandations trouvées dans le [Guide de restauration des tourbières - Récolte du matériel végétal et gestion des sites donneurs](#) s'appliquent ici également. Certaines subtilités seront présentées dans les sections suivantes.

1. Récolte du matériel végétal

Choix du site donneur

Le site donneur doit être dominé par des communautés de sphaignes du sous-genre *Acutifolia* et *Sphagnum*, ou plus spécifiquement par les espèces de sphaignes visées pour la culture (voir section [Source du matériel végétal](#), p. 14). La présence de polytric dressé dans le site donneur n'est pas requise comme pour la restauration des tourbières. Lors de la restauration, le polytric agit comme plante compagne facilitant l'établissement des sphaignes et limitant le soulèvement gélival. Or, le soulèvement gélival n'est normalement pas un enjeu pour la culture de sphaignes, comme le maintien d'un niveau de nappe élevé réduit ce phénomène. Selon l'utilisation des fibres de sphaignes produites, la présence de polytric nuit à la pureté du matériel végétal.

Le matériel végétal peut provenir d'un secteur de tourbière non perturbée, qui sera développé dans le futur ou d'une tourbière naturelle. Une autre option est de récolter le matériel dans un site de culture de sphaignes possédant un tapis suffisamment épais. La récolte d'un tapis de seulement 5 cm dans des bassins est suffisante pour réinitier un cycle de production subséquent. Cette option est intéressante puisqu'elle permet de réduire la quantité de matériel requis pour l'ensemencement, elle réduit l'impact de la récolte dans les tourbières naturelles, et elle limite le transport du matériel récolté. Finalement, le site donneur doit être de dimension adéquate selon le ratio d'ensemencement choisi.

Récolte du matériel végétal donneur

La récolte est généralement effectuée mécaniquement, et la machinerie utilisée dépend du type de site donneur (figures 20 à 23). Par exemple, pour récolter dans d'anciennes tranchées de coupe par bloc recolonisées par les sphaignes, l'emploi d'une excavatrice sur chenilles équipée d'une fourche mécanisée ou d'un godet grattant la couche de sphaignes dégelée en surface au printemps sont des techniques efficaces et peu dommageables. Si la récolte s'effectue dans une tourbière naturelle, alors la même machinerie que celle utilisée pour la restauration des tourbières peut s'employer. Si l'objectif de la culture est de conserver une certaine pureté dans le matériel réintroduit, alors la récolte peut s'effectuer manuellement à l'aide de râteaux et de fourches. Toutefois, cette approche est seulement envisageable à petite échelle, car elle requiert beaucoup de temps.



Figure 20. Récolte du matériel végétal dans un ancien site de coupe par bloc avec une excavatrice sur chenilles avec une fourche.



Figure 21. Récolte de matériel végétal dans un ancien site de coupe par bloc avec une excavatrice munie d'un godet grattant la couche de sphaignes dégelée en surface au printemps.



Figure 22. Déchiquetage du matériel végétal avec un rotoculteur dans une tourbière non-perturbée.



Figure 23. Ramassage du matériel végétal après le passage du rotoculteur.

Le matériel végétal devrait être récolté à une période permettant de minimiser l'impact de la machinerie sur le site donneur, tel que recommandé dans le [Guide de restauration - Récolte du matériel végétal et gestion des sites donneurs](#). Si le matériel végétal doit être entreposé avant d'être réintroduit dans les bassins de culture, celui-ci peut être stocké en pile à l'extérieur pour une durée maximale de six mois. Au-delà de cette période, le potentiel de régénération du matériel végétal est grandement réduit, particulièrement pour les plantes vasculaires. Le pré-traitement du matériel végétal en pile pour réduire la présence de

plantes vasculaires pourrait être une option, quoiqu'elle doive être davantage explorée. L'utilisation de matériel végétal frais demeure la recommandation pour la mise en place de bassins de culture de sphaignes.

II. Épandage du matériel végétal

Densité d'ensemencement

Il pourrait être tentant de réintroduire plus de fragments de sphaignes en diminuant le ratio de réintroduction pour obtenir un rendement plus élevé et plus rapidement. Cependant, il est important de se rappeler que même dans le contexte de la culture de sphaignes, les mêmes recommandations que pour la restauration des tourbières à sphaignes s'appliquent. Il ne sert à rien d'étendre plus de matériel végétal que le ratio recommandé (entre 1:10 et 1:12). En présence d'une couche épaisse de fragments de sphaignes, celles en surface sécheront, car elles n'auront pas accès à l'eau et celles en dessous dépériront comme elles n'auront pas accès à la lumière.

Saison d'épandage du matériel

Il est recommandé d'épandre le matériel végétal lorsque le système de contrôle des conditions hydrologiques est en marche et en dehors des saisons de sécheresse, soit à la fin du printemps ou au début de l'été. Cela permet d'avoir des conditions favorables à l'établissement des fragments de sphaignes, et d'éviter les conditions météorologiques de pluies extrêmes de l'automne et les inondations à la suite de la fonte des neiges (figures 24 et 25). En établissant un tapis de sphaigne en début de saison de croissance, celui-ci est beaucoup plus résilient face aux intempéries automnales ou du printemps suivant. Il n'est pas recommandé d'épandre le matériel durant l'été, comme les répercussions d'un système d'irrigation défaillant seraient trop importantes.



Figure 24. Inondation du matériel végétal épandu à l'automne à la suite de pluies importantes.



Figure 25. Déplacement du matériel végétal et de la paille à la suite de vents importants.

Machinerie utilisée

L'aménagement en bassins des sites de culture de sphaignes implique que la machinerie employée pour l'épandage du matériel végétal ne puisse pas circuler directement dans les bassins. La machinerie doit pouvoir ensemer les bassins à partir des terre-pleins à la suite de leur aménagement. Cela implique que les canaux et micro-canaux devront être nettoyés après l'épandage du matériel végétal.

Par le passé, un épandeur à fumier latéral a été employé (figure 26). Comme il ne s'agit pas de la même machinerie utilisée lors de la restauration, certains ajustements sont nécessaires. Notamment, la présence de racines dans l'épandeur nuit à son efficacité à épandre uniformément le matériel dans les bassins. Ainsi, le matériel végétal récolté devrait être composé le plus possible de sphaignes uniquement (figure 27). De plus, l'épandeur ne doit pas être rempli à pleine capacité pour éviter de compacter le matériel végétal et de bloquer sa sortie. Grâce à ces ajustements, l'utilisation d'un épandeur à fumier latéral s'est avérée très efficace¹⁷, d'autant plus avec une configuration de bassins avec un canal latéral, où il est possible d'épandre le matériel végétal du côté sans canal pour éviter le nettoyage des canaux à la suite de l'épandage. L'épandage du matériel végétal peut aussi se faire manuellement pour obtenir une distribution plus uniforme, mais cette approche est beaucoup plus longue.



Figure 26. Utilisation d'un épandeur à fumier latéral pour l'épandage des fragments de sphaignes.



Figure 27. Matériel végétal composé principalement de sphaignes dans l'épandeur.

LACUNE DANS LES CONNAISSANCES : UTILISATION DE GÉOTEXTILE

L'épandage du matériel végétal sur un géotextile afin de faciliter la récolte a été envisagé. Toutefois, aucun des produits testés jusqu'à maintenant n'est prometteur. Ceux-ci semblent créer une barrière hydrologique entre le substrat et les sphaignes et sont facilement emportés par le vent ou déplacés par le soulèvement gélival, entraînant avec eux le matériel végétal. Cependant, dans une optique visant à faciliter la récolte, d'autres produits devraient être examinés, comme un grillage flexible et anti oxydable.



Figure 28. Géotextile emporté au vent ayant déplacé le matériel végétal.

¹⁷ Pour plus de détails sur l'utilisation de l'épandeur à fumier latéral, consultez Landry et Rochefort (2010).

LACUNE DANS LES CONNAISSANCES : RENFORCEMENT DU VERRU ENZYMATIQUE

L'ajout de produits riches en composés phénoliques (p. ex., copeaux de bois) dans un site de culture de sphaignes a le potentiel de renforcer le mécanisme de verrou enzymatique¹⁸ (« *enzymic latch* »). Ce mécanisme est responsable du phénomène d'accumulation de la matière organique dans les tourbières et a été suggéré comme outil de géo-ingénierie, puisqu'il pourrait minimiser la décomposition de la matière organique, réduisant les émissions de carbone et pouvant même augmenter l'accumulation de biomasse dans les tourbières. Une première étude¹⁹ conduite en serre a démontré que l'ajout de copeaux de différentes espèces de conifères, mélangés à la tourbe, permettait d'augmenter la séquestration du carbone. Plusieurs autres expériences sont en cours à ce sujet.

III. Épandage de la paille

Dans les sites restaurés, l'ajout de paille est une étape nécessaire qui assure un microclimat plus frais et plus humide à l'interface air-sol, ce qui facilite l'établissement des sphaignes. Malgré un contrôle actif des conditions hydrologiques dans les sites de culture de sphaignes, nos observations semblent indiquer que l'épandage de paille est tout de même essentiel à la suite de la réintroduction des fragments de sphaignes. Cela dit, il est possible que la quantité de paille requise en culture de sphaignes soit moindre que lors de la restauration, mais d'autres recherches seraient nécessaires. La machinerie utilisée pour l'épandage de la paille peut être la même que lors de la restauration, soit une pailleuse à soufflement latéral. L'épandage de la paille peut aussi se faire manuellement, cependant cela requiert plus de temps.

IV. Fertilisation

L'utilisation de fertilisant phosphaté n'est pas requise pour la culture de sphaignes, comme il peut l'être lors de la restauration des tourbières à sphaignes. Dans le contexte de la restauration, un engrais phosphaté favorise la germination des spores de polytrich qui limite le soulèvement gélival. Au contraire, l'ajout d'un fertilisant phosphaté dans un contexte de culture de sphaignes pourrait favoriser la croissance des plantes vasculaires indésirables.

¹⁸ Freeman et coll. (2001)

¹⁹ Alshehri et coll. (2020)

Systemes d'irrigation

Après l'ensemencement, il est important de mettre en marche le système d'irrigation le plus rapidement possible pour éviter l'assèchement du substrat de tourbe et du matériel végétal épandu dans les bassins.

Deux systèmes d'irrigation ont été testés jusqu'à maintenant, fonctionnant principalement à l'énergie solaire dans les deux cas. Dans le premier système, l'alimentation des bassins se fait par gravité, alors que dans le deuxième, elle se fait par pompage direct.

I. Alimentation des bassins par gravité

Ce système d'irrigation est équipé d'un réservoir de style citerne surélevé par rapport aux niveaux d'eau des bassins. Deux méthodes pour remplir le réservoir ont été employées. La première méthode est avec une pompe à gaz de marque Honda qui doit être démarrée par un opérateur. L'autre méthode est avec deux pompes centrifuges à basse pression (Jabsco-xylem modèle 508440024) placées en série. Cette disposition permet d'élever l'eau suffisamment haut pour entrer dans le réservoir. L'automatisation de ces pompes est possible grâce à un flotteur placé dans le réservoir, mais un système électrique doit être mis en place pour leur fonctionnement (voir section [Source d'énergie](#), p. 35).

L'alimentation des bassins se fait par gravité à partir du réservoir en ouvrant simplement une valve associée au bassin à irriguer. Il y a donc une valve par bassin et la gestion des valves peut être automatisée (voir section [Système d'automatisation](#), p. 36).

II. Alimentation des bassins par pompage direct

Ce système d'irrigation est muni du même nombre de pompes qu'il y a de bassins. Deux types de pompes ont été testés pour ce système, soit des pompes centrifuges à basse pression et des pompes submersibles. L'eau de chaque pompe se rend à un des bassins par des tuyaux d'irrigation flexibles de 4" de diamètre. Ainsi, chaque pompe est affectée à un seul bassin et la pompe est activée lorsque le bassin requiert plus d'eau. Le choix du type de tuyau et de son diamètre est choisi pour minimiser les pertes de charges et les coûts.

Il est important de noter que le type de pompes à utiliser peut varier en fonction de plusieurs facteurs spécifiques à chaque site, dont la source d'énergie et la position du point d'eau (dénivelé et distance avec les bassins). Pour ces deux types de pompe, il est fortement conseillé d'installer un quai sur la source d'eau afin de s'y approcher au maximum.

Les pompes centrifuges à basse pression qui ont été utilisées sont des Jabsco-xylem modèle 50844-0024. Elles ont été choisies, car elles demandent peu d'énergie et elles peuvent soulever l'eau de 2 m, ce qui est peu, mais suffisant pour les sites actuels de culture de sphaignes. Ces pompes fonctionnent bien, mais elles ont le désavantage de devoir être amorcées lors de leur installation et, quelques fois, elles se désamorcent avec le temps. Lorsque cela se produit, il faut se déplacer sur le site pour faire le réamorçage. Pour ce modèle de pompe, il faut prévoir un arrêt automatique des pompes car, autrement, les joints d'étanchéité sont rapidement détruits.

La pompe submersible testée est Gol Pump modèle 01301. Cette pompe a seulement été utilisée durant un été, mais a très bien fonctionné. Elle est auto-amorçante, ce qui est un avantage considérable dans un système automatisé. Toutefois, nous ne connaissons pas encore sa durabilité étant donné la courte période d'utilisation faite jusqu'à maintenant.

Plusieurs modèles de ce type sont apparues sur le marché au cours des dernières années mais leurs caractéristiques ne sont pas toujours appropriées pour un usage soutenu et leur durabilité n'est pas connue.

III. Source d'énergie

Pour les deux types de système d'irrigation, l'énergie solaire a été utilisée, à l'exception de la pompe à gaz. Ils sont équipés de deux ou trois panneaux solaires Enerwatt de 250 W chacun (EWS-250-P), deux ou quatre batteries de six volts, branchées en série, selon les besoins en courant des appareils (GR2C 210 AH) et d'un contrôleur de charge Morningstarcorp (TS-MPPT-45) ou EPSolar (EPEver XTRA2210N-XDS2).

Pour le système d'irrigation par gravité, les valves (Belimo B248 2 po) sont les principales consommatrices d'énergie. Celles utilisées requéraient un courant de 110 V. Ainsi, un courant de 12 V (deux batteries de 6 V) est transformé en courant de 110 V grâce à un onduleur BESTEK MRI3011BU. Cet onduleur est aussi un important consommateur d'électricité, ce qui rend le système peu efficace au niveau énergétique. Des valves alimentées en 12 V seraient plus avantageuses.

Les pompes sont aussi d'importantes consommatrices d'énergie. Comme mentionné précédemment, elles sont utilisées dans le système d'irrigation par pompage direct, mais elles peuvent aussi servir pour le remplissage du réservoir pour le système par gravité. Dans tous les cas, les pompes électriques testées fonctionnent avec un courant de 24 V (quatre batteries de 6 V). Comme aucun onduleur n'est utilisé dans le cas d'un système d'irrigation par pompage direct, la consommation d'énergie est plus efficace avec les équipements testés jusqu'à maintenant comparativement au système par gravité.

Des tests ont démontré qu'il est possible d'éliminer les batteries utilisées entre le contrôleur de charge et les pompes sans impact. Toutefois, le pompage se fait uniquement lorsqu'il y a un ensoleillement, période où la sphaigne a besoin d'eau. Un tel système pourrait fonctionner conjointement avec un algorithme de gestion de pompage dynamique avec priorisation. Les pompes doivent être capable de supporter les variations de voltage causées par les variations de l'intensité de l'ensoleillement.

IV. Système d'automatisation

Afin d'avoir un système d'automatisation, il est essentiel d'avoir un moyen de mesurer la hauteur du niveau d'eau dans les canaux réservoirs et d'établir une communication permettant l'activation des pompes ou l'ouverture des valves, selon le système, en cas de besoin d'eau. De même, cette mesure permet d'ouvrir la valve du barrage mobile par l'actuateur linéaire en cas de surplus d'eau (voir la section [Type de barrages](#), p. 26). Des capteurs Sonar (MaxBotix MB 7389) permettent de mesurer la hauteur du niveau d'eau dans les canaux. Comme la vitesse du son varie en fonction de la température, un capteur de température MaxBotix (HR-MAXTEMP) permet une plus grande précision des mesures. La communication entre le sonar et l'ordinateur se fait grâce à un module Xbee ou Xbee Pro. Ces derniers pourraient être remplacés par la nouvelle technologie de communication sans fils LORA qui a une portée de 5 à 10 km versus 250 m pour Xbee. Il est important de noter, que le système MTEM est plus performant de nos jours²⁰. Aussi, un capteur LiDAR serait plus adapté que le sonar pour la culture de sphaignes, car il est beaucoup moins dispendieux et ne requiert pas de prise de température²¹.

Un microcontrôleur de type Arduino est utilisé dans les modules de mesure des niveaux d'eau et de contrôle des niveaux d'eau dans les fossés. Il permet la gestion de l'énergie, détermine les moments de prise de mesure des hauteurs d'eau grâce à une horloge intégrée et enregistre les données. Un nano-ordinateur de type BeagleBone Black a été utilisé pour le système 24 V et un acquiiseur de données CR1000 de Campbell SCI pour le système 110 V avec onduleur. Ils étaient installés au centre de contrôle du système. Un programme a été élaboré et installé dans ces ordinateurs permettant la gestion des niveaux d'eau dans les bassins. Celui-ci reçoit les informations des microcontrôleurs, il analyse les données et donne les consignes aux pompes ou aux valves selon le système ou aux actuateurs linéaires des barrages mobiles en fonction des besoins. Un modem/routeur peut-être installé afin d'utiliser un réseau Wi-Fi ou cellulaire pour la communication à distance si nécessaire. Les nano-ordinateurs sont beaucoup plus économiques, flexibles et performants que les acquiiseurs de données.

²⁰ Goulet (2019)

²¹ Laberge-Grégoire et coll. (2022)

5. MAINTENANCE ET SUIVI

Des visites fréquentes au site de culture sont essentielles lors de la saison de croissance (entre mai et octobre) afin de s'assurer du bon fonctionnement des installations, particulièrement du système d'irrigation. En phase d'établissement, un stress hydrique causé par une inondation ou un manque d'eau peut être léthal pour les sphaignes et ruiner les travaux de mise en place. Il est nécessaire que lors des deux premières années que les bassins de culture soient visités au minimum toutes les semaines ou en prévision de conditions météorologiques extrêmes. En phase de croissance, les visites peuvent s'espacer selon le contexte. La création d'un système d'alerte connecté au système d'irrigation envoyant des notifications au gestionnaire du site permettrait d'en faciliter le suivi.

Lors des visites de site pour la maintenance et le suivi, afin d'éviter de perturber le tapis de sphaignes, il est recommandé de circuler avec des raquettes ou d'installer des trottoirs de bois pour les structures qui sont visitées fréquemment (p. ex., puits d'observation).

Entretien et hivernage du système d'irrigation, des barrages et des infrastructures

Un site de culture de sphaignes requiert généralement peu d'entretien annuel. L'entretien des canaux réservoirs se fait rarement comme ceux-ci sont habituellement stables sur une longue période. Il est toutefois possible que l'espèce *Sphagnum cuspidatum* colonise les canaux et bouche la sortie d'eau au niveau du barrage. Le nettoyage occasionnel des canaux pour retirer cette sphaigne peut éviter des complications. En ce qui concerne les drains souterrains, il est possible de vérifier s'ils sont bouchés avec une longue tige selon leur longueur. Quant aux mini-canaux, il est difficile de se prononcer sur leur entretien, car leur utilisation est très récente. Ceux-ci pourraient se combler avec de la sphaigne au cours d'un cycle de production. Nous soupçonnons qu'ils devront être nettoyés lors de l'initiation du cycle suivant.

Chaque année, à la fin de la saison de croissance et avant les premiers gels (vers la fin octobre), les sites de culture de sphaignes doivent être hivernés. Pour ce faire, tous les appareils électroniques (p. ex., sonar, capteur de niveau d'eau, système de communication) et les batteries doivent être retirés et entreposés. Les pompes doivent être retirées de la source d'eau si nécessaire, vidées de leur eau, puis remplies avec de l'antigel ou placées dans un endroit chauffé. Si l'eau d'irrigation est stockée dans une citerne, celle-ci doit être vidée. Ensuite, il faut s'assurer que le système de tuyauterie contienne peu d'eau, ou qu'il soit suffisamment vide pour permettre l'expansion de l'eau avec le gel. Les jonctions des tuyaux sont également défaites afin d'éviter les bris d'ajustement avec l'expansion de l'eau avec le gel. Finalement, le niveau d'eau des barrages est remonté à l'automne pour minimiser le risque de soulèvement gélival, particulièrement lors de la phase d'établissement des sphaignes, soit les deux premières années. Tout autre équipement peut être laissé sur place, il faut toutefois s'assurer de ne rien laisser de valeur, surtout si les bassins de culture ne sont pas sur un site privé.

Finalement, il est fort probable qu'un entretien sporadique au cours de la saison estivale soit requis lors de bris du système. Il peut s'agir de pompes qui se désamorcent ou de fusibles à changer. Il est aussi recommandé de faire un entretien régulier sur certaines pièces du système. Par exemple, les joints des pompes doivent être changés environ aux 5 ans pour maintenir leur capacité.

ÉTAPES D'OUVERTURE À CHAQUE ANNÉE

L'ouverture du site doit se faire au printemps, en mai ou au début juin. Voici les tâches à effectuer pour remettre le système en marche pour la saison estivale :

- Installation des panneaux solaires
- Branchements des batteries et du contrôleur de charge
- Installation du quai ou ilot flottant si nécessaire
- Installation et amorçage des pompes
- Vérification du système d'irrigation
- Installation des barrages mobiles
- Installation du système d'automatisation

Suivi hydrologique

1. Niveau de l'eau

Un suivi du niveau de l'eau doit être réalisé à trois endroits, soit à la source d'approvisionnement, aux barrages et dans les bassins. Le suivi à la source d'approvisionnement permet de vérifier la quantité d'eau disponible, et celui-ci peut s'effectuer avec un bâton gradué ancré dans le minéral. L'évaluation du niveau de l'eau au barrage informe par rapport à l'état hydrique des bassins, et peut se faire avec un sonar ou avec une règle. Le niveau d'eau dans les bassins se mesure avec des puits d'observation, qui sont fabriqués avec des tuyaux en PVC crépinés. Le niveau dans les puits peut être suivi manuellement avec un bulleur (figure 29) aux deux semaines durant l'été, ou avec des capteurs de niveau d'eau automatiques. Il est recommandé d'installer au minimum trois puits par bassins, et si des capteurs sont utilisés, au minimum deux capteurs par bassin pour s'assurer d'avoir suffisamment de données si un des capteurs faillit. Le choix des instruments de mesure, qu'ils soient manuels ou automatiques et de la fréquence de mesure, dépend des objectifs du suivi et des ressources disponibles. La localisation des puits à l'intérieur des bassins dépend de leur taille et leur configuration.



Figure 29. Utilisation d'un bulleur pour évaluer le niveau de l'eau dans un puits d'observation hydrologique. Le bulleur est composé de deux parties, un tuyau en PCV gradué et un tube flexible. En soufflant dans le bulleur, le niveau de l'eau est constaté et mesuré sur le tuyau gradué.

II. Qualité physico-chimique de l'eau

Afin de s'assurer que la qualité de l'eau d'irrigation est maintenue, un échantillonnage pour la chimie de l'eau peut être effectué une fois par été. Celui-ci peut être prélevé directement à la source d'approvisionnement en eau. Les éléments suivants devraient être ciblés pour l'analyse chimique : N/NO_3^- , N/NH_4^+ , P, K, Mg, Ca, ainsi que le pH, la conductivité électrique et l'alcalinité. Ces trois derniers paramètres peuvent être mesurés simplement au point d'approvisionnement en eau avec un pH-mètre/conductimètre portatif. La concentration de ces éléments chimiques ne devrait pas dépasser les valeurs moyennes retrouvées pour les fens²².

Suivi de la végétation

Différentes variables peuvent être mesurées afin d'effectuer un suivi de l'établissement et de la productivité de la végétation suivant l'initiation d'un cycle de production. Le choix du paramètre et de la fréquence de mesure dépend des objectifs de suivi, du contexte et la durée d'un cycle de production. Par exemple, si l'objectif est de produire des fibres de sphaignes d'une seule espèce, l'évaluation de la composition en espèces est pertinente afin de déterminer la pureté du matériel. Peu importe le paramètre choisi, les mesures doivent être répétées un certain nombre de fois selon l'hétérogénéité des bassins de culture, afin de s'assurer que celles-ci soient bien représentatives de la réalité. Cinq répétitions par unité homogène sont recommandées. Il est conseillé d'attendre deux à trois ans avant d'effectuer un suivi de la végétation, car en phase d'établissement, des mesures de végétation seraient trop perturbatrices.

L'évaluation du couvert par estimation du pourcentage de recouvrement de chaque espèce ou groupe d'espèce par projection verticale est une méthode relativement simple pour mesurer l'établissement du tapis de sphaignes et pour déterminer sa composition en espèces. Cependant, cette méthode requiert de bonnes connaissances taxonomiques si elle est appliquée au niveau des espèces et ne fournit aucune information sur le rendement du tapis de sphaignes. L'évaluation devrait s'effectuer dans des quadrats de taille appropriée par rapport à la taille de la strate évaluée (p. ex., des quadrats de 25 cm x 25 cm pour les sphaignes). L'évaluation de la biomasse accumulée quant à elle permet de connaître le rendement du tapis de sphaignes. Toutefois, il s'agit d'une méthode destructive qui requiert plus de temps comme les échantillons récoltés doivent être séchés et pesés. L'épaisseur du tapis de sphaigne est une variable intéressante, car il ne s'agit pas d'une mesure destructive. L'épaisseur du tapis de sphaignes peut être mise en relation avec la biomasse accumulée selon sa densité, qui dépend, entre autres, des espèces présentes. L'évaluation de la végétation demeure le meilleur indicateur pour déterminer si les conditions de croissance sont optimales pour les sphaignes.

Contrôle des espèces indésirables

I. Plantes vasculaires

La présence de plantes vasculaires est **inévitabile** dans les bassins de culture de sphaignes. Celles-ci les colonisent à partir des milieux environnants ou peuvent être présentes directement dans le matériel végétal réintroduit. Ces végétaux peuvent agir comme plantes

²² Andersen et coll. (2011)

compagnes pour les sphaignes, favoriser leur établissement et leur croissance en améliorant les conditions microclimatiques. Cependant, dans un contexte de culture de sphaignes où les conditions hydrologiques sont normalement optimales, la présence de plantes vasculaires n'est pas nécessaire et pourrait même réduire les rendements. De plus, selon l'utilisation finale des fibres de sphaignes, leur présence n'est pas souhaitable, et peut nécessiter une étape de traitement supplémentaire (voir section [Conditionnement](#), p. 46).

Les plantes vasculaires les plus fréquemment observées dans les sites de culture de sphaignes sont des éricacées et des plantes graminoides, normalement retrouvées en tourbières. Selon la localisation du site de culture, il est possible d'y retrouver également des plantules de bouleaux ou d'autres arbustes qui se propagent de façon aérienne. Généralement, le couvert des plantes vasculaires dépasse rarement 30 % et diminue avec la croissance du tapis de sphaignes. Le maintien d'un niveau d'eau élevé limite aussi l'envahissement des plantes non typiques des milieux humides (à peu près inexistantes) et la croissance des arbres et arbustes. Afin d'éviter la colonisation par des espèces envahissantes (p. ex., roseau commun), il convient d'éviter de situer un site de culture à proximité de colonies existantes.

Une expérience conduite²³ dans une station de culture de sphaignes colonisée par la linaigrette à feuilles étroites (*Eriophorum angustifolium*) a mené à une réduction de couvert de 30 % à 10 % à la suite de trois années consécutives de tonte à l'aide d'une coupe bordure trois fois durant l'été (figures 30 et 31). De plus, les éricacées établies dans la bordure du terre-plein ont également été coupées pour limiter leur effet d'ombrage. Toutefois, dans ce contexte, la coupe des plantes vasculaires n'avait pas d'effet sur la production de biomasse de sphaignes, donc d'un point de vue de maximisation du rendement de sphaignes, le contrôle de taille et de densité des touradons de linaigrette et des buissons d'éricacée s'est avéré inutile.



Figure 30. Site de culture de sphaignes expérimental, où les plantes vasculaires ont été contrôlées d'un côté (à droite) et non de l'autre (à gauche).



Figure 31. Utilisation d'un coupe bordure pour réduire la densité de linaigrette.

Cependant, cette recommandation n'est pas applicable pour tous les sites de culture de sphaignes. La décision de contrôler la densité de plantes vasculaires sera spécifique à chaque station de culture de sphaigne, selon l'espèce dominante vasculaire, sa forme de croissance, son potentiel d'accumulation de litière et d'envahissement. La finalité d'utilisation des fibres de sphaignes doit aussi être prise en considération.

²³ Guéné-Nanchen et coll. (2017)

ENVAHISSEMENT PAR LE JONC ÉPARS DANS LES STATIONS DE CULTURE DE SPHAIGNES EN ALLEMAGNE

En Allemagne, l'invasion par des plantes envahissantes est un problème courant et plusieurs moyens de contrôle ont été testés. Ces proliférations seraient favorisées par les sources d'eau, qui sont enrichies en nutriments en raison de leur localisation dans des zones agricoles et par d'importants dépôts atmosphériques en Europe, ce qui « fertilise » le substrat tourbeux. Une des plantes problématiques est le jonc épars (*Juncus effusus*). Malgré le fait que cette plante soit coupée régulièrement, celle-ci recouvre entre 20 et 30 % de la surface des bassins de culture de sphaignes. Différents équipements ont été utilisés pour contrôler cette plante vasculaire, employés directement dans les bassins ou à partir du bord des bassins.



Figure 32. Utilisation d'une faucheuse à un seul essieu avec barre de coupe pour contrôler le jonc épars.



Figure 33. Utilisation d'une excavatrice à long bras équipée d'une faucardeuse, opérant depuis le terre-plein.

II. Champignons

Des espèces parasites ou pathogènes de champignons (figure 34) ont été observées dans les sites de culture de sphaignes bien que celles-ci demeurent très peu abondantes. Notamment, des champignons auront tendance à croître dans les zones qui sont inondées et où le niveau d'eau fluctue grandement, entraînant la nécrose du tapis de sphaignes (figure 35). Il est donc important de porter une attention particulière à l'ajustement du niveau de l'eau au fur à mesure que le tapis de sphaignes pousse. Cela rend l'initiation de plusieurs cycles de production au sein d'un même bassin complexe, puisqu'à un même niveau d'eau, un tapis peu développé peut se retrouver inondé par rapport à un tapis plus épais. Considérant que la présence de champignons dans les bassins de culture demeure marginale, l'emploi de fongicide ne s'avère pas essentiel. Cependant, au besoin, le fongicide myclobutanil (Nova 40W; classe 3) a déjà démontré être efficace pour éliminer ces espèces de champignons en serres²⁴ et sur le terrain. La dose recommandée est de 3 L/10 m² à une concentration de 0,54 g/L. Trois applications espacées de 10 jours ont réduit l'infection du tapis de moitié. Ces applications n'ont pas d'effet sur l'accumulation de biomasse de sphaignes.



Figure 34. Champignon (*Galerina sp.*) poussant dans un tapis de sphaignes en serres.



Figure 35. Tapis de sphaignes affecté par des champignons.

²⁴ Landry et coll. (2011)

6. RÉCOLTE, ENTREPOSAGE ET CONDITIONNEMENT

Récolte

Au Canada, les experts estiment que la récolte de la sphaigne pourrait s'effectuer après 7 à 10 ans de croissance. En fait, le choix du moment de récolte doit surtout tenir compte du rendement de sphaignes et ainsi considérer le taux de décomposition de la sphaigne qui augmentera d'année en année. Lorsque ce taux de décomposition s'approche de la production en biomasse, il est temps de récolter. Le but est d'optimiser le retour sur l'investissement ; étant donné les coûts de la mise en place d'un cycle de production, il serait non-productif de récolter la biomasse trop tôt ou trop tard. Pour l'instant, la productivité dans les sites canadiens varie entre 0,3 et 2 tonnes à l'hectare par année²⁵. En Allemagne, cette productivité varie plutôt entre 3 et 6 tonnes à l'hectare par année²⁶. Cet écart pourrait s'expliquer principalement par les différences climatiques entre les deux pays, le Canada ayant une bonne période de couverture de neige où aucune croissance des mousses n'est possible.

À ce jour, seuls quelques travaux préliminaires ont été réalisés au Canada pour tester des rendements de récolte des fibres de sphaignes dans le contexte de culture. En fait, à notre connaissance, aucune récolte dans une optique commerciale dans les bassins n'a encore été effectuée, ainsi il reste beaucoup de recherche et développement à faire à ce propos pour aider à mieux évaluer le potentiel économique. Les travaux de recherche en culture de sphaignes en Allemagne ont permis de développer une méthode de récolte fonctionnelle, qui pourrait très bien être utilisée au Canada. L'encadré (p. 44) ci-dessous présente les techniques appliquées lors de leurs expérimentations.

²⁵ Pouliot et coll. (2015)

²⁶ Gaudig et coll. (2014)

MÉTHODE DE LA FAUCARDEUSE

En Allemagne, une excavatrice à très long bras qui peut atteindre le centre des bassins est employée pour la récolte des fibres de sphaignes produites. L'excavatrice est équipée d'une faucardeuse au bout de son bras pour effectuer la coupe des fibres. L'excavatrice et les tracteurs-remorques peuvent circuler sur des terre-pleins qui séparent les bassins.



Figure 36. Vue aérienne de la récolte de sphaigne dans un site de culture en Allemagne.



Figure 37. Utilisation d'une excavatrice avec une faucardeuse au bout de son bras pour couper la sphaigne.



Figure 38. Évacuation de la fibre de sphaigne.



Figure 39. Transport de la fibre de sphaigne.

Un autre type de tête d'excavatrice, conçue par Scotts Canada pour l'extraction de la tourbe en coupe par bloc, pourrait aussi servir pour la récolte de sphaigne. Cette tête est composée de 12 compartiments qui sont enfoncés dans la sphaigne (figure 40). À la profondeur souhaitée, une lame dentée ferme les compartiments, ce qui tranche les fibres de sphaigne. L'excavatrice peut ensuite décharger le contenu à l'endroit désiré. Avec cet appareil, la sphaigne est récoltée en bloc.

L'utilisation d'une excavatrice est un excellent moyen pour récolter la sphaigne, toutefois, avec ce type de machinerie, il n'est pas possible d'entrer dans les bassins sans endommager le tapis de sphaignes. Cela nécessite de conserver des terre-pleins suffisamment grands, ce qui diminue la superficie totale disponible pour la culture de sphaignes. Aussi, une excavatrice n'est pas un appareil qui travaille en continu, étant donné qu'il y a alternance entre la récolte et l'évacuation, ce qui n'est pas optimal au niveau du rendement.

D'autres types de machines ont également été employées pour récolter de la sphaigne dans d'autres contextes (porteur forestier sur chenilles avec un godet à grappin, buteur (*bulldozer*), excavatrice avec un large godet). Cependant, aucune de ces machines n'est adaptée pour opérer dans des bassins humides et non gelés, sans abîmer le tapis de sphaignes. Les prochains travaux de recherche et développement en matière de récolte de sphaigne devraient s'orienter vers une amélioration de l'efficacité de la récolte.



Figure 40. Appareil utilisé au Canada pour récolter la tourbe en coupe par bloc. Des tests ont démontré que cet équipement pourrait aussi servir à récolter la sphaigne.

Une liste non exhaustive des méthodes de récolte et d'évacuation de la fibre de sphaigne a été élaborée par VALORÉS en 2022²⁷. La récolte peut se faire manuellement, par de la machinerie opérant à l'extérieur des bassins, par un système de pont-roulant, par de la machinerie opérant à l'intérieur des bassins, en hiver sur des surfaces gelées ou par robotisation. L'évacuation de la biomasse peut se faire par hélicoptère, par système de treuil, avec des tracteurs-remorques, grâce à des ballons à l'hydrogène ou par la même machinerie qui récolte et qui est conçue pour emmagasiner la biomasse récoltée. Ces méthodes doivent être testées et évaluées.

Il a été déterminé que la régénération des fragments résiduels dépend de l'âge du cycle de production, de la profondeur de la coupe, de la technique de récolte, de l'espèce de sphaigne et des conditions du site après la récolte, soit principalement les conditions hydrologiques.

²⁷ VALORÉS (2022b)

Entreposage

Après la récolte de sphaignes, il est possible que la biomasse doive être entreposée pour un certain temps avant d'être utilisée ou transformée. Le stockage en pile à l'extérieur est une option. Toutefois, si la fibre doit servir pour la restauration de tourbière, un entreposage d'une durée maximale de 6 mois est recommandé, car après ce temps, la capacité de régénération de la sphaigne diminue graduellement. Également, puisque le matériel est chargé d'eau, des piles de biomasse pourraient chauffer comme le fait le compost ; il faut donc surveiller cet aspect afin de ne pas perdre la qualité de ce produit de valeur.

Conditionnement

L'étape du conditionnement dépend en grande partie de l'utilisation finale souhaitée de la fibre de sphaigne. Par exemple, un minimum de transformation sera fait sur la sphaigne servant à la restauration des tourbières comparativement à un emploi dans les substrats de croissance. Les différents traitements possibles sont le séchage, l'hygiénisation, le broyage, le tamisage et l'emballage. Ceux-ci doivent être choisis en fonction des besoins.

Le séchage peut se faire de plusieurs façons et à différents moments du processus de conditionnement. D'abord, une certaine proportion de l'eau contenue dans la sphaigne peut être retirée directement sur le site de culture. Cela peut se faire en laissant les fibres en piles quelques jours pour permettre l'écoulement du surplus d'eau ou en pressant les fibres. La chaleur peut aussi être utilisée pour le séchage de la sphaigne. Différents types d'équipement peuvent servir à faire sécher la sphaigne grâce à la chaleur, comme des étuves, des lampes chauffantes, des séchoirs à convoyeur ou dans des serres. La ventilation, seule ou combinée avec la chaleur, est aussi un moyen efficace pour sécher la fibre de sphaigne. Peu importe le moyen de séchage utilisé comme la sphaigne devient friable, électrostatique et hydrophobe sous un taux d'humidité de 20 %, il faut faire attention de ne pas descendre sous ce seuil. L'hygiénisation correspond à l'action de tuer les graines et les parties de plantes vasculaires qui se retrouvent dans la sphaigne récoltée. Les traitements à la vapeur d'eau ou à la radiation gamma peuvent être utilisés.

À propos du broyage et du tamisage des fibres de sphaignes, il y a trop peu de données scientifiques à ce jour pour en déterminer les meilleures pratiques. Cependant, quelques expérimentations²⁸ de croissance en serre avec des substrats composés de tailles variables de fibres de sphaigne n'ont pas montré de différence dans les rendements en fonction de ce facteur. Beaucoup de travail de recherche et développement doit aussi être fait concernant les meilleures pratiques d'emballage de la sphaigne. Aucune expérience connue n'a été réalisée à ce jour sur cette question au Canada.

²⁸ Gaudig et coll. (2018)

7. RESSOURCES NÉCESSAIRES (HUMAINES, MATÉRIELLES ET FINANCIÈRES)

Lors de la planification d'un projet de culture de sphaignes, il est important d'établir une liste des ressources qui seront nécessaires à chacune des étapes et d'en estimer leur coût. Le coût total pour une culture de sphaignes a été estimé (tableau 3) en considérant le temps de main-d'œuvre et d'utilisation de la machinerie, et les achats d'équipements, le tout présenté en dollars par hectare (\$/ha).

Le tableau 3 présente les coûts associés à la culture de sphaigne. Ces montants ont principalement été déterminés à partir des trois expériences réalisées jusqu'à maintenant au Canada et en fonction d'un contexte de mise en place dans des tranchées de coupe par bloc. Compte tenu que la culture de sphaignes est très récente, les montants présentés sont approximatifs et plusieurs de ceux-ci peuvent être très variables. Il reste donc beaucoup de travail à faire afin de faciliter les travaux, réaliser des économies d'échelle et diminuer les coûts de production. Ces montants sont sujets à diminuer au cours des prochaines années et furs et à mesure des avancées dans le domaine. Une étude récente²⁹ ayant établi différents scénarios financiers a permis de conclure que la culture de sphaignes au Canada peut être rentable, en diversifiant les marchés (substrats horticoles, substrats pour la propagation et la croissance d'orchidées, restauration de tourbières, etc.).

²⁹ VALORÉS (2021)

Tableau 3. Temps (h/ha) et coûts estimés (\$/ha) pour la mise en place d'un site de culture de sphaignes incluant une récolte après huit ans. Le coût total estimé n'inclut pas l'initiation des cycles subséquents de production.

Étapes de mise en place	Temps main-d'œuvre (h/ha)	Temps machineries (h/ha)	Achats matériels et équipements (\$/ha)	Coûts totaux ^a (\$/ha)	Références
Préparation du site					
Construction du chemin d'accès					
- Bouteur (<i>bulldozer</i>) (80 \$/h)	Variable	Variable	-	Variable	
- Camion-benne (80 \$/h)					
- Excavatrice (80 \$/h)					
Installation des ponceaux					
- Excavatrice (80\$/h)	Variable	Variable	Variable	Variable	
Creusage et nivellement des bassins					
- Excavatrice (80 \$/h)	700	250	-	36 500	Expérience des experts
- Niveau laser (8 \$/h)					
Installation des barrages					
- Excavatrice (80 \$/h)	35	15	500	2 200	Expérience des experts
Creusage des canaux et micro-canaux					
- Excavatrice (80 \$/h)	135	70	-	5 000	Expérience des experts
- Mini-excavatrice (250 \$/jr)					
Installation du système d'irrigation^b					
- Chargeurs (80 \$/h)	175	5	30 000	37 000	Expérience des experts
Sous-total	1 045	340	30 500	80 700	

Étapes de mise en place	Temps main-d'œuvre (h/ha)	Temps machineries (h/ha)	Achats matériels et équipements (\$/ha)	Coûts totaux ^a (\$/ha)	Références
Réintroduction du matériel végétal					
Récolte et transport du matériel végétal	15	15	-	500	Quinty (2012)
- Rotoculteur (16 \$/h)					
- Remorque (13 \$/h)					
Épandage du matériel végétal					
- Épandeur à fumier (28 \$/h)	250	10	-	5 500	Quinty (2012); Expérience des experts
Épandage de la paille					
- Épandeur à paille (32 \$/h)	250	10	700	6 250	Quinty (2012); Expérience des experts
Sous-total	515	35	700	12 250	
Maintenance et suivi annuels^c					
Suivi de la croissance du tapis de sphaignes	480	-	-	10 000	Expérience des experts
Suivi de la qualité de l'eau	10	-	2 700	3 100	Expérience des experts
Gestion de l'irrigation et suivi du niveau de l'eau	400	-	5 000	8 400	Expérience des experts
Installation et désinstallation saisonnières	400	-	800	9 200	Expérience des experts
Sous-total	1 290	-	8 500	30 700	

Étapes de mise en place	Temps main-d'œuvre (h/ha)	Temps machineries (h/ha)	Achats matériels et équipements (\$/ha)	Coûts totaux ^a (\$/ha)	Références
Récolte Coupe de la fibre de sphaigne - Excavatrice long bras (80 \$/h) ^d	50	50	-	5 000	Expérience des experts
Évacuation de la biomasse - Chargeuse (80 \$/h) - Tracteur-remorque (80 \$/h)	Variable	Variable	-	Variable	
Conditionnement	Variable	Variable	Variable	Variable	
Sous-total	50	50	-	5 000	
Initiation des cycles subséquents de production Réintroduction du matériel végétal	Indéterminé	Indéterminé	-	Indéterminé	

^a Le taux horaire retenu pour les opérateurs de machineries et les techniciens est de 20,89 \$. Ce taux est la moyenne entre les taux horaires du Québec et du Nouveau-Brunswick d'un opérateur de machinerie lourde selon Statistique Canada en 2018.

^b Le temps et les coûts estimés comprennent l'installation d'un système de pompe automatique et la livraison d'un conteneur sur le site. Le taux horaire de la main-d'œuvre utilisé pour cette activité est la moyenne entre les taux horaires du Québec et du Nouveau-Brunswick d'un professionnel des sciences naturelles et appliquées selon Statistique Canada en 2018, soit 37,19 \$/h.

^c Pour un suivi annuel sur huit ans.

^d L'achat d'une faucardeuse doit être considéré.

Préparation du site et réintroduction du matériel végétal

L'aménagement des bassins, le déploiement du système d'irrigation et la réintroduction du matériel végétal sont définitivement les étapes qui demandent la plus grande quantité de ressources lors de l'établissement d'un site de culture de sphaignes. Dépendamment du site choisi, il faudra potentiellement aménager un chemin d'accès et installer des ponceaux. Étant donné que l'ampleur de ces activités peut varier énormément en fonction du type de site, les coûts associés à celles-ci ne sont pas considérés dans le calcul, quoiqu'elles doivent être prises en compte lors de la planification d'un nouveau projet.

Durant la phase de préparation, il faut creuser et niveler les bassins, creuser les canaux, installer les barrages et déployer le système d'irrigation. Les chiffres présentés dans le tableau 3 ont été déterminés en considérant que les excavatrices et les chargeurs sont déjà en possession de l'entrepreneur, alors que le niveau laser et la mini-excavatrice sont loués. La finition du nivellement se fait manuellement.

En ce qui concerne l'étape de réintroduction du matériel végétal, il faut récolter le matériel végétal, épandre la sphaigne et ensuite la paille. Dans le scénario proposé aux fins des calculs, chacune des étapes est mécanisée, mais la finition pour l'épandage des fibres de sphaignes et de la paille se fait manuellement.

Maintenance et suivi

Les aspects à considérer dans cette étape sont le bon fonctionnement du système de gestion des niveaux d'eau (irrigation, drainage et automatisation), l'évaluation de la croissance du tapis de sphaignes, du niveau et de la qualité de l'eau, ainsi que l'hivernage et l'installation saisonnière de l'équipement. Le scénario d'évaluation du rendement du tapis de sphaignes a été fait considérant la récolte, le tri, le séchage et le pesage de la biomasse de sphaignes dans 50 quadrats de 25 cm x 25 cm par hectare annuellement. La mesure du niveau de l'eau est estimée d'après l'emploi d'une dizaine de capteurs de niveau d'eau par hectare, alors que l'évaluation de la qualité de l'eau se fait à partir de trois échantillons par hectare annuellement.

Récolte

Deux activités doivent être considérées lors de la récolte de la sphaigne, soit la coupe de la sphaigne et l'évacuation de la biomasse. Dans le scénario proposé, une excavatrice munie d'une faucardeuse coupe la sphaigne, alors qu'une chargeuse et des tracteurs-remorques évacuent la biomasse. Toutefois, le montant estimé pour la récolte inclut seulement l'étape de la coupe de la fibre de sphaigne. Les coûts associés à l'évacuation sont très variables et doivent être évalués au cas par cas.

Cycles de production subséquents

Les recherches menées jusqu'à maintenant ne permettent pas de déterminer les coûts liés à l'initiation des cycles de production subséquents, car aucune récolte de sphaignes n'a encore été réalisée à grande échelle à ce jour au Canada. Il faut toutefois noter que les coûts seront assurément moindres que pour la mise en place initiale du site, étant donné que plusieurs étapes ne doivent pas être réalisées de nouveau, les installations de base étant déjà présentes. De plus, les coûts pour les cycles subséquents dépendent de la stratégie de régénération des sphaignes. Une partie du matériel végétal peut être laissé sur place lors de la récolte, assurant ainsi la reprise des sphaignes, ou du matériel végétal peut être réintroduit à nouveau. Comme aucune de ces stratégies n'a été expérimentée jusqu'à maintenant, l'évaluation des coûts est complexe.

8. CONCLUSION

La culture de sphaignes, tout comme les autres formes de paludiculture, propose plusieurs avantages environnementaux, économiques et sociaux. Notamment, la production de fibres de sphaignes pourrait remplacer en partie la tourbe provenant des tourbières non perturbées comme intrant dans la fabrication des substrats de croissance. La culture de sphaignes permet ainsi la conservation de tourbières et la réduction des émissions de carbone.

L'élément central clé à une culture de sphaignes productive est le contrôle des conditions hydrologiques pour obtenir un niveau d'eau élevé sous la surface des sphaignes et stable tout au cours de la saison de croissance. Cela requiert un contrôle actif et automatisé de l'irrigation. Même si le contrôle hydrologique n'est pas encore totalement au point, les travaux de recherche démontrent tout de même que l'on progresse dans la bonne direction. L'approche d'irrigation utilisant les micro-canaux montre un potentiel particulièrement intéressant parce qu'elle permet de tirer avantage des propriétés de la tourbe en surface. Toutefois, il y a encore de l'optimisation à faire au niveau du contrôle du système d'irrigation, afin d'améliorer sa réactivité face aux prévisions météorologiques.

Les différentes étapes de mise en place d'un site de culture de place ont été résumées dans ce document. La planification est une étape importante puisqu'il faut s'assurer que tous les éléments requis sont disponibles et adéquats à la culture (source d'énergie et d'eau, substrat de tourbe et matériel végétal de qualité). Ensuite, lors de la préparation du site, peu importe la structure d'irrigation choisie, il demeure primordial que les opérations de machineries s'effectuent de l'extérieur des bassins. L'étape de réintroduction du matériel végétal s'apparente à celle appliquée lors de la restauration des tourbières à sphaignes, quoiqu'il existe certaines subtilités d'après le contexte et des objectifs de culture. Puis, une fois la végétation et la paille épanchées, il convient d'effectuer un suivi de la croissance du tapis. Une fois le tapis suffisamment épais, celui-ci pourra être récolté et un cycle suivant de production mis en place. Différentes méthodes de conditionnement des fibres de sphaignes produites sont envisageables selon leur utilisation prévue.

Dans un cycle de production, la grande majorité des coûts sont dédiés à la mise en place du site de culture à l'année 1. Toutefois, les cycles de production suivants seront moins coûteux que les premiers dû aux installations déjà en place. La culture de sphaignes peut être rentable en diversifiant les marchés potentiels.

Plusieurs défis demeurent pour la culture de sphaignes au Canada. Le développement des méthodes de récolte et d'initiation des cycles subséquents est un des défis principaux. De plus, il convient de se pencher sur l'optimisation des opérations dans ces conditions parfois difficiles pour réduire les coûts de production. Puis, des modifications du cadre politique et juridique seront requises afin de reconnaître cette activité dans le cadre approprié. La culture de sphaignes offre clairement la possibilité de contribuer à la résolution de problèmes environnementaux et sociétaux. C'est une utilisation des terres qui constitue une solution axée sur la nature pour atténuer les changements climatiques. Il s'agit de saisir cette opportunité en unissant les secteurs industriels, politiques, et de la recherche pour développer à plus large-échelle la culture de sphaignes.

9. REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier Cédric Morin de l'IRDA, François Quinty de WSP, Guillaume Goulet de Premier Tech Producteurs et Consommateurs, ainsi que Kathy Pouliot, Sebastián Gutierrez-Pacheco et Robert Lagacé de l'Université Laval pour le temps accordé lors de consultations. Nous remercions également Laurence Pelletier de VALORÉS pour l'aide à la rédaction de certaines sections.

10. RÉFÉRENCES³⁰

Articles scientifiques

- Alshehri, A., C. Dunn, C. Freeman, S. Hugron, T. G. Jones et L. Rochefort. 2020. A potential approach for enhancing carbon sequestration during peatland restoration using low-cost, phenolic-rich biomass supplements. *Frontiers in Environmental Science* 8 (48) : 1-8.
- Andersen, R., L. Rochefort et J. Landry. 2011. La chimie des tourbières du Québec : une synthèse de 30 années de données. *Le naturaliste canadien* 135 (1) : 5-14.
- Aubé, M., M. Quenum et L. L. Ranasinghe. 2015. Characteristics of Eastern Canadian cultivated Sphagnum and potential use as a substitute for perlite and vermiculite in peat-based horticultural substrate. *Mires and Peat* 126 (03) : 1-18.
- Beyer, C. et H. Höper. 2015. Greenhouse gas exchange of rewetted bog peat extraction sites and a Sphagnum cultivation site in northwest Germany. *Biogeosciences* 12 (7) : 2101-2117.
- Brown, C. M., M. Strack et J. S. Price. 2017. The effects of water management on the CO₂ uptake of Sphagnum moss in a reclaimed peatland. *Mires and Peat* 20 (05) : 1-15.
- Campeau, S., L. Rochefort et J. S. Price. 2004. On the use of shallow basins to restore cutover peatlands: plant establishment. *Restoration Ecology* 12 (4) : 471-482.
- Emmel, M. 2008. Growing ornamental plants in Sphagnum biomass. *ISHS Acta Horticulture Proceedings of the International Symposium on Growing Media 779_20* : 173-178.
- Faubert, P. et L. Rochefort. 2002. Response of peatland mosses to burial by wind-dispersed peat. *The Bryologist* 105 (1) : 96-103.
- Freeman, C., N. Ostle et H. Kang. 2001. An enzymic 'latch' on a global carbon store. *Nature* 409 (6817) : 149-149.
- Freeman, C., N. Fenner et A. H. Shirsat. 2012. Peatland geoengineering: an alternative approach to terrestrial carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 370 (1974) : 4404-4421.
- Gaudig, G., F. Fengler, M. Krebs, A. Prager, J. Schulz, S. Wichmann et H. Joosten. 2014. Sphagnum farming in Germany—a review of progress. *Mires and Peat* 13 (8) : 1-11.
- Gaudig, G., M. Krebs et H. Joosten. 2017. Sphagnum farming on cut-over bog in NW Germany: Long-term studies on Sphagnum growth. *Mires and Peat* 20 (04) : 1-19.
- Gaudig, G., M. Krebs, A. Prager, S. Wichmann, M. Barney, S. J. M. Caporn, M. Emmel, C. Fritz, M. Graf, A. Grobe, S. G. Pacheco, S. Hogue-Hugron, S. Holztraeger, S. Irrgang, A. Kamarainen, E. Karofeld, G. Koch, J. F. Koebbing, S. Kumar, ... H. Joosten. 2018. Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: A review. *Mires and Peat* 20 (13) : 1-30.
- Grobe, A., B. Tiemeyer et M. Graf. 2021. Recommendations for successful establishment of Sphagnum farming on shallow highly decomposed peat. *Mires and Peat* 27 (27) : 1-18.

³⁰ Références citées dans le texte et autres références pertinentes.

- Griscom, B. W., J. Adams, P. W. Ellis, R. A. Houghton, G. Lomax, D. A. Miteva, W. H. Schlesinger, D. Shoch, J. V. Siikamäki, P. Smith, P. Woodbury, C. Zganjar, A. Blackman, J. Campari, R. T. Conant, C. Delgado, P. Elias, T. Gopalakrishna, M. R. Hamsik, ... J. Fargione. 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (44) : 11645-11650.
- Guêné-Nanchen, M., R. Pouliot, S. Hugron et L. Rochefort. 2017. Effect of repeated mowing to reduce graminoid plant cover on the moss carpet at a Sphagnum farm in North America. *Mires and Peat* 20 (6) : 1-12.
- Günther, A., G. Jurasinski, K. Albrecht, G. Gaudig, M. Krebs et S. Glatzel. 2017. Greenhouse gas balance of an establishing Sphagnum culture on a former bog grassland in Germany. *Mires and Peat* 20 (02) : 1-16.
- Hugron, S. et L. Rochefort. 2018. Sphagnum mosses cultivated in outdoor nurseries yield efficient plant material for peatland restoration. *Mires and Peat* 20 (11) : 1-6.
- Jobin, P., J. Caron et L. Rochefort. 2014. Developing new potting mixes with Sphagnum fibers. *Canadian Journal of Soil Science* 94 (5) : 585-593.
- Landry, J., C. Martinez et L. Rochefort. 2011. The use of fungicide Nova to mitigate infection of Sphagnum by parasitic fungi in the greenhouse. *Botany* 89 (10) : 655-661.
- LaRose, S., J. Price et L. Rochefort. 1997. Rewetting of a cutover peatland : hydrologic assessment. *Wetlands* 17 : 416-423.
- Muster, C., M. Krebs et H. Joosten. 2020. Seven years of spider community succession in a Sphagnum farm. *The Journal of Arachnology* 48 (2) : 119-131.
- Pouliot, R., S. Hugron et L. Rochefort. 2015. Sphagnum farming: A long-term study on producing peat moss biomass sustainably. *Ecological Engineering* 74 : 135-147.
- Rochefort, L., S. Campeau et J.-L. Bugnon. 2002. Does prolonged flooding prevent or enhance regeneration and growth of Sphagnum ? *Aquatic Botany* 74 (4) : 327-341.
- Rochefort, L. et D. F. Bastien. 1998. Réintroduction de sphaignes dans une tourbière exploitée : Évaluation de divers moyens de protection contre la dessiccation. *Écoscience* 5 (1) : 117-127.
- Temmink, R. J., C. Fritz, G. van Dijk, G. Hensgens, L. P. Lamers, M. Krebs, G. Gaudig et H. Joosten. 2017. Sphagnum farming in a eutrophic world : The importance of optimal nutrient stoichiometry. *Ecological Engineering* 98 : 196-205.
- Wichmann, S., M. Krebs, S. Kumar et G. Gaudig. 2020. Paludiculture on former bog grassland: Profitability of Sphagnum farming in North West Germany. *Mires and Peat* 26 (08) : 1-18.

Mémoires

Brown, C. 2017. The CO₂ dynamics and hydrology of an experimental Sphagnum farming site. Mémoire de M.Sc., University of Waterloo, 68 p.

Goulet, G. 2019. Système de contrôle automatisé de l'eau en culture de sphaigne. Mémoire de M.Sc., Université Laval, Québec, Québec, 71 p.

Guides et rapports techniques

Laberge-Grégoire, N., Z. Picard et R. Quirion. 2022. Automatisation de la gestion de l'eau dans la culture de sphaigne. Rapport final, Université Laval, Québec, Québec, 80 p.

Landry, J. et L. Rochefort. 2010. Site expérimental de culture de sphaigne, Shippagan, Nouveau-Brunswick. Rapport d'activité 2003-2009. Chaire de recherche industrielle du CRSNG en aménagement des tourbières. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 56 p.

Partington, M., C. Gillies, B. Gingras, C. Smith et J. Morissette. 2016. Resource roads and wetlands a guide for planning, construction and maintenance. Special Publication Sp-530E. Pointe-Claire, QC : FPInnovations. 88 p.

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

Quinty, F. 2012. Évaluation des coûts de la restauration des tourbières au Canada. Numéro de projet : 11-1222-0019-Rev0. Golder Associés. 23 p.

Quinty, F., M.C. LeBlanc et L. Rochefort. 2019. Guide de restauration des tourbières - Récolte du matériel végétal et gestion des sites donneurs. GRET, CSPMA et APTHQ. Québec, Québec.

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

Quinty, F., M.-C. LeBlanc et L. Rochefort. 2020. Guide de restauration des tourbières - Préparation du site et remouillage. GRET, CSPMA et APTHQ. Québec, Québec.

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.

VALORÈS. 2021. Viabilité de la culture de sphaigne au Canada - Activité 5 : Analyse financière. Rapport d'activité 2021. VALORÈS. 17 p.

VALORÈS. 2022a. Viabilité de la culture de sphaigne au Canada - Activité 2 : Production. Rapport d'activité 2021-2022. VALORÈS. 34 p.

VALORÈS. 2022b. Viabilité de la culture de sphaigne au Canada - Activité 3 : Mécanisation de la récolte. Rapport d'activité 2022. VALORÈS. 24 p.

Autres

Gouvernement du Nouveau-Brunswick. 2014. Politique sur l'extraction de la tourbe. MRE-004-2014. 15 p.

Joosten, H. et D. Clarke. 2002. Wise use of mires and peatlands. International Mire Conservation Group and International Peat Society, 304 p.

Statistique Canada. 2018. Salaire des employés selon la profession, données annuelles, inactif. Tableau : 14-10-0307-01. Canada.





Publié en partenariat par



Avec la participation financière de



En partenariat avec

