

Rapport final

Restauration écologique des tourbières de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer dans le Bas-Saint-Laurent

Projet R719.1

Groupe de recherche en écologie des tourbières
Université Laval

Groupe de rédaction : Line Rochefort, Marie-Claire LeBlanc, Sandrine Hogue-
Hugron, Rémy Pouliot, Noémie D'Amour et Claire Boismenu

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec

17 mars 2015

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financée par la Direction de l'environnement et de la recherche pour un projet de la Direction du Bas-Saint-Laurent–Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine, en réponse à une exigence de compensation entraînée par la construction de l'autoroute 85 dans l'axe de la route 185 entre la municipalité de Témiscouata-sur-le-Lac (secteur Cabano) et la frontière du Nouveau-Brunswick (décret no 7-2010).

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

CHARGÉ DE PROJET AU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Jonathan Côté, biologiste, M.Sc.
Ministère des Transports du Québec
Direction du Bas-Saint-Laurent Gaspésie îles-de-la-Madeleine
92, 2^e rue ouest,
Rimouski (Québec) G5L 8E6
Téléphone : 418 727-3675 poste 2386
Télécopieur : 418 727-3673
Courriel : jonathan.cote@mtq.gouv.qc.ca

COLLABORATEURS AU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Audrey Turcotte, biologiste, conseillère en recherche, Service de coordination de la recherche et de l'innovation, DER – MTQ (jusqu'en avril 2014)

Michel Michaud, géographe, M.ATDR, conseiller en recherche, Service de coordination de la recherche et de l'innovation, DER – MTQ (à partir de mai 2014)

Isabelle Falardeau, géographe, M. Sc. Eau, Service de l'environnement, DER

Isabel Bernier-Bourgault, biologiste, M. Sc., Service de l'environnement, DER

RÉFÉRENCE SUGGÉRÉE

Rocheffort L, LeBlanc M.-C., Hogue-Hugron S, Pouliot R, D'Amour N, Boismenu C. (2015) — Restauration écologique des tourbières de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer dans le Bas-St-Laurent. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval. Remis au ministère des Transports du Québec, mars 2015, 76 pages et 3 annexes.

SOMMAIRE

Ce rapport et ses annexes fournissent au ministère des Transports du Québec (MTQ) une synthèse des résultats de près de trois années de recherches sur la restauration écologique de deux tourbières dégradées, et ce, pour le programme de compensation que le Ministère doit présenter pour la perte de milieux humides liée à la construction de l'autoroute 85 entre la municipalité de Témiscouata-sur-le-Lac (secteur Cabano) et la frontière du Nouveau-Brunswick (décret no. 7-2010). Le mandat confié par le MTQ au Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) a permis à celui-ci d'entreprendre de nombreuses expériences permettant d'adapter la méthode de restauration des tourbières par transfert du tapis de mousses (bryophytes) qu'il a élaborée au cours des 20 dernières années pour le cas particulier d'une tourbière minérotrophe (Bic-Sainte-Fabien), un type d'écosystème de plus en plus rare dans le sud du Québec. Le mandat a également permis de restaurer la tourbière de Sainte-Fabien-sur-Mer en une mosaïque de milieux humides (bogs, fen, marécages, zones de transition). La tourbe des deux tourbières avait été prélevée au cours du siècle dernier et les sites n'avaient pas été restaurés par la suite, laissant des milieux dénués de la végétation typique des tourbières minérotrophes de la région du Bas-Sainte-Laurent.

À la tourbière minérotrophe (fen) de Bic-Sainte-Fabien, plusieurs expériences ont donné des résultats prometteurs. Ils confirment qu'il est possible de restaurer des fens et fournissent quelques lignes directrices à suivre :

- Les mousses brunes (par exemple, *Tomenthypnum nitens*, *Campillium stellatum* et *Scorpidium cossinii*) peuvent être réintroduite à partir de fragments qui seront ensuite recouverts de paille. La mise à l'échelle et la mécanisation de ce procédé n'ont cependant pas généré un établissement satisfaisant des mousses et devraient être étudiées dans le futur.
- Il est possible de restaurer la biodiversité unique des fens en procédant à la réintroduction active des plantes vasculaires, par diverses techniques :
 - Production de plants à partir de graines : Les conditions optimales de production ont été déterminées pour une dizaine d'espèces, dont le *Carex disperma* et le *Scirpus validus*.
 - Semis à la volée : La technique de propagation privilégiée pour une grande variété d'espèces, dont le *Carex echinata*, le *Carex flava*, le *Carex magellanica*, le *Calamagrostis canadensis* et la *Saracenia purpurea*.
 - Transplantation : Le seul moyen de réintroduction du *Carex aquatilis* vu son taux de germination des graines quasi nul dans toutes les conditions testées.

- La fertilisation phosphatée favorise l'établissement de la végétation.
- Le niveau d'humidité influence grandement la survie des mousses et des plantes vasculaires et le niveau optimal est différent d'une espèce à une autre.
- Il est possible de contrer les effets négatifs de l'érosion par l'écoulement d'eau en appliquant des techniques de contrôle de l'érosion adaptée aux conditions présentes.
- Pour une restauration dont le but premier est le retour de la fonction d'accumulation du carbone, le *Carex aquatilis* devrait être réintroduit en priorité, puisqu'il s'agit de la seule espèce qui a démontré une capacité accrue de séquestration.

Des études plus poussées, notamment concernant le contrôle d'espèces de plantes envahissantes et la connectivité hydrologique entre les secteurs restaurés et la tourbière naturelle (non perturbée) environnante, se poursuivront au cours des prochaines années. Le suivi à long terme de l'hydrologie et de la végétation sera également réalisé afin d'évaluer le succès des différentes méthodes de restauration utilisées dans ce site unique en Amérique du Nord et de le comparer aux écosystèmes de référence de la région, soit des tourbières minérotrophes naturelles peu ou pas perturbées.

À la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer, diverses approches de restauration ont été entreprises, de façon à créer une diversité d'habitats tout en respectant les contraintes du milieu laissé à l'abandon après la cessation des activités d'extraction de la tourbe. Même si de nouvelles variantes à la méthode habituelle de restauration par transfert de la couche muscinale ont été testées pour le secteur de tourbière ombrotrophe (bog), ce site montre un taux de réhabilitation parmi les meilleurs au Canada. Il en est bien ainsi, car il servira de site d'éducation à la restauration écologique en collaboration avec le Parc national du Bic. À d'autres endroits, un simple remouillage par blocage des canaux de drainage a été effectué, ce qui a permis, entre autres, de créer une magnocariçaie, un type de milieu dominé dans le cas présent par le scirpe. Ailleurs, des plantations d'arbres et d'arbustes à petits fruits indigènes ont été réalisées afin de favoriser notamment la biodiversité aviaire. Durant le projet, une colonie de phragmites (roseau commun) s'est implantée sur le site. Les intervenants ont décidé de saisir l'occasion pour démarrer une étude sur les meilleurs moyens de contrôle à appliquer sur cette plante envahissante dans les écosystèmes de tourbières.

En conclusion, même si un site de tourbière n'est pas de propriété privée, les firmes-conseils en environnement possèdent assez d'expertise pour entreprendre et réussir la restauration écologique d'un bog (site de Saint-Fabien-sur-Mer). Pour les fens, tel que l'ont démontré des travaux menés aux États-Unis, les méthodes de restauration exigeront plus d'efforts pour l'implantation des plantes graminoides recherchées si on ne veut pas voir les

**RAPPORT FINAL - RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES DE BIC-SAINTE-FABIEN
ET DE SAINT-FABIEN-SUR-MER DANS LE BAS-SAINTE-LAURENT**

sites être envahis par des plantes non désirables. Ce projet a d'ailleurs permis de bâtir une excellente banque de référence sur l'écosystème cible de type fen pour les projets de restauration dans la région du Bas-Saint-Laurent. L'étude nous a de plus appris qu'il est possible de manipuler des mousses brunes de fen comme on le fait avec les sphagnes pour les bogs. Elles s'établissent bien sur la tourbe nue sur le terrain lors d'expériences menées à petite échelle et réalisées avec soin. Cependant, la mécanisation du processus pose problème : il s'agira, assurément, des prochaines questions de recherche du GRET.

**RAPPORT FINAL - RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES DE BIC-SAINTE-FABIEN
ET DE SAINT- FABIEN-SUR-MER DANS LE BAS-SAINTE-LAURENT**

SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET DES RECOMMANDATIONS

Dans le cadre de son mandat, le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) a réalisé une série d'expériences afin de peaufiner la méthode de restauration par transfert de la couche muscinale des sphaignes pour des bogs, ainsi que d'adapter la méthode de transfert de la couche muscinale vivante aux tourbières minérotrophes. Les connaissances acquises sont transmises au ministère des Transports du Québec par le présent rapport, lequel comprend trois documents en annexe. L'Annexe 1 « Protocoles des principales expériences réalisées à la tourbière de Bic–Saint-Fabien » présente des détails sur chacune des expériences discutées dans le rapport. L'Annexe 2 « Tourbières minérotrophes naturelles de la région de Rimouski – Saint-Fabien » documente les fens naturels relativement intacts servant d'écosystème de référence. L'Annexe 3 « Restauration des tourbières minérotrophes – État des connaissances » résume les recommandations à considérer pour la restauration des fens. Les informations contenues dans ces documents serviront de référence dans le domaine de la restauration des fens. Le Ministère pourra s'y référer, entre autres, dans le cadre de la planification de mesures de compensation à la suite de ses activités.

Sachant que la restauration figure parmi les meilleures façons de concourir à l'objectif d'aucune perte nette de milieux humides, la restauration de tourbière est un créneau d'expertise important. Ainsi, le présent document apporte des solutions pouvant être mises en œuvre afin de contrebalancer certains impacts négatifs d'un projet sur l'environnement. En effet, le MTQ y trouvera des méthodologies et recommandations pouvant être intégrées dans les devis de restauration, une banque de référence sur les tourbières de type fen dans la région du Bas-Saint-Laurent, des sites potentiels pour des activités de restauration ou de protection dans la même région ainsi que des axes de recherche à poursuivre.

Il faut toutefois souligner que les résultats présentés dans ce rapport sont tous préliminaires et qu'ils n'ont pas encore été publiés (une partie de la propriété intellectuelle appartenant aux étudiants de 2^e et de 3^e cycles). Ils feront l'objet d'interprétations plus approfondies afin de produire des articles scientifiques révisés par des pairs au cours des prochains mois. Par conséquent, il importe de considérer comme préliminaires les résultats présentés dans ce document et de contacter le GRET pour toute clarification, information ou mise à jour sur les renseignements présentés.

Sont présentées dans cette section les grandes lignes des conclusions et des recommandations issues des 30 mois de recherches menées dans le cadre du mandat octroyé au GRET par le ministère des Transports du Québec (MTQ). Pour en savoir plus, le lecteur est invité à consulter, au chapitre 5, la section « Faits saillants » qui termine la description de chacun des projets de recherche présentés et qui fait ressortir les éléments les plus pertinents de ceux-ci. Également, le lecteur trouvera à l'Annexe 3 des recommandations, sous forme de guide, concernant la restauration des tourbières minérotrophes.

A) Tourbière de Bic–Saint-Fabien

La tourbière de Bic–Saint-Fabien a été restaurée en décembre 2009 de façon à tenter le retour d'une tourbière minérotrophe. Plusieurs variantes de la méthode de restauration par transfert muscinal ont été testées à cette époque et plusieurs expériences complémentaires ont été réalisées depuis pour comprendre et définir quelles sont les meilleures approches permettant le retour des plantes typiques de fens. Voici les principales conclusions et recommandations issues des travaux menés à Bic–Saint-Fabien.

La restauration de la tourbière de Bic–Saint-Fabien a montré qu'il est possible de rétablir le système hydrologique du milieu et de limiter les émissions de gaz à effet de serre, comme le méthane. Toutefois, la méthode mécanique de restauration par transfert muscinal utilisée seule n'a pas donné pas d'aussi bons résultats en tourbière minérotrophe qu'en tourbière ombrotrophe en ce qui concerne le retour de la végétation typique des fens. Certaines approches complémentaires peuvent apporter des résultats intéressants, mais ils restent à être confirmés :

- La propagation en serre, les semis *in situ* et la plantation de plants de certaines espèces vasculaires typiques des fens (comme les cypéracées) peuvent faciliter le retour de la végétation inféodée à ces milieux. Il faut toutefois tenir compte des conditions abiotiques retrouvées sur le terrain (en particulier d'humidité). Il serait en effet possible de « prescrire » des espèces précises en fonction des conditions prévalant dans les tourbières lors de l'élaboration des plans de restauration.
- Également, il est possible de propager certaines espèces de mousses brunes (comme le *Tomenthypnum nitens*, le *Campillium stellatum* et le *Scorpidium cossinii*) dans des bassins de culture en tourbière avec un contrôle du niveau de l'eau. Ces mousses peuvent être utilisées ensuite en restauration. Si ces mousses sont réintroduites dans un site où des cypéracées sont déjà présentes, il est préférable de les réintroduire sous des espèces de petite taille et dans des secteurs où la densité est faible.
- La création d'andains est la méthode de base, avec le blocage des canaux de drainage, pour le remouillage d'un site restauré. Pour la restauration de fen, il faut s'assurer d'apporter des correctifs pour limiter l'érosion par l'écoulement d'eau, comme l'utilisation de fagots d'arbustes indigènes, et ce, dès les travaux de restauration initiaux dans les endroits où une plus grande quantité d'eau circule. Des boutures de myrique baumier peuvent également aider à stabiliser le sol matériel et ralentir l'eau en circulation.
- La fertilisation phosphatée favorise l'établissement des plantes vasculaires et des mousses dans les secteurs restaurés, mais le chaulage n'a aucun effet sur l'établissement de la végétation.

- La création de mares, végétalisées avec des plantes typiques de ces milieux, a un effet positif sur la biodiversité de la tourbière (p. ex. sur les espèces végétales et les arthropodes) et sa fonctionnalité.
- En ce qui concerne le stockage du carbone dans la tourbière restaurée, la réintroduction du *Carex aquatilis*, une espèce qui a la capacité de séquestrer le carbone, est recommandée lorsque le rétablissement de la fonction d'accumulation de carbone est un objectif important.

D'autre part, à la tourbière de Bic – Saint-Fabien, il faudra continuer les recherches visant à limiter l'expansion de certaines espèces vasculaires envahissantes à l'aide d'autres plantes de fens. À noter également qu'un nouveau champ d'études se développe concernant la connectivité hydrologique entre les secteurs restaurés et la tourbière naturelle environnante.

Comme dans tout projet de restauration écologique, un suivi régulier de la situation de la tourbière de Bic–Saint-Fabien a été fait dans les années suivant la restauration et devra être effectué dans les années subséquentes, de façon à s'assurer :

- que les conditions abiotiques (comme le niveau d'eau et la chimie de l'eau) continuent à évoluer vers celles des écosystèmes de référence;
- que la végétation (invasculaire et vasculaire) typique des tourbières minérotrophes s'établit et que les espèces indésirables qui auraient pu coloniser le site ne deviennent pas envahissantes;
- d'obtenir des bases de données permettant d'évaluer le succès de la restauration et de les comparer à d'autres projets de restauration;
- de vérifier l'effet de la restauration de la tourbière perturbée sur la tourbière naturelle adjacente, p. ex. dans le cas des espèces végétales rares ou susceptibles d'être désignées menacées (comme le cyripède royal).

Il importe de posséder également des connaissances sur des tourbières non perturbées situées dans la même région qui peuvent servir d'écosystèmes de référence et permettre l'évaluation du succès de restauration.

B) Tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer

La tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer a été restaurée en novembre 2011 grâce à une collaboration entre le GRET, Planirest Environnement (une firme d'experts-conseil) et l'Association des producteurs de tourbe horticole du Québec (APTHQ). La tourbière a été aménagée de façon à créer un complexe de milieux humides formé d'un secteur de tourbière ombrotrophe, d'un secteur

minérotrophe, de marécages, de laggs (zones de transition) et de secteurs de démonstration d'arbustes fruitiers et de mares.

Le plan de restauration initial comptait cinq zones homogènes pour lesquelles une option de restauration (y compris des travaux à titre expérimental) avait été déterminée en tenant compte des conditions du terrain avant sa restauration. Entre autres, la méthode de transfert du tapis muscinal a été utilisée sur une grande partie du site, avec une variante simplifiée éliminant l'étape de l'aplanissement du sol dans une portion de la tourbière abandonnée où il y avait eu une recolonisation naturelle par la végétation. Pour certains secteurs, un simple remouillage par blocage des canaux de drainage a été réalisé. Des plantations d'arbres ont également été effectuées, notamment dans des zones plus sèches de la tourbière. Ainsi, certains ajouts et ajustements ont été apportés au plan de restauration de départ afin de mieux refléter les conditions du terrain, comme création d'un marécage à aulne plutôt qu'à conifères et la modification de l'emplacement des plantations d'arbres et d'arbustes de petits fruits.

Le suivi de la végétation de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer depuis sa restauration est effectué par le GRETT et les parcelles d'inventaire situées dans cette tourbière seront dorénavant incorporées au suivi pancanadien à long terme des tourbières aménagées après la cessation des activités de récolte de tourbe. Voici quelques éléments issus du premier inventaire :

- Deux des cinq parcelles réparties dans la zone où la méthode de transfert de la couche muscinale a été utilisée présentaient en 2014 une tendance vers un succès de restauration. La tendance de la trajectoire des trois autres parcelles était encore incertaine.
- Puisque des espèces envahissantes sont présentes sur le site (mais hors des parcelles d'inventaire), un suivi attentif de celles-ci, en plus des inventaires à long terme, devra être planifié pour empêcher leur établissement dans la portion restaurée.

L'une de ces espèces considérées comme envahissantes sur le site restauré de Saint-Fabien-sur-Mer, soit le *Scirpus cyperinus*, a fait l'objet d'une étude plus poussée de façon à déterminer de quelles façons il était possible de limiter sa tendance à l'envahissement. Ainsi, la présence d'un couvert végétal préétabli peut empêcher, dans une certaine mesure, l'implantation du scirpe par graines. Il faudrait de plus envisager de contrôler sa présence dès l'abandon du site après l'arrêt de la récolte de la tourbe, donc avant qu'il ne s'implante, plutôt que d'essayer de limiter sa croissance par la compétition une fois qu'il domine le paysage.

TABLE DES MATIÈRES

SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET DES RECOMMANDATIONS.....	i
A) Tourbière de Bic-Sainte-Fabien.....	ii
B) Tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer.....	iii
GLOSSAIRE.....	x
1. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	1
2. OBJECTIFS GÉNÉRAUX	3
3. SITES D'ÉTUDE	5
4. ADAPTATION DE LA TECHNIQUE DE RESTAURATION AUX FENS.....	9
5. TRAVAUX RÉALISÉS ET OBJECTIFS ATTEINTS	11
5.1 Tourbière de Bic-Sainte-Fabien	11
5.1.1 Propagation des espèces typiques des fens	11
A) Propagation de plantes vasculaires typiques des fens : stratification et viabilité des semences	12
B) Propagation de plantes vasculaires typiques des fens : semis <i>in situ</i>	14
C) Propagation de bryophytes typiques des fens : production de mousses brunes <i>in situ</i>	16
D) Détermination du seuil de survie des mousses brunes	18
5.1.2 Établissement de communautés végétales typiques des fens	19
A) Évaluation de la survie des plantations	20
B) Établissement de communautés végétales de fen après la réintroduction de matériel par transfert muscinal.....	23
C) Compétition entre les espèces et biodiversité	27
D) Influence des cypéracées sur l'implantation et la survie des mousses	29
E) Fertilisation et chaulage des zones restaurées	33
5.1.3 Rétablissement d'un régime hydrologique approprié	35
A) Bilan hydrique du site restauré	35
B) Contrôle de l'érosion.....	37
5.1.4 Retour de la fonction d'accumulation de carbone	40
5.1.5 Biodiversité des arthropodes des mares de tourbières naturelles, restaurées et non restaurées.....	42
5.1.6 Préservation de l'intégrité de la tourbière naturelle adjacente.	46
A) Caractérisation et suivi de la composition chimique de l'eau de la tourbière naturelle adjacente	48

B) Caractérisation et suivi de la végétation de la tourbière naturelle adjacente au secteur restauré de Bic–Saint-Fabien	50
C) Suivi annuel du cyripède royal (<i>Cyripedium reginae</i>)	53
D) Aménagement du gradient écohydrologique entre un fen restauré et les secteurs naturels adjacents	55
5.2 Tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer.....	58
5.2.1 Établissement de communautés végétales typiques des milieux humides choisis.....	60
A) Restauration planifiée et réalisée	60
B) Écologie du <i>Scirpus cyperinus</i>	64
C) Suivi de la végétation	67
6. DISCUSSION ET CONCLUSION	69
7. BILAN DES DÉPENSES	73
7.1 Salaires	74
7.2 Matériel et fourniture	75
7.3 Frais de déplacement et de séjour.....	76
7.4 Frais de communication et de production de rapport.....	76
7.5 Bilan financier final	76
Annexe 1 Protocoles des principales expériences réalisées à la tourbière de Bic–Saint-Fabien	
Annexe 2 Tourbières minérotrophes de la région de Rimouski – Saint-Fabien	
Annexe 3 Restauration des tourbières minérotrophes – État des connaissances	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Synthèse des tests de stratification et de viabilité des graines... 13
Tableau 2	Espèces vasculaires introduites <i>in situ</i> à Bic-Sainte-Fabien en juillet 2013 14
Tableau 3	Résultat d'établissement (2010 à 2014) des espèces introduites à Bic-Sainte-Fabien, en fonction des conditions d'humidité. 21
Tableau 4	Distribution des 18 parcelles d'inventaire de végétation selon les méthodes de restauration à Bic-Sainte-Fabien. 24
Tableau 5	Recouvrement moyen (%) des espèces les plus abondantes des différents secteurs de la tourbière de Bic-Sainte-Fabien selon la méthode de restauration, ainsi que dans le site d'emprunt, cinq ans après la restauration. 25
Tableau 6	Comparaison des 10 espèces d'araignées et de dytiques les plus abondantes dans la tourbière restaurée de Bic-Sainte-Fabien et dans les tourbières naturelles..... 45
Tableau 7	Recommandation de suivis minimaux à la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer. 59
Tableau 8	Recouvrement moyen (%) des espèces dominantes dans les cinq parcelles permanentes de Saint-Fabien-sur-Mer en 2014 67
Tableau 9	Bilan des dépenses par poste budgétaire, du 9 juillet 2012 au 15 janvier 2015 73

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des tourbières de Bic-Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer	5
Figure 2	Plan de la tourbière de Bic-Saint-Fabien	6
Figure 3	Plan de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer	7
Figure 4	Recouvrement moyen (%) des trois espèces de mousses brunes introduites et des autres mousses ayant colonisé spontanément les bassins de culture à Bic-Saint-Fabien, par bassin et par station de culture, après trois saisons de croissance.	17
Figure 5	Résultats des inventaires de végétation selon les types de végétation (plantes vasculaires, sphaignes et mousses brunes) et la méthode de restauration à Bic-Saint-Fabien, cinq ans après la restauration.....	24
Figure 6	Inventaire d'une parcelle expérimentale sur la compétition entre des espèces envahissantes et les espèces typiques des fens à Bic-Saint-Fabien	27
Figure 7	Variations de la température et de l'humidité relative au niveau du tapis de mousses durant une période de 24 heures sous un couvert de : A) <i>Carex aquatilis</i> , B) <i>Carex flava</i> et C) <i>Trichophorum alpinum</i> (à Bic-Saint-Fabien)	31
Figure 8	Effet de la présence des cypéracées sur le couvert (moyenne \pm erreur-type) des mousses. A) Pour toutes les espèces de mousses réunies, B) pour <i>Sphagnum warnstorffii</i> , C) pour <i>Campylium stellatum</i> et D) pour <i>Tomentypnum nitens</i> (à Bic-Saint-Fabien).	32
Figure 9	Effet de la fertilisation sur le couvert de végétation (moyenne \pm écart-type) à Bic-Saint-Fabien. Trois traitements de fertilisation ont été testés : 1) chaux (15 g/m ²), 2) RP : roche phosphatée (25 g/m ²) et 3) témoin : absence de fertilisation.	34
Figure 10	Rétablissement de l'hydrologie à la tourbière de Bic-Saint-Fabien. À gauche : blocage initial des canaux de drainage en mars 2010. À droite : construction de barrages afin de bloquer l'eau des canaux de drainage en juillet 2010.	36
Figure 11	Méthodes de contrôle de l'érosion utilisées à Bic-Saint-Fabien. En haut, à gauche : plantations d'herbacées. En haut, à droite : boudins de bois raméal fragmenté. En bas, à gauche : fagots d'arbustes. En bas, à droite : boutures d'arbustes.	38
Figure 12	Mares de Bic-Saint-Fabien. À gauche : inventaires de macro-invertébrés aquatiques. À droite : suivi de la végétation aux abords des mares.....	43

Figure 13	Localisation approximative des deux secteurs de tourbière naturelle adjacente à la tourbière restaurée de Bic-Saint-Fabien : secteurs est et nord.	46
Figure 14	Suivi de l'hydrologie. À gauche : échantillonnage de l'eau dans la tourbière naturelle située à l'est du secteur restauré de Bic-Saint-Fabien. À droite : puits hydrologiques dans la cédrière située au nord.	48
Figure 15	Composition de la portion naturelle de la tourbière de Bic-Saint-Fabien, par type de végétation (secteurs est et nord)	51
Figure 16	Suivi des individus de cypripède royal à Bic-Saint-Fabien. À gauche : inventaire et décomptes en 2013; au centre : détail des fleurs; à droite : identification des tiges de chaque individu.	53
Figure 17	Disparité entre la marge de la tourbière restaurée et les abords intacts des tourbières naturelles en termes d'élévation moyenne, de niveau d'eau et de surface terrière	57
Figure 18	Restauration de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer telle que planifiée initialement (en haut) et ce qui a été réalisé (en bas), illustrant les zones en fonction du type de restauration.....	61
Figure 19	Succès d'implantation (%) à Saint-Fabien-sur-Mer du <i>Scirpus cyperinus</i> . Résultats selon les types de couvert végétal (Mou : <i>Tomentypnum nitens</i> ; Plants : plants d'espèces de fens; Sem : semences d'espèces de fen; Sph : <i>Sphagnum warnstorffii</i> et Tnue : tourbe nue) et le régime hydrique (bas, fluctuant ou haut).	65

GLOSSAIRE

Acronymes :

BSF : Bic-Saint-Fabien

GRET : Groupe de recherche en écologie des tourbières

MTQ : Ministère des Transports du Québec

SFSM : Saint-Fabien-sur-Mer

Définitions de quelques notions abordées dans ce document :

Bloc : En statistique, un bloc est un sous-ensemble homogène d'unités expérimentales (p. ex. plantes, microenvironnement).

Carex : Plantes herbacées de la famille des cypéracées; genre comprenant de nombreuses espèces. Les *Carex* composent une large part de la végétation vasculaire des fens.

Écosystème de référence : Concept en écologie qui réfère à un véritable écosystème (un milieu naturel adjacent) ou d'une représentation plus théorique (la somme de la caractérisation de plusieurs écosystèmes) servant de modèle afin de définir les objectifs d'un projet de restauration puis à leur évaluation¹.

Mousses brunes : Les principales espèces de bryophytes trouvées dans les fens contribuant à l'accumulation de la tourbe et appartenant à la famille des Amblystegiaceae. À titre d'exemple, les genres *Campylium* et *Drepanocladus* font partie des mousses brunes.

Soulèvement gélival : Phénomène causé par le gel de l'eau, qui forme des aiguilles de glace à la surface du sol. Les jeunes végétaux sont particulièrement sensibles à ce phénomène puisqu'ils sont ainsi déracinés et meurent par dessiccation.

Traitement : En statistique, il s'agit de la manipulation par le chercheur de la variable indépendante (par exemple : la dose d'un fertilisant, l'espèce plantée ou le niveau de l'eau).

Transfert muscinal : Appellation courte de la « Méthode de restauration par transfert du tapis muscinal » développée par le GRET pour la réhabilitation des bogs, largement décrite dans le Guide de restauration des tourbières².

¹ Adapté de la définition officielle de : SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International, [En ligne] [<http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration#6>].

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

1. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

Selon le décret obtenu pour la phase II du projet de construction de l'autoroute 85 entre la municipalité de Témiscouata-sur-le-Lac (secteur Cabano) et la frontière du Nouveau-Brunswick (décret no 7-2010), le ministère des Transports du Québec (MTQ) doit élaborer et réaliser un programme de compensation pour les pertes de milieux humides.

À la suite d'échanges avec le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (actuel ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques) et le ministère Ressources naturelles et de la Faune (maintenant scindé en ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles et ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs), une proposition d'une contribution financière de 200 000 \$ aux travaux de recherche du Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET), visant les études sur la restauration des tourbières de Saint-Fabien-sur-Mer et de Bic–Saint-Fabien (par la revégétalisation, le rétablissement des conditions hydrologiques et des fonctions d'accumulation du carbone de l'écosystème) a été jugée adéquate pour assurer la compensation des pertes en milieux humides perturbés par la construction de cette portion d'autoroute. Les milieux humides à étudier dans le cadre du concept de restauration écologique sont des fens (tourbières minérotrophes) localisées au sud du Parc national du Bic entre les municipalités de Saint-Fabien et de Rimouski (le Bic).

L'expertise du GRET en restauration des tourbières s'est développée au début des années 1990 pour tenter en premier lieu de résoudre le conflit qui existe entre la valeur environnementale des tourbières et la valeur économique de la tourbe en encourageant la reprise des fonctions écologiques après la récolte de la tourbe. Des méthodes de restauration des tourbières ombrotrophes, ou bogs, ont été développées avec succès au cours des 20 dernières années. Ces méthodes s'appliquent bien aux tourbières abandonnées après extraction de la tourbe où le dépôt résiduel possède encore des caractéristiques typiques de bogs (tourbe acide, peu décomposée, principalement composée de fragments de sphaignes). Toutefois, on trouve ici et là dans le paysage des tourbières où les conditions pédologiques ressemblent à celles de tourbières minérotrophes (fens). Peu de projets de restauration ont été réalisés sur la restauration des fens en Amérique du Nord et aucun au Canada. Le projet de Bic–Saint-Fabien est l'occasion d'appliquer des techniques éprouvées de restauration écologique dans les tourbières à sphaigne et de les adapter aux tourbières minérotrophes, moins communes dans le sud du Québec.

La structure du présent document vise à fournir de l'information de façon à la fois approfondie et conviviale. Ainsi, le rapport final résume les activités de recherche réalisées au cours des 30 derniers mois aux tourbières de Bic–

Sainte-Fabien et de Sainte-Fabien-sur-Mer. La présentation, au chapitre 5, des expériences menées et des résultats obtenus, permet de mieux comprendre les projets de recherches réalisés. En complément, l'Annexe 1 (Protocoles des principales expériences réalisées à la tourbière de Bic-Sainte-Fabien) fournit des détails plus précis sur la méthodologie d'une dizaine d'expériences menées à Bic-Sainte-Fabien. L'Annexe 2 (Tourbières minérotrophes de la région de Rimouski-Sainte-Fabien) présente un aperçu des différentes tourbières minérotrophes de la région du Bas-Sainte-Laurent qui ont servi ou qui peuvent servir d'écosystèmes de référence pour tout projet de restauration de ce type de milieu humide dans cette région du Québec. Enfin, l'Annexe 3 (Restauration des tourbières minérotrophes – État des connaissances) résume sous forme de guide les principales considérations pratiques qui doivent être prises en compte lors de travaux de restauration des tourbières minérotrophes. Le dernier chapitre de ce guide porte sur le suivi écologique des tourbières.

2. OBJECTIFS GÉNÉRAUX

Les principaux objectifs du projet de recherche sont de :

- Développer des méthodes pour la restauration écologique de tourbières ombrotrophes, de tourbières minérotrophes et de marécages dégradés à la suite de la récolte de la tourbe comme mesure de compensation pour la perte de milieux humides;
- Tester l'aménagement de divers types de milieux humides : bog, fen et zone marécageuse en fonction des conditions résiduelles post-exploitation;
- Adapter les techniques de restauration écologique utilisées dans les tourbières ombrotrophes pour la restauration de tourbières minérotrophes;
- Caractériser un écosystème de référence afin d'établir les critères de succès de la restauration écologique d'une tourbière;
- Développer un protocole de suivi de la restauration écologique des milieux humides.

La « restauration écologique » se définit comme le processus d'aide au rétablissement d'un écosystème qui a été endommagé, dégradé ou détruit. Dans le cas des tourbières, le but ultime de la restauration est de promouvoir le retour d'un écosystème fonctionnel et accumulateur de tourbe, et ce, dans une échelle de temps raisonnable.

Comme il s'agit d'un processus qui prend du temps, des objectifs plus spécifiques peuvent être définis en fonction du type de tourbière que l'on souhaite restaurer pour permettre une évaluation à plus court terme. Afin d'établir les critères de succès d'un projet de restauration d'une tourbière, le projet inclut la caractérisation d'un écosystème de référence.

Le projet d'étude de Bic-Sainte-Fabien a pour but de développer le savoir-faire en restauration de tourbières minérotrophes dans leur intégrité, c'est-à-dire tant au niveau de la structure que des fonctions de l'écosystème. Le projet de restauration de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer a pour principaux buts de tester l'aménagement de divers types de milieux humides : bog, fen et zone marécageuse en fonction des conditions résiduelles post-exploitation et de mettre en place un protocole de suivi de la restauration.

**RAPPORT FINAL - RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES DE BIC-SAINTE-FABIEN
ET DE SAINT- FABIEEN-SUR-MER DANS LE BAS-SAINTE-LAURENT**

3. SITES D'ÉTUDE

Les tourbières de Bic-Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer sont situées dans la municipalité de Saint-Fabien, dans la région du Bas-Saint-Laurent (Figure 1).

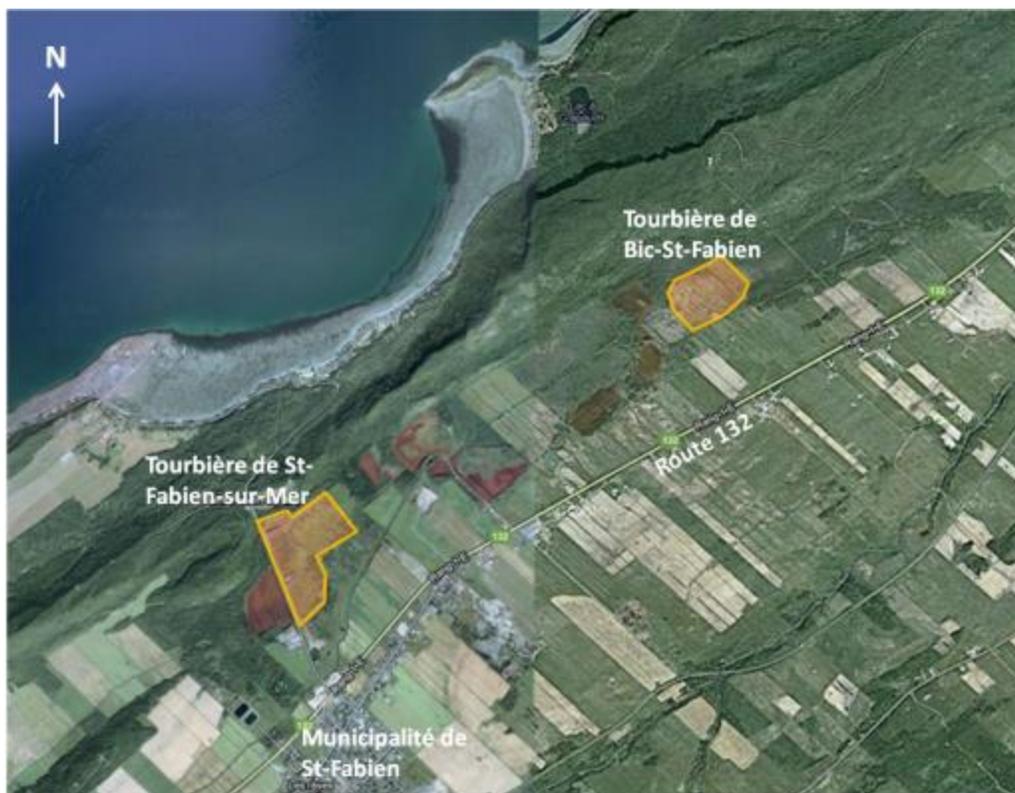


Figure 1 Localisation des tourbières de Bic-Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer

La tourbe de la tourbière de Bic-Saint-Fabien a été récoltée à des fins horticoles dès 1946, d'abord par la méthode de coupe manuelle par blocs, puis par une méthode plus moderne, mécanique, par aspiration. La récolte de tourbe s'est terminée entre 1995 et 2000 selon les secteurs et les terrains ont ensuite été laissés à l'abandon. Le secteur anciennement exploité possède une superficie de 16 hectares et est bordé par une tourbière naturelle modérément riche et des champs cultivés (Figure 2). Le projet de restauration initié par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) de l'Université Laval vise le retour d'un écosystème de fen, en prenant la

tourbière adjacente ainsi que quelques tourbières minérotrophes de la région comme écosystèmes de référence.

En 2008, une caractérisation de la tourbière abandonnée de Bic-Saint-Fabien a été conduite afin de dresser le portrait des conditions prévalant avant la restauration. Pendant l'hiver 2009, des travaux de restauration ont été réalisés sur 11 hectares, en suivant la méthode de transfert du tapis muscinal de restauration des bogs développée par le GRET. Depuis, des recherches sur le retour des conditions hydrologiques, de la végétation typique des fens et de la capacité de captage du carbone ont lieu sur le site. Le soutien financier accordé au GRET par le ministère des Transports du Québec permet la poursuite des travaux déjà amorcés et la mise en place d'expériences afin d'atteindre le double objectif de restauration du site et de l'adaptation de la méthode de restauration aux fens. Les projets de recherche réalisés à ce jour ont été en quasi-totalité financés par le MTQ. Des projets additionnels ont aussi été rendus possibles par d'autres sources de financement, entre autres le Conseil de recherche en sciences et génie du Canada (CRSNG) et l'industrie canadienne de la tourbe, des bourses d'études-travail, des bourses du CRSNG pour stage d'été en recherche et accueil d'étudiants étrangers.

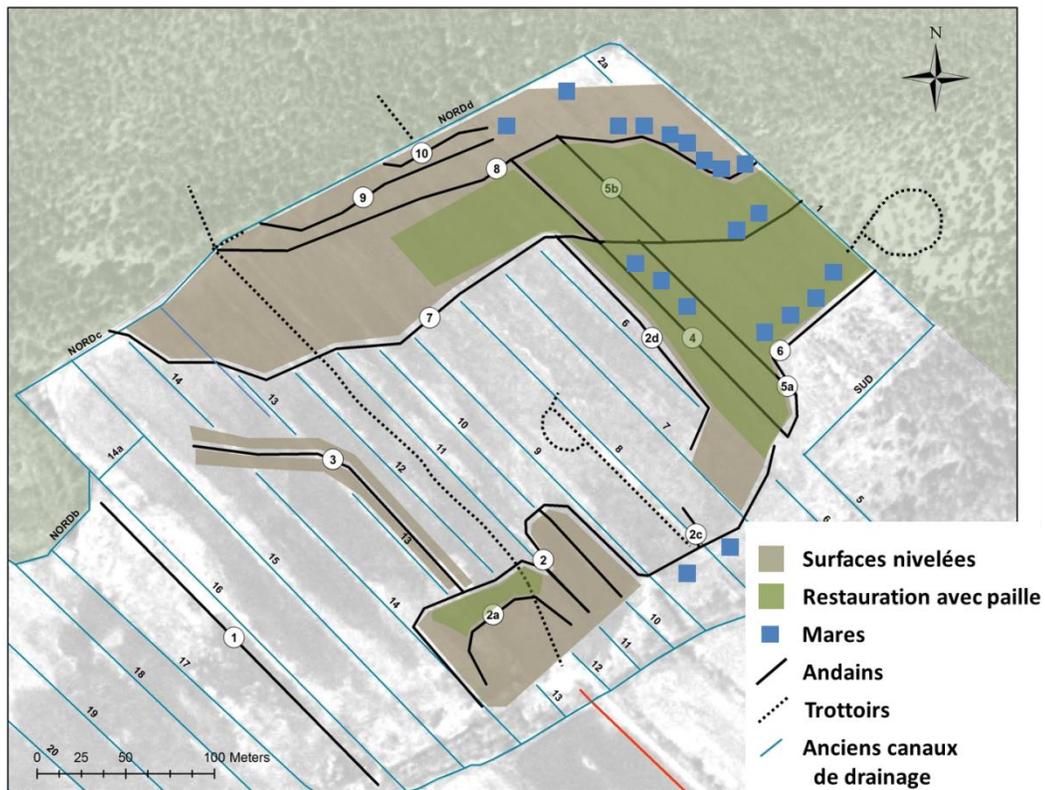


Figure 2 Plan de la tourbière de Bic-Saint-Fabien

La tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer a été exploitée par aspiration et les terrains ont été abandonnés entre 1993 et 1999 selon les secteurs. Le site couvre une superficie de 20 hectares. Il est bordé au nord par la limite sud-ouest du Parc national du Bic, par des friches recolonisées par des arbres à l'est et au sud, ainsi que par la Route de la mer et par une autre tourbière maintenant abandonnée à l'ouest.

Lors des travaux de restauration réalisés en novembre 2011, la tourbière a été aménagée de façon à créer un complexe de milieux humides formé d'un secteur de tourbière ombrotrophe, d'un secteur minérotrophe, de marécages, de laggs (zones de transition) et de secteurs de démonstration d'arbustes fruitiers et de mares (Figure 3).

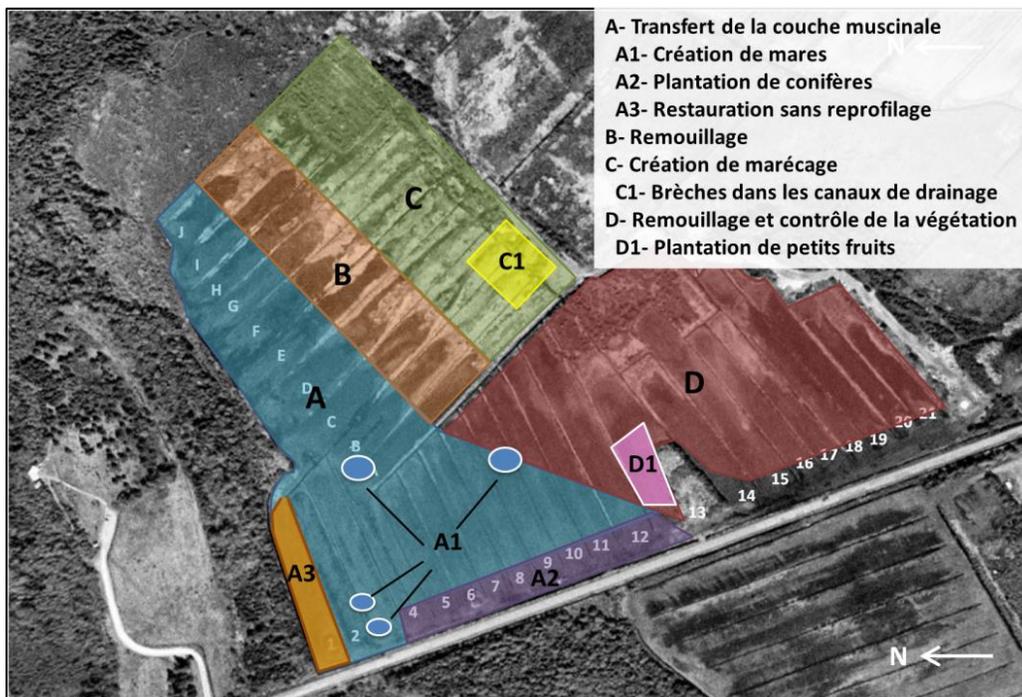


Figure 3 Plan de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer

**RAPPORT FINAL - RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES DE BIC-SAINTE-FABIEN
ET DE SAINT- FABIEN-SUR-MER DANS LE BAS-SAINTE-LAURENT**

4. ADAPTATION DE LA TECHNIQUE DE RESTAURATION AUX FENS

Les bogs et les fens sont des milieux humides accumulateurs de matière organique. Bien que considérés tous deux comme des tourbières, ces types d'écosystèmes se distinguent toutefois par leur alimentation en eau. Cette différence influence l'écoulement de l'eau dans la tourbière, la quantité de nutriments présents et, par le fait même, les communautés végétales.

La technique de restauration par transfert du tapis muscinal vise spécifiquement le retour des sphaignes, les espèces-clés des bogs³. Les sphaignes sont beaucoup moins abondantes dans les fens où les communautés végétales sont dominées par les mousses brunes et les cypéracées. La technique de restauration développée par le GRET doit donc être adaptée lorsque vient le temps de restaurer les fens.

D'abord, le drainage des fens est beaucoup plus complexe que celui des bogs. En effet, les bogs sont isolés du réseau hydrographique régional et alimentés uniquement par les précipitations atmosphériques. Pour leur part, en plus des précipitations, les fens sont alimentés par les eaux de ruissellement de surface, des eaux souterraines et sont même parfois adjacents à des cours d'eau. Les fens sont donc sujets à des inondations ou encore à un écoulement d'eau en surface beaucoup plus important que les bogs. Les problèmes d'érosion doivent donc impérativement être pris en considération lors du terrassement du site à restaurer.

Ensuite, le cortège floristique des fens est beaucoup plus diversifié que celui des bogs. Une restauration à petite échelle réalisée manuellement a démontré qu'il était possible de propager les espèces de fens en utilisant la technique du transfert muscinal⁴. Toutefois, il est largement reconnu que la propagation de certaines espèces dominantes des fens, particulièrement les carex, est difficile dans le cadre de la restauration⁵. Si l'on désire réintroduire ces espèces, des actions supplémentaires doivent être entreprises, telles que la transplantation ou la propagation par semis⁶.

³ ROCHEFORT, L. 2000. New frontiers in bryology and lichenology - *Sphagnum* - A keystone genus in habitat restoration. *Bryologist* 103(3): 503-508.

⁴ GRAF, M. D., ROCHEFORT, L. 2008. Techniques for restoring fen vegetation on cut-away peatlands in North America. *Applied Vegetation Science* 11: 521-528.

⁵ COOPER, D. J., MacDONALD, L. H. 2000. Restoration of vegetation of mined peatland in the southern Rocky Mountains of Colorado, U.S.A. *Restoration Ecology* 8: 103-111.

⁶ GRAF, M. D., BÉRUBÉ, V., ROCHEFORT, L. 2012. Restoration of peatlands after peat extraction: Impacts, restoration goals, and techniques. P. 259-280 dans Vitt, D. H. & J. S. Bhatti (éd.), *Restoration and Reclamation of Boreal Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Enfin, en raison de l'apport en éléments minéraux provenant du ruissellement, la tourbe de fen est beaucoup plus riche en cations de base (Ca, Mg, Na et K) que la tourbe de bog. Cette différence influence principalement la colonisation naturelle des sites après la fin des activités de récolte de la tourbe. Alors que la tourbe de bog demeure dénudée de végétation plusieurs années après la fin des activités de récolte (Poulin et coll. 2005⁷), la tourbe de fen est rapidement colonisée par diverses espèces de plantes. Il s'agit principalement d'espèces de milieux humides, mais pas nécessairement typiques des fens⁸. Cet aspect doit être pris en compte lors de la restauration, notamment pour ajuster la dose des fertilisants, éviter la colonisation d'espèces indésirables, ainsi que pour déterminer le délai entre les opérations de terrassement et de réintroduction des plantes.

L'adaptation de la méthode du transfert du tapis muscinal aux tourbières minérotrophes présente donc des défis à de nombreux niveaux. Le projet de restauration de la tourbière de Bic-Sainte-Fabien est particulièrement ambitieux, puisqu'il est le premier projet de restauration écologique d'une tourbière minérotrophe à grande échelle au Canada. Le développement des connaissances dans le domaine est toutefois primordial, car la plupart des fens ont déjà disparu dans le Québec méridional, en grande partie en raison du drainage agricole des basses terres du Saint-Laurent⁹.

⁷ POULIN, M., ROCHEFORT, L., QUINTY, F., LAVOIE, C. 2005. Spontaneous revegetation of mined peatlands in eastern Canada. *Canadian Journal of Botany* 83: 539-557.

⁸ GRAF, M. D., ROCHEFORT, L., POULIN, M. 2008. Spontaneous revegetation of harvested peatlands of Canada and Minnesota, USA. *Wetlands* 28: 28-39.

⁹ PELLERIN, S., POULIN, M. 2013. Analyse de la situation des milieux humides au Québec et recommandations à des fins de conservation et de gestion durable. Rapport final pour le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec Institut de recherche en biologie végétale et Université Laval, Québec. 104 p.

5. TRAVAUX RÉALISÉS ET OBJECTIFS ATTEINTS

Ce chapitre présente les activités de recherche réalisées dans le cadre du mandat accordé au GRET par le ministère des Transports du Québec (printemps 2012 à hiver 2015). La méthode, les travaux sur le terrain ainsi que les résultats de chacune des activités de recherche sont discutés brièvement. Un effort de synthétisation a été réalisé afin de décrire succinctement les expériences et ne présenter que les renseignements pertinents pour ce rapport.

Les résultats sont tous préliminaires et non publiés (une partie de la propriété intellectuelle appartenant aux étudiants de 2^e et de 3^e cycles) et feront l'objet d'interprétations plus approfondies afin de produire des articles scientifiques. Ainsi, il importe de considérer comme préliminaires les résultats présentés dans ce document et de contacter le GRET pour toute clarification, information ou mise à jour sur les renseignements présentés. Dans le cas de certaines expériences menées à Bic-Sainte-Fabien, plus de détails sur la méthodologie sont fournis dans les protocoles à l'Annexe 1. Lorsque pertinents, les résultats et des recommandations portant sur les activités de recherche décrites dans ce chapitre sont aussi discutés dans le document « Restauration des tourbières minérotrophes – État des connaissances » (Annexe 3).

5.1 Tourbière de Bic-Sainte-Fabien

5.1.1 Propagation des espèces typiques des fens

Avec l'approche par transfert muscinal, les espèces réintroduites sont celles du fen « donneur » où s'est fait le prélèvement, à moins de pouvoir récolter dans plusieurs sites donneurs représentant une variété de fens. Cette dernière situation est vraiment idéale, écologiquement, pour obtenir une grande diversité floristique et génétique. Il faut essayer de le faire lorsque cela est possible. Mais, dans les cas où la diversité d'espèces de fen du site donneur est insuffisante ou que certaines espèces recherchées ne soient pas favorisées par le transfert muscinal, la réintroduction par semis ou par la plantation de plants ou de rhizomes s'impose. Une série d'expériences a cherché à déterminer quelles sont les méthodes de propagation, de transplantation ou d'introduction par semis les plus adéquates pour favoriser le retour de la végétation typique des fens. Ce faisant, nous avons rassemblé des renseignements sur plusieurs espèces cibles de fen concernant leur biologie d'établissement sur tourbe nue.

A) Propagation de plantes vasculaires typiques des fens : stratification et viabilité des semences

Problématique et contexte :

Cooper et MacDonald (2000)¹⁰ ont déterminé que la plantation de plants était une méthode de réintroduction efficace pour plusieurs espèces vasculaires typiques des fens. Cependant, peu de pépinières produisent ce type de plantes de façon commerciale et il est parfois nécessaire d'obtenir des plants pour les besoins spécifiques de la restauration. Des graines peuvent alors être récoltées à proximité du site concerné. Outre les techniques courantes de production de végétaux en serre, il existe peu d'information sur les méthodes de préparation de ce type de semences. L'une des étapes essentielles de la production est la stratification. Cette opération consiste à manipuler les semences de façon à permettre leur germination. En leur faisant subir une période froide, on imite les conditions hivernales trouvées sous nos latitudes, ce qui permet de mettre fin à la dormance des semences et d'enclencher leur germination. Les détails (durée, température) de cette étape de la propagation des espèces est peu documentée malgré son importance cruciale.

Méthodologie :

L'expérience consistait à comparer le succès de germination chez dix espèces communes de fens : *Carex aquatilis*, *C. disperma*, *C. echinata*, *C. flava*, *C. magellanica*, *Eriophorum viridicarinarum*, *Scirpus validus*, *Trichophorum alpinum*, *T. cespitosum* et *Triglochin palustre*. Les résultats de germination des dix espèces ont été évalués en fonction de quatre durées de stratification à 3 °C (0, 50, 75 et 90 jours), ainsi qu'à -4 °C pour *T. alpinum* (stratification de 70 jours). Voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails de la méthodologie.

Résultats préliminaires :

GERMINATION : Le *C. flava* a connu son meilleur taux de germination après 75 jours de stratification, tandis que le *E. viridicarinarum* a bien germé après une stratification de 50 jours. Des temps de stratification de 75 et de 90 jours n'ont engendré aucune différence pour le taux de germination de *S. validus*. Par contre, pour quatre des sept espèces ayant germé (*C. disperma*, *C. magellanica*, *S. validus* et *T. alpinum*), une certaine durée de stratification a été nécessaire (aucune germination sans stratification). Ainsi, *C. flava*, *E. viridicarinarum* et *T. palustre* ont montré une certaine capacité à germer même sans stratification.

VIABILITÉ : En 2013, la viabilité initiale des graines (avant stratification) de six espèces a été évaluée par la méthode de coloration des embryons au tétrazolium. Cet exercice avait pour but de connaître le taux de production maximal espéré pour une espèce puisque les résultats de 2012 étaient très variables. Parmi les espèces pour lesquelles la viabilité des graines a été

¹⁰ COOPER, D.J., MacDONALD, L. H. 2000. Restoration of vegetation of mined peatland in the southern Rocky Mountains of Colorado, U.S.A. Restoration Ecology 8: 103-111.

évaluée, quatre sur six ont obtenu des taux de viabilité supérieurs à 62 % (Tableau 1). Le *C. aquatilis* (taux de 16 %) et le *T. cespitosum* (taux de 38 %) présentaient les graines les moins viables. Il faut noter que deux des espèces avec des taux de germination nul ou très faible présentaient aussi des taux de viabilité faibles. Par contre, dans un cas un particulier (*C. echinata*), le taux de viabilité était le plus élevé (96 %), pourtant cette espèce n'a pas germé, ce qui indique un problème quant aux conditions de stratification.

Tableau 1 Synthèse des tests de stratification et de viabilité des graines. Les taux de germination ont été calculés après 14 jours de croissance.

Espèces	Temps optimal de stratification (jours)	Taux de germination au temps optimal de stratification (%; moyenne \pm erreur-type)	Taux de viabilité (%)
<i>Carex aquatilis</i>	Aucun	1 \pm 1 (après 75 jours)	16
<i>Carex disperma</i>	90	27 \pm 2	88
<i>Carex echinata</i>	Aucun	3 \pm 1 (après 90 jours)	96
<i>Carex flava</i>	75	81 \pm 6	-
<i>Carex magellanicum</i>	90	31 \pm 3	74
<i>Eriophorum viridicarinatum</i>	50	76 \pm 3	-
<i>Scirpus validus</i>	75 ou 90	48 \pm 7	-
<i>Trichophorum alpinum</i> (3 °C)	90	40 \pm 7	-
<i>Trichophorum alpinum</i> (-4 °C)	90	37 \pm 4	-
<i>Trichophorum cespitosum</i>	Aucun	Aucune germination	38
<i>Triglochin palustre</i>	90	87 \pm 1	62

Faits saillants :

- Parmi les espèces ayant germé (7 sur 10), cinq ont montré leur meilleur taux de germination après une stratification de 90 jours à 3 °C.
- Les espèces peuvent être divisées en trois groupes distincts selon leurs taux de germination pour leur durée de stratification optimale :
 - *Carex flava*, *Eriophorum viridicarinatum* et *Triglochin palustris* ont présenté des taux de germination très élevés (> 75 %).
 - À l'opposé, *Carex aquatilis*, *Carex echinata* et *Trichophorum cespitosum* n'ont eu aucune germination ou une germination très faible (< 3 %).
 - (*Carex disperma*, *Carex magellanicum*, *Scirpus validus* et *Trichophorum alpinum*) ont eu des taux de germination intermédiaires compris entre 27 et 48 %.

B) Propagation de plantes vasculaires typiques des fens : semis in situ

Problématique et contexte :

La production en serre de plants voués à la restauration peut être une méthode de propagation efficace, mais elle est aussi très coûteuse. L'utilisation des graines plutôt que de plants déjà matures permet aussi une meilleure représentativité de la diversité génétique régionale, puisque plus de graines peuvent être récoltées de plusieurs colonies¹¹ puis réintroduites sur le site à restaurer. Le GRET tente donc de déterminer si certaines espèces pourraient plutôt être semées directement sur le terrain (semis *in situ*).

Méthodologie :

Une grande quantité de graines récoltées à la fin de l'été et au début de l'automne 2012 a été stratifiée pendant le printemps 2013 en suivant les conditions recommandées par les résultats préliminaires des essais de stratification (voir section précédente 5.1.1. A). Au début de juillet 2013, les graines ont été semées à la volée sur le site, en deux blocs. Quatre inventaires ont été réalisés afin d'évaluer le nombre de plantules dans chacune des parcelles. Voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails de la méthodologie.

Résultats préliminaires :

Des 20 espèces introduites, 13 ont démontré une capacité à germer lorsque semées à la volée sur le terrain (Tableau 2). Il est impossible de déterminer le taux de germination des graines puisque la quantité de graines semées était différente d'un lot à l'autre et qu'il n'était pas possible de les dénombrer.

Tableau 2 Espèces vasculaires introduites *in situ* à Bic-Saint-Fabien en juillet 2013. Celles en gras ont démontré une capacité de germination sur le terrain. Celles suivies d'un astérisque ont produit un nombre de plantules particulièrement élevé.

<i>Calamagrostis canadensis</i>	<i>Conioselinum chinense</i>
<i>Caltha palustris</i>	<i>Drosera rotundifolia</i>
<i>Carex aquatilis</i>	<i>Eriophorum viridicarinum</i>
<i>Carex disperma</i>	<i>Menyanthes trifoliata</i>
<i>Carex echinata</i>*	<i>Parnassia glauca</i>
<i>Carex flava</i>*	<i>Sarracenia purpurea</i>
<i>Carex lasiocarpa</i>	<i>Thalictrum pubescens</i>*
<i>Carex leptalea</i>*	<i>Trichophorum alpinum</i>
<i>Carex magellanica</i>*	<i>Trichophorum cespitosum</i>
<i>Carex prairea</i>*	<i>Triglochin palustre</i>

¹¹ GALATOWITSCH, S. M. 2012. Plants. P. 277-336 (chapitre 8) dans Ecological restoration. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, É.-U.

Faits saillants :

- Le *Carex echinata*, le *C. flava*, le *C. leptalea*, le *C. magellanica*, le *C. prairea* et le *Thalictrum pubescens* sont les espèces ayant produit le plus de plantules.
- Ces espèces pourraient être utilisées pour la réintroduction *in situ*.
- La viabilité à plus long terme des semis *in situ* devra être étudiée.

C) Propagation de bryophytes typiques des fens : production de mousses brunes in situ

Problématique et contexte :

La méthode de restauration par transfert de la couche muscinale nécessite une grande quantité de matériel végétal pour ensemercer les sites à restaurer. Ce matériel végétal peut être difficile (par la rareté des sites) ou coûteux à obtenir à partir de sites donneurs naturels. Le GRET a exploré la possibilité de produire des mousses sur place, en quantité suffisante pour les besoins de restauration. Il s'agit d'adapter la méthode de la culture de sphaignes en bassin développée par le groupe de recherche aux conditions d'une tourbière minérotrophe.

Méthodologie :

Deux stations de culture de mousses brunes ont été implantées à Bic-Sainte-Fabien où trois espèces de bryophytes ont été introduites dans trois bassins : *Campylium stellatum*, *Tomentypnum nitens* et *Scorpidium cossonii*. Deux ans après l'implantation, un inventaire de végétation a été effectué dans le but de connaître l'évolution du couvert muscinal dans les bassins de culture. Voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails de la méthodologie.

Résultats préliminaires :

Après trois saisons de croissance, les bassins de culture de mousses ont atteint un recouvrement moyen de la strate muscinale de 27 % (Figure 4). Les résultats obtenus ont été comparés à ceux d'une expérience de culture de sphaignes du GRET au Nouveau-Brunswick¹². Selon cette étude, le recouvrement moyen des sphaignes, après trois ans de culture, était de 31 %. Bien que les résultats de la culture de mousses brunes obtenus à Bic-Sainte-Fabien soient légèrement inférieurs à cette étude, ces premiers essais de culture de mousses sont de bon augure pour une production de mousses en bassins pour la restauration de tourbières minérotrophes.

L'étude de Pouliot et coll. (2015) sur la culture de sphaignes a aussi permis de déterminer que des niveaux d'eau au-dessus de la surface du sol nuisent considérablement à l'établissement et à la croissance des tapis de bryophytes. En observant le schéma de profondeur de la nappe phréatique et celui du recouvrement des mousses par bassin, on pourrait croire que c'est aussi le cas dans les bassins de culture de mousses brunes, puisque les meilleurs résultats sont associés aux bassins où la nappe phréatique demeure sous le niveau du sol.

¹² POULIOT, R., HUGRON, S., ROCHEFORT, L. 2015. *Sphagnum* farming: A long-term study on producing peat moss biomass sustainably, *Ecological Engineering* 74: 135-147, [http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.007].

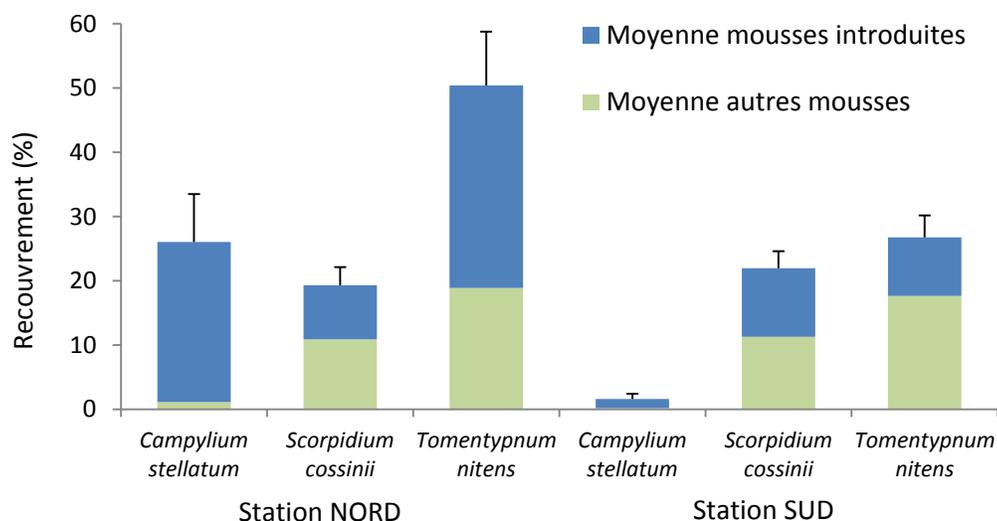


Figure 4 Recouvrement moyen (%) des trois espèces de mousses brunes introduites et des autres mousses ayant colonisé spontanément les bassins de culture à Bic-Saint-Fabien, par bassin et par station de culture, après trois saisons de croissance.

Faits saillants :

- Le *Tomentypnum nitens*, avec les conditions d'hydrologie de la station Nord, a montré le meilleur recouvrement de la strate muscinale totale après trois saisons de croissance (en 2014), soit 50 % de toute la surface du bassin.
- Les résultats de l'expérience s'avèrent très satisfaisants (recouvrement moyen de la strate muscinale de 27 %) et prouvent que la culture de mousses brunes en bassins est une avenue possible pour les trois espèces testées.
- Le contrôle du niveau d'eau dans les bassins serait bénéfique à la croissance des mousses brunes et devrait être envisagé dans le cas de l'aménagement de nouveaux bassins.

D) Détermination du seuil de survie des mousses brunes

Problématique et contexte :

Lors des travaux de restauration, les mousses ne sont pas toujours récoltées immédiatement avant la restauration. Il arrive donc que certains lots soient empilés et entreposés pendant la saison hivernale. Aussi, le GRET entrepose fréquemment des mousses au congélateur en vue de mener des études en serre ou en laboratoire plus tard pendant l'année. Nous ne connaissons toutefois pas quelles sont les conditions et les durées maximales d'entreposage que peuvent tolérer les différentes espèces. L'objectif de cette expérience est de comparer le potentiel de régénération de trois espèces mousses brunes (le *Tomentypnum nitens*, le *Campylium stellatum* et le *Scorpidium cossonii*, les trois espèces les plus abondantes à la tourbière de Bic-Saint-Fabien) à la suite de différents traitements d'entreposage au froid.

Méthodologie :

Deux variables sont prises en compte pour cette étude sur la survie des échantillons de mousses récoltés dans les tourbières de la région de Bic-Saint-Fabien :

- 1) La température d'entreposage (-26 °C, -13 °C et -4 °C);
- 2) La date de récolte des bryophytes (printemps, été, automne).

Tous les spécimens sont, après leur entreposage sous des conditions spécifiques, mis dans des plats de Pétri, puis placés en chambre de croissance pendant dix semaines. L'évaluation de la reprise en fonction de la température et de la récolte est comptabilisée toutes les cinq semaines.

Voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails de la méthodologie.

Résultats attendus :

L'expérience, qui est menée dans le cadre d'un projet d'initiation à la recherche (étudiante en biologie, 1^{er} cycle), est toujours en cours. La prise des données se terminera à la fin de mars et le rapport d'initiation à la recherche de l'étudiante sera produit en avril 2015. Les analyses statistiques auront alors été réalisées, ainsi que l'interprétation des résultats. Les résultats obtenus serviront à améliorer la méthode de restauration développée par le GRET, ainsi qu'à déterminer des méthodes d'entreposage idéales pour les mousses de fens.

5.1.2 Établissement de communautés végétales typiques des fens

Il a été démontré qu'après la fin des activités de récolte de la tourbe, la revégétalisation des tourbières par des espèces typiques de ces milieux ne se fait pas de façon spontanée¹³. La restauration par transfert muscinal peut être une méthode efficace pour rétablir la végétation vasculaire des fens^{14, 15} mais n'assure pas le retour de toutes les espèces. Les bryophytes et certaines herbacées, telles que les *Carex*, peuvent effectivement être récalcitrantes à cette technique¹⁶. Cette section aborde la question de l'état de la revégétalisation de la tourbière à la suite des travaux de restauration, ainsi que les techniques de réintroduction des espèces à privilégier.

¹³ LAVOIE, C., GROSVERNIER, P., GIRARD, M., MARCOUX, K. 2003. Spontaneous revegetation of mined peatlands: an useful restoration tool? *Wetlands Ecology and Management* 11: 97-107.

¹⁴ COBBAERT, D., ROCHEFORT, L., PRICE, J. S. 2004. Experimental restoration of a fen plant community after peat mining. *Applied Vegetation Science* 7: 209-220.

¹⁵ GRAF, M. D., ROCHEFORT, L., POULIN, M. 2008. Spontaneous revegetation of harvested peatlands of Canada and Minnesota, USA. *Wetlands* 28: 28-39.

¹⁶ COOPER, D. J., MacDONALD, L. H. 2000. Restoring vegetation of mined peatlands in the southern Rocky Mountains of Colorado, U.S.A. *Restoration Ecology* 8: 103-111.

A) Évaluation de la survie des plantations

Problématique et contexte :

Il a été déterminé que l'introduction de plants d'espèces vasculaires est une technique efficace de rétablissement des communautés végétales dans le cadre de travaux de restauration^{17,18}. En raison des coûts élevés associés à cette technique, il importe toutefois de savoir quelles espèces performant le mieux et dans quelles conditions. Dans le cas des fens, il n'existe que peu d'information technique sur les plantations, le taux de succès prévu et les espèces à privilégier. Le GRET a donc réalisé une expérience visant à combler ces lacunes pour les espèces trouvées à Bic-Sainte-Fabien et à identifier celles qui devraient être réintroduites par plantation.

Méthodologie :

En 2010, 13 espèces de plantes vasculaires indigènes de fen produites à partir de graines récoltées dans la région ont été introduites à Bic-Sainte-Fabien. Les plantations ont été effectuées dans trois secteurs dispersés dans la tourbière, pour un total de 63 unités de plantations. Les conditions abiotiques (pH, conductivité électrique, température, humidité du sol) de ces secteurs sont mesurées. Depuis 2011, un suivi annuel de l'état de santé et du taux de mortalité au sein des unités de plantations de ces plantations est réalisé.

Voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails de la méthodologie.

Résultats préliminaires :

Les mesures des conditions abiotiques révèlent que du point de vue microclimatique, les secteurs A et B sont semblables, tandis que le secteur C est plus sec. On suppose que les résultats d'établissement des espèces plantées pourraient être liés à ces conditions. Il est donc possible de lier des espèces avec certaines conditions où elles performant le mieux. Les résultats d'établissement des espèces par rapport aux conditions abiotiques sont présentés au Tableau 3.

¹⁷ GALATOWITSCH, S. M. 2012. Ecological restoration. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, É.-U.

¹⁸ COOPER, D. J., MacDONALD, L.H. 2000. Restoration of vegetation of mined peatland in the southern Rocky Mountains of Colorado, U.S.A. Restoration Ecology 8: 103-111.

Tableau 3 Résultat d'établissement (2010 à 2014) des espèces introduites à Bic-Saint-Fabien, en fonction des conditions d'humidité.

Espèce	Résultat d'établissement
<i>Aster</i> sp.	Échec (toutes conditions)
<i>Carex aquatilis</i>	Succès; devient rapidement envahissant en conditions plus humides.
<i>Carex flava</i>	Succès en conditions plus sèches; échec en conditions plus humides, où il est très sensible au soulèvement gélival. Dans les secteurs soulevés, les plants semblaient toutefois présenter une reprise en 2015.
<i>Carex leptalea</i>	Échec (toutes conditions)
<i>Carex magellanica</i>	Échec (toutes conditions)
<i>Carex prairea</i>	Succès en conditions plus sèches; échec en conditions plus humides.
<i>Carex retrorsa</i>	Échec (toutes conditions)
<i>Carex rostrata</i>	Succès variable selon les conditions.
<i>Iris versicolor</i>	Succès en conditions plus sèches.
<i>Lobelia kalmii</i>	Succès; difficile au début puis reprise après 2 ans.
<i>Solidago uliginosa</i>	Succès en conditions plus humides; échec en conditions plus sèches.
<i>Trichophorum alpinum</i>	Succès (toutes conditions)
<i>Trichophorum cespitosum</i>	Succès en conditions plus sèches; échec en conditions plus humides.

Par ailleurs, des arbustes (*Sanguisorba canadensis*, *Spirea latifolia* et *Myrica gale*) ont aussi été plantés afin de stabiliser les andains¹⁹ construits lors de la restauration. Les résultats de ces introductions sont toutefois peu concluants. Les arbustes n'ont en effet pas réussi à s'établir sur les andains où ils ont été introduits. La porosité des andains (le matériel remanié y demeure relativement meuble), leur tendance à sécher plus rapidement et leur exposition au vent et au gel pendant l'hiver (certains andains sont balayés par le vent et ne sont donc pas couverts de neige pendant la période hivernale) expliquent probablement l'incapacité des arbustes à s'établir sur les andains.

¹⁹ Les andains sont des digues d'environ 50 cm de hauteur sur 1 m de largeur utilisées pour assurer la distribution uniforme de l'eau dans la tourbière. Ils sont normalement construits de façon à retenir l'eau dans certains secteurs et pour limiter l'érosion dans d'autres.

Faits saillants :

- Il est possible de déterminer le type de milieu (selon les conditions abiotiques) où certaines espèces introduites auront le plus de chance de survie. Il serait donc envisageable de « prescrire » des espèces précises en fonction des conditions prévalant dans les tourbières lors de l'élaboration des plans de restauration.
- Les arbustes ne survivent pas lorsqu'introduits sur les andains, probablement parce que les conditions (température, humidité ou sécheresse...) y sont trop extrêmes.

B) Établissement de communautés végétales de fen après la réintroduction de matériel par transfert muscinal

Problématique et contexte :

Lors des travaux de restauration à la tourbière de Bic-Saint-Fabien, quatre variantes de la méthode par transfert muscinal ont été utilisées en fonction des conditions initiales de végétation et des contraintes techniques. Cette expérience vise donc à déterminer l'effet de l'utilisation de chacune de ces techniques sur l'établissement des communautés végétales. Les parcelles étudiées seront d'ailleurs incluses au suivi pancanadien à long terme des tourbières restaurées²⁰ qui est mené par le GRET depuis près d'une vingtaine d'années.

Méthodologie :

Dans l'ensemble de la tourbière, le niveau de l'eau a été considérablement remonté en bloquant les canaux de drainage et par la construction d'andains. Cinq ans après la restauration, des inventaires de végétation ont été réalisés dans 18 parcelles distribuées dans les quatre secteurs restaurés selon des variantes de la méthode de transfert muscinal (Tableau 4). La méthode de suivi utilise le protocole d'inventaire de la végétation des parcelles permanentes, développé par le GRET pour le suivi pancanadien des tourbières restaurées, présenté à l'Annexe 1. L'effort d'échantillonnage (le nombre de parcelles de 5 m par 5 m par traitement) est également présenté au Tableau 4. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux d'inventaires similaires menés dans la tourbière naturelle adjacente ainsi qu'au site d'où provient le matériel utilisé lors de la restauration.

Résultats préliminaires :

VASCULAIRES : Cinq ans après les travaux de restauration, le couvert de végétation le plus abondant se trouve dans le secteur remouillé sans introduction alors que les couverts les moins importants sont observés dans les secteurs de restauration mécanisée et nivelés seulement (Figure 5). Le recouvrement en plantes vasculaires du secteur restauré à la main est quant à lui intermédiaire. Le Tableau 5 présente le recouvrement des espèces les plus abondantes dans les différents secteurs (incluant le site d'emprunt ou écosystème de référence). Certaines espèces de cypéracées présentes dans le site d'emprunt du matériel végétal ne s'établissent pas dans les sites restaurés (Tableau 5).

²⁰ Le suivi pancanadien des tourbières restaurées est un suivi réalisé par le GRET sur tous les sites restaurés par l'industrie de la tourbe selon la méthode de restauration élaborée par le groupe de recherche. Des données sur les caractéristiques des tourbières et le rétablissement de la végétation sont recueillies annuellement selon un protocole précis, présenté à l'annexe 1. Au total, plus de 500 parcelles permanentes installées dans 5 provinces canadiennes sont inventoriées dans le cadre de ce suivi et ce, depuis près de 20 ans. Les banques de données mises sur pieds dans le cadre du suivi ont donné lieu à plusieurs projet de recherche et publications, dont: GONZÁLEZ, E., ROCHEFORT, L. 2014. Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. *Ecological Engineering* 68: 279-290.

Tableau 4 Distribution des 18 parcelles d'inventaire de végétation selon les méthodes de restauration à Bic-Saint-Fabien.

Secteur	Description de la méthode de restauration	Superficie (ha)	Nb de parcelles d'inventaire
Restauration mécanisée	Surface rafraîchie puis recouverte mécaniquement de matériel végétal et de paille	2,15	5
Restauration à la main	Surface rafraîchie puis recouverte à la main de matériel végétal et de paille	0,15	2
Nivelé seulement	Surface rafraîchie sans aucune introduction de matériel végétal	3,55	5
Secteur remouillé seulement	Surface non rafraîchie sans introduction de matériel végétal. La portance du sol ne permettait pas le passage de la machinerie.	4,85	5

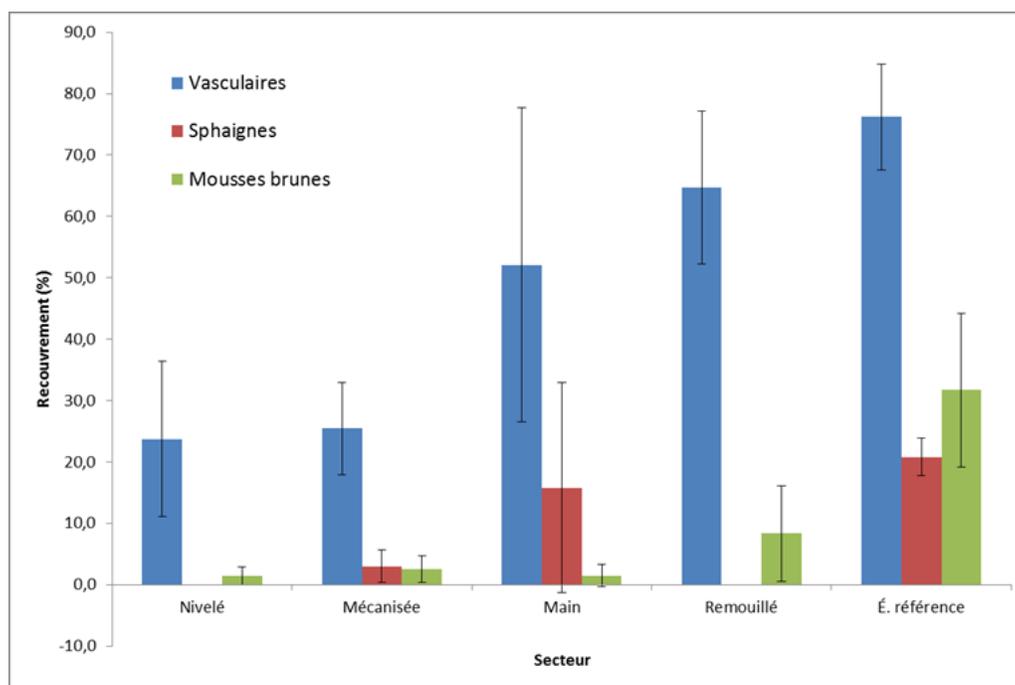


Figure 5 Résultats des inventaires de végétation selon les types de végétation (plantes vasculaires, sphaignes et mousses brunes) et la méthode de restauration à Bic-Saint-Fabien, cinq ans après la restauration (2014).

BRYOPHYTES : Le recouvrement des mousses brunes et des sphaignes est très faible dans tous les secteurs restaurés (moins de 10 % en moyenne), sauf dans le secteur restauré à la main (près de 20 %; Figure 5). Dans tous les cas, ces recouvrements sont beaucoup plus faibles que dans l'écosystème de référence (site d'emprunt), où le recouvrement est supérieur à 40 %. On observe également que la composition en espèces des sites restaurés diffère du site d'emprunt (Tableau 5).

Tableau 5 Recouvrement moyen (%) des espèces les plus abondantes des différents secteurs de la tourbière de Bic-Saint-Fabien selon la méthode de restauration, ainsi que dans le site d'emprunt, cinq ans après la restauration.

Espèces dominantes	Site emprunt	Restauration		Nivelé sans introduction
		Mécanisée	À la main	
Vasculaires :				
Total vasculaires	59	23	52	24
<i>Carex aquatilis</i>	4	0	0	10
<i>Carex lasiocarpa</i>	7	0	0	0
<i>Carex flava</i>	5	>1	0	0
<i>Eriophorum vaginatum</i>	0	0	35	4
<i>Myrica gale</i>	9	6	5	>1
<i>Sanguisorba canadensis</i>	7	5	4	>1
<i>Scirpus validus</i>	5	0	0	0
<i>Trichophorum alpinum</i>	19	6	0	>1
Invasculaires :				
Total invasculaires	71	6	19	2
<i>Campylium stellatum</i>	18	0	0	0
<i>Climacium dendroides</i>	5	0	0	0
<i>Sphagnum fuscum</i>	5	0	0	0
<i>Sphagnum teres</i>	8	0	12	0
<i>Wamstorfia</i> sp.	24	0	0	0

Faits saillants :

- Le recouvrement de la végétation à la tourbière restaurée de Bic-Saint-Fabien demeure largement inférieur à celui observé dans la tourbière naturelle adjacente.
- Les recouvrements des secteurs restaurés mécaniquement et nivelés sans introduction présentent des taux de couvert végétal semblables. La

composition en espèces est toutefois drastiquement différente entre les deux secteurs.

- Contrairement au site nivelé sans introduction de végétation, le secteur restauré mécaniquement est dominé par des espèces de plantes vasculaires qui étaient abondantes de façon importante dans le site d'emprunt.
- Plus de recherches sont nécessaires afin de comprendre pourquoi la mécanisation de la technique du transfert du tapis muscinal ne permet pas l'établissement des mousses brunes dans le site restauré.

C) Compétition entre les espèces et biodiversité

Problématique et contexte :

À la suite du remouillage de la tourbière de Bic-Saint-Fabien à la fin des travaux de restauration, plusieurs espèces se sont établies spontanément. Parmi celles-ci figurent le *Scirpus cyperinus* et l'*Equisetum arvense*, des espèces qui y sont considérées envahissantes. Le GRET a mis en place d'une expérience visant deux objectifs : 1) comprendre le phénomène de compétition entre les espèces envahissantes et celles typiques des fens (*Calamagrostis canadensis*, *Carex flava* et *Scirpus acutus*), 2) évaluer si la plantation de ces espèces entraîne des effets positifs sur la biodiversité (par l'introduction d'espèces et la colonisation spontanée).

Méthodologie :

Les parcelles expérimentales ont été mises en place de juin à août 2011 (Figure 6). Dans l'ensemble, 32 parcelles de 2 m x 2 m ont été délimitées dans des secteurs de végétation homogène et où peu d'espèces étaient présentes, à l'exception des espèces envahissantes visées par l'expérience (*Equisetum arvense*, *Scirpus cyperinus* et *Typha latifolia*). La moitié de chacune des parcelles a été végétalisée par la plantation de plants d'espèces indigènes de fens. Trois ans plus tard (2014), des inventaires de recouvrement des espèces (introduites, envahissantes et introduites spontanément) ont été conduits. Voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails de la méthodologie.



Figure 6 Inventaire d'une parcelle expérimentale sur la compétition entre des espèces envahissantes et les espèces typiques des fens à Bic-Saint-Fabien.

Résultats préliminaires :

L'analyse des résultats a montré qu'il existe une très grande variabilité entre les parcelles de cette expérience. Par exemple, malgré une densité de plantation similaire dans toutes les parcelles, le recouvrement du *C. flava* après trois saisons de croissance variait de 0 à 70 %. De façon similaire, le recouvrement de *C. canadensis* variait de 3 à 35 %. D'autre part, l'introduction de *S. acutus* (afin de compétitionner avec le *S. cyperinus*) a été un échec (recouvrement moyen de 4 %, minimum = 0 % et maximum = 15 %).

Des analyses plus poussées ont été réalisées pour les plantations de *C. flava* et *C. canadensis* en compétition avec le *E. arvense*. Dans ce cas, on n'a observé aucune variation du couvert de l'espèce indésirable, malgré un recouvrement des espèces typiques de fens environ 17 ± 12 % plus élevé (moyenne \pm erreur-type) dans les parcelles avec plantations. Ni la densité initiale de *E. arvense*, ni l'espèce plantée n'ont influencé significativement les résultats.

Faits saillants :

- L'établissement des espèces typiques des fens a été très variable d'une parcelle à une autre ce qui complique l'interprétation des résultats.
- La plantation de *Carex flava* et de *C. canadensis* n'a pas permis de faire diminuer l'abondance de *E. arvense*, ni d'augmenter la biodiversité dans les parcelles avec plantations.

D) Influence des cypéracées sur l'implantation et la survie des mousses

Problématique et contexte :

La présence des plantes vasculaires herbacées au-dessus de la strate muscinale peut avoir une influence considérable sur l'établissement, la croissance ou la survie des mousses. D'un côté, les plantes herbacées peuvent créer un microclimat plus favorable à la croissance des mousses en diminuant les variations de température et d'humidité relative en plus de stabiliser le sol par leur système racinaire et de fournir un niveau d'ombre optimal. Par contre, à partir d'un certain seuil, l'ombre créée par les plantes herbacées et l'augmentation de la litière produite peuvent nuire à la croissance des mousses et éventuellement les faire disparaître. Le but de cette expérience était donc d'évaluer l'influence des cypéracées sur l'établissement des mousses dans un contexte d'établissement de communautés végétales typiques des fens lors de travaux de restauration.

Méthodologie :

Une expérience a été mise en place en juin 2012 à Bic-Saint-Fabien et les premiers inventaires ont été réalisés en 2014. Un mélange composé d'une proportion égale de quatre espèces de mousses (*Campylium stellatum*, *Scorpidium cossonii*, *Sphagnum warnstorffii* et *Tomentypnum nitens*) a été introduit sous des couverts bien établis de cypéracées (*Carex aquatilis*, *C. flava* et *Trichophorum alpinum*) pour un total de neuf parcelles. Neuf autres parcelles sans traitement (parcelles témoins : introduction de mousses sans couvert de cypéracées) ont été installées à proximité (conditions similaires). Une estimation du recouvrement des mousses et des cypéracées a été faite. De plus, la température et l'humidité relative ont été mesurées sous le couvert des cypéracées. Voir le protocole à l'Annexe 1 pour plus de détails.

Résultats préliminaires :

L'analyse des données des capteurs de température et d'humidité relative a démontré que, durant le jour, comparativement aux parcelles sans couvert de cypéracées, la température était légèrement plus élevée à la surface du tapis de mousses sous des couverts de *C. flava* et de *T. alpinum*, mais que l'humidité relative y était aussi un peu plus élevée. Les courbes de température étaient plutôt similaires durant la nuit. Par contre, à la surface des mousses sous un couvert de *C. aquatilis*, la température était plus haute et l'humidité relative plus basse (ou équivalente) durant le jour (aussi durant la nuit pour l'humidité relative). Ces conclusions sont reflétées à Figure 7 (un exemple pour chaque traitement, tous dans le même bloc).

Le recouvrement de la strate muscinale est influencé par les cypéracées. Pour les deux espèces de *Carex*, le tapis de mousses s'est plus développé lorsqu'il n'y avait pas de cypéracées, mais il n'y a pas eu d'effet des cypéracées sous un couvert de *T. alpinum*. Même si les espèces de mousses ont été réintroduites en proportions égales, leur recouvrement respectif n'a pas évolué de la même manière. Ainsi, le *C. stellatum* était l'espèce la plus abondante lors

de l'estimation des couverts, suivi dans l'ordre de *S. warnstorffii* et de *T. nitens* (*S. cossonii* avait presque entièrement disparu). Le recouvrement de *C. stellatum* était influencé par l'espèce de cypéacée (plus développé sous un couvert de *C. flava*) et par la présence ou non d'un couvert de cypéacées (plus développé sans cypéacée). La présence des deux espèces de *Carex* a diminué le recouvrement de *S. warnstorffii*, mais la présence de *T. alpinum* l'a favorisé. Le *T. nitens* était plus développé sans couvert de cypéacées, peu importe les espèces. Les résultats préliminaires sont présentés à la Figure 8.

Faits saillants :

- La présence de cypéacées nuit à l'établissement des bryophytes, sauf pour *Sphagnum warnstorffii* qui a semblé profiter de la présence du *Trichophorum alpinum*.
- Les conditions abiotiques semblent légèrement adaptées aux mousses (plus chaud et plus humide) sous un couvert de *Carex flava* ou de *T. alpinum*.
- Il faudrait éviter l'introduction des mousses sous les grosses cypéacées comme le *Carex aquatilis* (grandes tiges, beaucoup de litières).
- Sous de plus petites espèces comme le *C. flava* et le *T. alpinum*, les chances de succès sont meilleures (ou du moins, les mousses survivent mieux), mais les couverts de cypéacées ne doivent pas être trop grands.

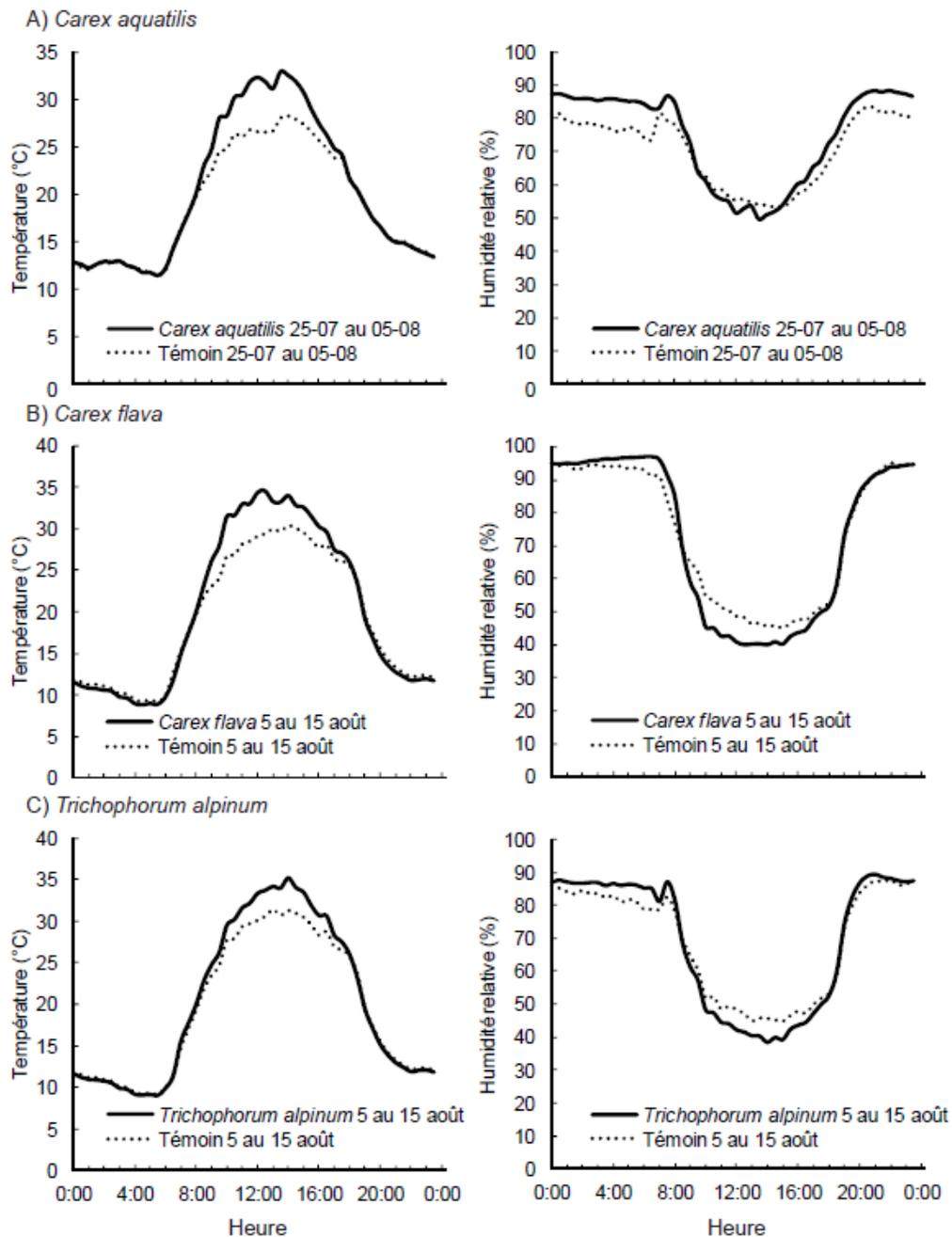


Figure 7 Variations de la température et de l'humidité relative au niveau du tapis de mousses durant une période de 24 heures sous un couvert de : A) *Carex aquatilis*, B) *Carex flava* et C) *Trichophorum alpinum* (à Bic-Saint-Fabien). Les données sont représentées pour un des trois blocs, mais les résultats étaient similaires pour l'ensemble des blocs.

RAPPORT FINAL - RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES DE BIC-SAINTE-FABIEN
ET DE SAINT-FABIEN-SUR-MER DANS LE BAS-SAINTE-LAURENT

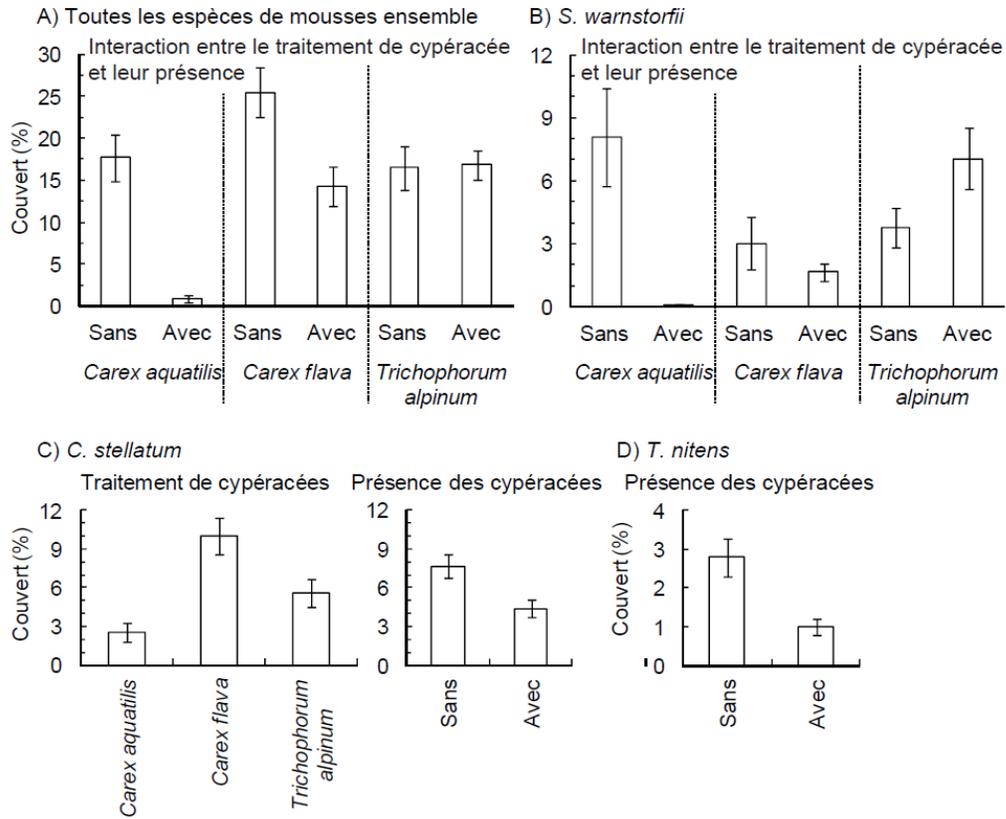


Figure 8 Effet de la présence des cypéracées sur le couvert (moyenne \pm erreur-type) des mousses. A) Pour toutes les espèces de mousses réunies, B) pour *Sphagnum warnstorffii*, C) pour *Campyllum stellatum* et D) pour *Tomentypnum nitens* (à Bic-Saint-Fabien).

E) Fertilisation et chaulage des zones restaurées

Problématique et contexte :

La tourbière de Bic-Saint-Fabien a été restaurée en décembre 2009. Plusieurs variantes de la méthode de restauration par transfert muscinal ont été testées, dont l'épandage de matériel avec paille (sur 1,95 ha) et sans paille (sur 0,2 ha). Un secteur a aussi été restauré à la main (0,15 ha) en mai 2010, avec paille. Contrairement à ce qui est recommandé pour les tourbières à sphaignes, aucune fertilisation n'a eu lieu sur le site, car il a été présumé que le pH et la conductivité électrique plus élevés de la tourbe résiduelle du fen rendraient la recolonisation plus facile.

Il s'est toutefois avéré que les résultats de la restauration étaient hétérogènes et que le retour de la végétation était inégal par endroits à Bic-Saint-Fabien. Le soulèvement gélival a été un frein important à l'établissement des plantes dans les secteurs restaurés.

Pour les tourbières ombrotrophes, la fertilisation phosphatée qui suit les étapes de restauration permet l'établissement rapide du *Polytrichum strictum*, une bryophyte qui permet de stabiliser la tourbe^{21,22}. Le chaulage a déjà été utilisé dans des projets de restauration afin d'augmenter le pH, espérant rendre le phosphore plus disponible aux plantes colonisatrices (Emond 2013²³). Ainsi, le but de cette expérience est d'étudier l'effet de deux types d'amendements (fertilisation et chaulage) sur le recouvrement des plantes dans les secteurs restaurés de BSF.

Méthodologie :

Trois amendements ont été testés :

- 1) chaux (15 g/m²);
- 2) roche phosphatée (RP) (25 g/m²);
- 3) témoin : absence de fertilisation;

dans trois secteurs restaurés : 1) restauration mécanisée sans paille, 2) mécanisée avec paille et 3) à la main). L'expérience comporte trois répétitions. Voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails de la méthodologie.

²¹ GROENEVELD, E. V. G., MASSÉ, A., ROCHEFORT, L. 2007. *Polytrichum strictum* as a nurse-plant in peatland restoration. . Restoration Ecology 15(4): 709-719.

²² SOTTOCORNOLA, M., BOUDREAU, S., ROCHEFORT, L. 2007. Peat bog restoration: Effects of phosphorus on plant re-establishment. Ecological Engineering 31: 29-40.

²³ EMOND, C. 2013. Réhabilitation de tourbières industrielles contaminées par l'eau salée : végétation de marais salés et amendements. Mémoire de M. Sc., Département de phytologie, Université Laval, Québec. 59 p.

Résultats préliminaires :

Le recouvrement de la végétation est 1,8 fois plus important dans les secteurs qui ont reçu une fertilisation phosphatée, comparativement aux secteurs chaulés ou sans fertilisation (Figure 9). Cette augmentation du couvert est observée autant pour les plantes vasculaires que pour les mousses. L'effet de la fertilisation phosphatée était particulièrement marqué dans la zone de restauration mécanique sans paille. L'ajout de phosphore a favorisé particulièrement la croissance de *Bryum pseudotriquetrum*, peu importe le secteur.

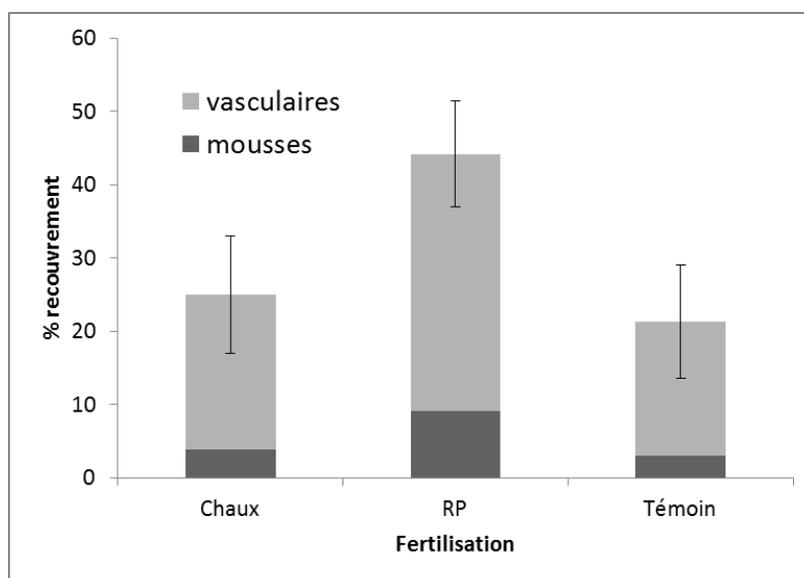


Figure 9 Effet de la fertilisation sur le couvert de végétation (moyenne \pm écart-type) à Bic-Saint-Fabien. Trois traitements de fertilisation ont été testés : 1) chaux (15 g/m^2), 2) RP : roche phosphatée (25 g/m^2) et 3) témoin : absence de fertilisation.

Faits saillants :

- La fertilisation phosphatée favorise l'établissement des plantes vasculaires et des mousses dans les secteurs restaurés.
- Le chaulage n'a aucun effet sur l'établissement de la végétation.

5.1.3 Rétablissement d'un régime hydrologique approprié

A) Bilan hydrique du site restauré

Problématique et contexte :

Lors des travaux de restauration de la tourbière de Bic-Saint-Fabien en 2009, les canaux de drainage (tracés vers 1970 pour permettre la récolte de tourbe) ont été bloqués (Figure 10) afin de permettre la remontée du niveau de l'eau (remouillage). Les pentes du site ont aussi été atténuées à l'aide d'un réseau d'andains de façon à reconfigurer les patrons de circulation et de rétention d'eau en surface. Si ces méthodes sont celles recommandées pour le remouillage des bogs^{24, 25}, elles n'avaient toutefois pas encore été expérimentées pour le rétablissement de l'hydrologie des fens. Dans les tourbières en restauration, la disponibilité en eau peut contrôler la recolonisation par les bryophytes²⁶ et les plantes vasculaires et peut avoir un effet sur le phénomène de soulèvement gélique^{27,28}. Les flux des gaz à effet de serre sont aussi étroitement liés à la position de la nappe phréatique²⁹. Il importe donc de savoir si la méthode de rétablissement de l'hydrologie utilisée (création d'andains, blocage des canaux de drainage) est adaptée à la restauration des fens.

Méthodologie :

Chaque été, depuis 2008, des analyses chimiques de l'eau (mensuellement) ainsi que des mesures du niveau d'eau (hebdomadairement) sont réalisées dans 46 stations d'échantillonnage réparties sur l'ensemble de la tourbière, ainsi que dans la tourbière naturelle adjacente. Des mesures de contenu en eau du sol ont aussi été prises pendant l'année 2011.

²⁴ QUINTY, F., ROCHEFORT, L. 2003. Guide de restauration des tourbières, 2^e éd. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec. 119 p.

²⁵ LANDRY, J., ROCHEFORT, L. 2011. Le drainage des tourbières : impacts et techniques de remouillage. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec, 53 p.

²⁶ CAMPEAU, S., ROCHEFORT, L., PRICE, J. S. 2004. On the use of shallow basins to restore cutover peatlands: Plant establishment. *Restoration Ecology* 12(4): 471-482.

²⁷ GROENEVELD, E. 2002. Le *Polytrichum strictum* comme stabilisateur de substrat et plant compagne pour les sphaignes dans la restauration des tourbières exploitées par aspirateur. Mémoire de maîtrise, Département de Phytologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec.

²⁸ GROENEVELD, E., ROCHEFORT, L. 2005. *Polytrichum strictum* as a solution to frost heaving in disturbed ecosystems: a case study with milled peatlands. *Restoration Ecology* 13: 74-82.

²⁹ WADDINGTON, J. M., PRICE, J. S. 2000. Effect of peatland drainage, harvesting, and restoration on atmospheric water and carbon exchange. *Physical Geography* 21: 433-451.



Figure 10 Rétablissement de l'hydrologie à la tourbière de Bic-Saint-Fabien. À gauche : blocage initial des canaux de drainage en mars 2010. À droite : construction de barrages afin de bloquer l'eau des canaux de drainage en juillet 2010.

Résultats préliminaires :

Selon les données d'hydrologie analysées par l'étudiante-chercheuse Shannon Malloy dans le cadre de son mémoire de maîtrise³⁰, les méthodes de remouillage utilisées à Bic-Saint-Fabien ont permis de faire monter le niveau d'eau dans la tourbière restaurée tout en diminuant les variations de celui-ci. Dans les bases de données analysées par Mme Malloy, la différence moyenne de position de la nappe phréatique (distance à la surface du sol) entre les secteurs restaurés et non restaurés était de 17 cm avant la restauration et de 2,2 cm après. La poursuite de la prise de données d'hydrologie à long terme permettra de suivre les changements du régime hydrique dans la tourbière.

Faits saillants :

- Entre 2008 et 2011, la restauration a permis de remonter le niveau de la nappe phréatique et d'en atténuer les variations intrasaisonniers dans le secteur restauré.
- L'utilisation des andains et le blocage des canaux de drainage sont des méthodes efficaces de restauration de l'hydrologie des fens.

³⁰ MALLOY, S., PRICE, J. S. 2014. Fen restoration on a bog harvested down to sedge peat: A hydrological assessment. *Ecological Engineering* 64: 151-160, [En ligne] [<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.015>]

B) Contrôle de l'érosion

Problématique et contexte :

L'un des problèmes rencontrés lors de la restauration des tourbières et tout particulièrement celle des fens est l'érosion du substrat récemment nivelé^{31,32} et remouillé. Comme les fens reçoivent des apports en eau non seulement par les précipitations, mais aussi par le milieu environnant, le ruissellement peut y être important, surtout lorsque le terrain comprend des zones de pentes fortes. Lors des travaux de restauration de la tourbière de Bic-Saint-Fabien, des andains ont été construits de façon à suivre les contours topographiques et former des terrasses afin de distribuer également l'eau dans la tourbière, tout en créant des obstacles visant à ralentir sa circulation à travers la tourbière. L'utilisation des andains s'est révélée une méthode très efficace de remouillage³³ (voir section 5.1.3 A). Toutefois, quelques andains ont cédé lors des premiers dégels printaniers, entraînant des problèmes de nature, de taille et d'importance diverses.

Méthodologie :

Pendant l'été 2012, un système d'évaluation et de suivi des secteurs d'érosion a été élaboré. Au total, 27 sites à problèmes ont été décrits et évalués. Des actions de correction ont été entreprises en utilisant quatre techniques principales inspirées de l'éco-ingénierie. Les sites ont été évalués à nouveau après un et deux ans pour déterminer le succès ou l'échec des interventions. Les quatre techniques utilisées sont (Figure 11) :

- La plantation d'herbacées (*Carex flava* et *Carex aquatilis*) en amont et en aval de la zone érodée;
- L'installation de boudins de bois raméal fragmenté couvert de jute (normalement utilisés pour la filtration des eaux sur les chantiers de construction);
- L'introduction de fagots végétaux (construits en attachant des branches cueillies dans la tourbière). Espèces testées : *Spirea latifolia* et *Salix* sp.;
- L'introduction de boutures d'arbustes, à la verticale. Espèce testée : *Myrica gale*.

³¹ MALLOY, S., PRICE, J. S. 2014. Fen restoration on a bog harvested down to sedge peat: A hydrological assessment. *Ecological Engineering* 64: 151-160, [En ligne] [<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.015>]

³² GRAF, M. D., BÉRUBÉ, V., ROCHEFORT, L. 2012. Restoration of peatlands after peat extraction: Impacts, restoration goals, and techniques. P. 259-280 dans Vitt, D. H. & J. S. Bhatti (éd.), *Restoration and Reclamation of Boreal Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

³³ MALLOY, S., PRICE, J. S. 2014. Fen restoration on a bog harvested down to sedge peat: A hydrological assessment. *Ecological Engineering* 64: 151-160, [En ligne] [<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.015>]



Figure 11 Méthodes de contrôle de l'érosion utilisées à Bic-Saint-Fabien. En haut, à gauche : plantations d'herbacées. En haut, à droite : boudins de bois raméal fragmenté. En bas, à gauche : fagots d'arbustes. En bas, à droite : boutures d'arbustes.

Résultats :

Des 27 sites identifiés en 2012 et corrigés, seuls huit ont nécessité des actions supplémentaires après un an et aucune autre correction additionnelle n'a été requise après deux ans. De nouveaux secteurs à problèmes ont toutefois été identifiés et les anciens devront faire l'objet d'un suivi attentif dans les prochaines années. Voici les observations générales issues de ces travaux :

- Plantation d'herbacées : Les populations s'établissent difficilement en raison du ruissellement et du soulèvement gélival (surtout le *C. flava*). Méthode à utiliser à titre préventif ou dans les secteurs où le ruissellement n'est pas trop important (incision du matériel < 10 cm de profondeur). Privilégier le *Carex aquatilis* (plante robuste, qui s'implante bien en milieu humide) ou tester d'autres espèces.
- Boudins de bois raméal fragmenté : Les boudins colmatent les brèches dans les andains et les renforcent efficacement. Toutefois, leur effet est

temporaire (une ou deux saisons au maximum avant de se désintégrer) : ils ne permettent donc pas à eux seuls de régler les problèmes d'érosion. En les utilisant avec d'autres techniques (notamment de végétalisation), ils deviennent toutefois beaucoup plus efficaces, puisque les végétaux ont le temps de bien s'établir avant la désintégration des boudins pour stabiliser le sol et empêcher l'érosion autour et sous les boudins.

- Fagots de végétaux : Utilisés dans les secteurs où le ruissellement est causé par la pente ou pour colmater les brèches des andains. Les fagots permettraient de réintroduire des espèces tout en stabilisant le sol. Ainsi, le *Spirea latifolia* et le *Salix* sp. ont permis de créer des obstacles empêchant l'eau qui s'écoule rapidement d'inciser la surface de la tourbière. Ils ont aussi été utilisés avec succès afin de stabiliser le bas d'andains fragiles, parfois où des boudins avaient été installés. La spirée a démontré des résultats particulièrement probants, alors que le saule a démontré parfois moins de vigueur et une reprise plus difficile. La période de récolte des tiges pourrait être en cause.
- Introduction d'arbustes : Les introductions d'arbustes visent à créer des obstacles ralentissant l'eau et à la faire circuler horizontalement plutôt qu'en circulant rapidement en incisant la surface du sol. Cette méthode a été évaluée dans des secteurs où les incisions sont peu profondes (< 10 cm) et où les problèmes d'érosion concernaient plutôt la déposition de matériel dans la zone située en aval. Les introductions de myrique démontrent des résultats variables. Après une première année, les plants semblaient majoritairement morts. Toutefois, une reprise a été notée pendant la deuxième année. Un suivi devrait être effectué dans le futur. Des tests sur la période idéale d'introduction des plants devraient aussi être réalisés. Par ailleurs, les lisières d'arbustes ont bien rempli leur fonction et ralenti la circulation rapide de l'eau.

Faits saillants :

- La fabrication et l'utilisation des fagots d'arbustes indigènes afin de contrer les problèmes d'érosion présentent des résultats très concluants. Cette technique devrait être intégrée aux travaux de restauration; ils pourraient être installés dès les travaux de restauration initiaux dans certains endroits où une plus grande quantité d'eau circule.
- Une fois peaufinée, la méthode utilisant des boutures de myrique baumier pourrait être prometteuse pour stabiliser le sol, sédimenter le matériel et ralentir l'eau en circulation.

5.1.4 Retour de la fonction d'accumulation de carbone

Problématique et contexte :

L'un des objectifs principaux de la restauration des tourbières est le rétablissement de la capacité de stockage du carbone dans la tourbière. Dans cette optique, l'équipe de Mme Maria Strack, collaboratrice du GRET de l'Université de Calgary, s'intéresse aux échanges de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) dans les tourbières restaurées, abandonnées après la récolte de la tourbe et naturelles. Dans le cadre de son projet de maîtrise, l'étudiante-chercheuse Golnoush Hassanpour Fard a caractérisé la balance de carbone au site de Bic-Saint-Fabien. Elle a aussi étudié l'effet de différentes communautés végétales de fen sur les échanges gazeux dans la tourbière.

Méthodologie :

Pendant les étés 2011 et 2012, Mme Hassanpour Fard a mesuré les flux de gaz à effet de serre dans différentes communautés végétales à Bic-Saint-Fabien. Ces communautés différaient en termes d'espèces (monocultures), de nombre de taxons (polycultures) et de types d'assemblages (interaction entre les espèces des polycultures).

Résultats préliminaires (articles scientifiques en préparation) :

Les résultats des recherches de Mme Hassanpour Fard³⁴ démontrent que la diversité végétale n'aurait pas d'effet sur la capacité de stockage du carbone. Par contre, certaines espèces auraient la capacité de faire basculer les bilans vers des captures du carbone plutôt que d'émettre des gaz à effet de serre. Mme Hassanpour Fard a mesuré les émissions moyennes de huit espèces végétales typiques (vasculaires et muscinales) des fens qui ont été cultivées en monocultures. Les espèces utilisées étaient le *Carex aquatilis*, le *Calamagrostis canadensis*, le *Campylopusium stellatum*, le *Sphagnum warnstorffii*, le *Trichophorum alpinum*, le *Trichophorum cespitosum*, le *Tomentypnum nitens* et le *Myrica gale*. Parmi celles-ci, seul le *Carex aquatilis* démontre une capacité accrue à séquestrer le carbone. Aucun lien entre le nombre d'espèces (richesse) d'une communauté végétale et l'effet sur le bilan carbonique n'a pu être détecté.

En ce qui concerne l'ensemble du site de Bic-Saint-Fabien, le secteur restauré présente des flux de méthane (CH₄) inférieurs aux taux normalement observés dans les tourbières nordiques. Ceci pourrait être expliqué par les conditions abiotiques du site. En 2011 et 2012, les échanges de carbone mesurés ont prouvé que le secteur restauré n'est pas une source de méthane, tel qu'attendu.

³⁴ HASSANPOUR FARD, G. 2014. Carbon dynamics in extracted minerotrophic peatlands: An analysis of the effect of plant biodiversity. Thèse de M.Sc., University of Calgary, Calgary, Alberta. 173 p.

Faits saillants :

- La diversité végétale (nombre d'espèces par communauté végétale) n'influence pas directement la capacité de stockage du carbone de la tourbière.
- Certaines espèces, dont le *Carex aquatilis*, ont toutefois la capacité de capter plus de carbone qu'elles en émettent.
- Des prescriptions prenant en compte des capacités de stockage du carbone de certaines espèces pourraient être intégrées aux plans de restauration des tourbières lorsque le rétablissement de la fonction d'accumulation de carbone est un objectif important.

5.1.5 Biodiversité des arthropodes des mares de tourbières naturelles, restaurées et non restaurées

Problématique et contexte :

Dans les tourbières naturelles, les mares sont des habitats qui contribuent largement à la biodiversité^{35, 36}. Leur création est parfois intégrée aux techniques de restauration des tourbières, mais les aspects plus techniques de leur aménagement demeurent toujours à parachever^{37,38}. Les arthropodes sont des indicateurs écologiques avantageux, car ils sont diversifiés et abondants, ils occupent une multitude de niches écologiques et répondent rapidement aux changements environnementaux³⁹. Dans cette optique, l'étudiant à la maîtrise André-Philippe Drapeau Picard a entrepris un projet de recherche sur le suivi des macro-invertébrés à la tourbière de Bic-Saint-Fabien au printemps 2013 (Figure 12). Son étude vise à déterminer l'influence de la végétation introduite aux abords des mares, ainsi que de la profondeur de ces dernières sur le retour et la biodiversité des arthropodes. Pour ce faire, les dytiques (Coleoptera : Dytiscidae) et les araignées (Araneae) ont été échantillonnés en 2013 et 2014 dans la tourbière de Bic-Saint-Fabien, ainsi que dans quatre tourbières naturelles (non perturbées) des environs (écosystèmes de référence; voir aussi Annexe 2).

Méthodologie :

En 2010, 15 mares ont été creusées dans la tourbière de BSF, certaines étant profondes (environ 1 m de profondeur) et d'autres peu profondes (environ 30 cm). En 2010, les berges des mares du secteur restauré de la tourbière de Bic-Saint-Fabien ont été revégétalisées en y établissant l'un des cortèges floristiques suivants : 1) plantations d'arbustes, 2) plantations d'herbacées graminoides et 3) tapis de mousses. En 2013, six nouvelles mares ont été creusées, mais aucune végétation n'a été introduite sur leurs berges.

En 2013 et 2014, les arthropodes ont été échantillonnés à l'intérieur et autour de 21 mares de la tourbière de BSF et de 16 mares de tourbières naturelles.

³⁵ FONTAINE, N., POULIN, M., ROCHEFORT, L. 2007: Plant diversity associated with pools in natural and restored peatlands. *Mires and Peat* 2: Art. 6, [En ligne] [www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map02/map0206.php]

³⁶ ROSENBERG, D. M., DANKS, H. V. 1987. Aquatic insects of peatlands and marshes in Canada: Introduction. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 119: 1-4.

³⁷ MAZEROLLE, M., POULIN, M., LAVOIE, C., ROCHEFORT, L., DESROCHERS, A., DROLET, B. 2006. Animal and vegetation patterns in natural and man-made bog pools: implication for restoration. *Freshwater Biology* 51: 333-350, doi:10.1111/j.1365-2427.2005.01480.x.

³⁸ LANDRY, T., ROCHEFORT, L., POULIN, M. 2012. Impact of seedbed and water level on the establishment of plant species associated with bog pools: implications for restoration. *Native Plants Journal* 13(3): 205-215.

³⁹ KREMEN, C., COLWELL, R. K., ERWIN, T. L., MURPHY, D. D., NOSS, R. F., SANJAYAN, M. A. 1993. Terrestrial arthropod assemblages: Their use in conservation planning. *Conservation Biology* 7(4): 796-808.

Pour l'échantillonnage des dytiques, des nasses⁴⁰ étaient déposées au fond des mares et vidées 24 heures plus tard. Pour les araignées, six pièges-fosses ont été posés autour de chaque mare et laissés en place pendant quatre semaines. Le périmètre et la profondeur des mares ont été mesurés et la végétation autour de celles-ci a été inventoriée. L'humidité du substrat et la luminosité au sol ont aussi été mesurées autour des pièges-fosses⁴¹.



Figure 12 Mares de Bic-Saint-Fabien. À gauche : inventaires de macro-invertébrés aquatiques. À droite : suivi de la végétation aux abords des mares.

Résultats préliminaires :

Au total, 418 dytiques et 4 205 araignées identifiables à l'espèce ont été récoltés. Les dix espèces les plus abondantes apparaissent au Tableau 6. Ces inventaires montrent que la tourbière restaurée de BSF est déjà recolonisée par plusieurs espèces de milieux humides et de tourbières. En comparant les assemblages d'araignées et de dytiques de la tourbière restaurée à ceux des sites de référence, il est possible d'affirmer que plusieurs taxons se trouvent à la fois dans les deux milieux, quoique leur abondance diffère. La tourbière restaurée compte plus d'espèces d'araignées que les milieux naturels, dont plusieurs sont généralistes ou associées aux perturbations.

L'analyse fine des données est toujours en cours, mais les résultats préliminaires permettent de poser un constat positif de l'effet de la restauration sur la diversité des arthropodes de tourbières. En général, les communautés sont plus abondantes et plus diversifiées autour des mares où des végétaux ont été introduits comparativement à celles qui n'ont pas été revégétalisées.

⁴⁰ Les nasses sont des pièges utilisés entre autres pour l'échantillonnage d'insectes aquatiques. Leur fonctionnement est semblable aux casiers à homards: les insectes peuvent entrer par une ouverture mais ne peuvent en ressortir. Le piège, composé d'une structure de métal recouverte d'un filet à petites mailles, est déployé dans l'eau puis repêché pour récupérer les organismes.

⁴¹ Les pièges-fosses sont des récipients insérés dans le sol, dans lesquels est versé un liquide de préservation (dans notre cas : l'éthylène-glycol (antigel) puisqu'il s'évapore très lentement). Les insectes tombent dans la fosse où ils sont trappés puis récupérés intacts par la suite. Les pièges-fosses permettent l'échantillonnage des insectes terrestres.

Aux mares entourées de tourbe nue sont principalement associées des espèces généralistes. De la même façon, les communautés d'espèces trouvées autour des mares végétalisées sont aussi composées de plus d'espèces généralistes que celles des écosystèmes de référence. La présence de ces espèces s'explique en partie par la proximité de terres agricoles autour de la tourbière et parce que le milieu est encore en phase de transition après les travaux assez récents de restauration. Il serait donc pertinent de répéter ces inventaires dans le futur (p. ex. dans trois ou quatre ans) pour connaître la trajectoire écologique des communautés d'arthropodes.

Faits saillants :

- Lorsque la décision est prise de recréer des mares dans un projet de restauration de tourbières, il est recommandé de revégétaliser les abords de mares avec une végétation typique de bordure de mares, car on augmente ainsi grandement sa fonctionnalité⁴².

⁴² FONTAINE, N., POULIN, M., ROCHEFORT, L. 2007: Plant diversity associated with pools in natural and restored peatlands. *Mires and Peat* 2: Art. 6, [En ligne] [www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map02/map0206.php]

Tableau 6 Comparaison des 10 espèces d'araignées et de dytiques les plus abondantes dans la tourbière restaurée de Bic-Saint-Fabien et dans les tourbières naturelles (écosystèmes de référence, n = 4).

Tourbière restaurée		Tourbières naturelles	
Espèces	Nb	Espèces	Nb
Araignées			
<i>Pardosa moesta</i>	580	<i>Pirata insularis</i> ³	489
<i>Pirata minutus</i> ¹	403	<i>Pardosa moesta</i>	299
<i>Pardosa milvina</i>	355	<i>Arctosa raptor</i>	118
<i>Pirata piraticus</i> ¹	252	<i>Pirata piraticus</i> ¹	97
<i>Pardosa fuscula</i>	208	<i>Gramonota gigas</i>	80
<i>Pardosa xerampelina</i>	202	<i>Oedothorax trilobatus</i>	72
<i>Trochosa ruricola</i> ²	74	<i>Gnaphosa parvula</i>	50
<i>Erigone dentigera</i>	68	<i>Walckenaeria spiralis</i>	44
<i>Pirata insularis</i> ³	61	<i>Pardosa fuscula</i> ¹	43
<i>Gnaphosa parvula</i>	58	<i>Trochosa ruricola</i> ²	38
Dytiques			
<i>Colymbetes sculptilis</i>	225	<i>Colymbetes sculptilis</i>	28
<i>Ilybius biguttulus</i>	34	<i>Acilius semisulcatus</i>	19
<i>Rhantus binotatus</i>	16	<i>Laccornis conoideus</i>	3
<i>Acilius semisulcatus</i>	14	<i>Rhantus binotatus</i>	3
<i>Ilybius discolor</i>	12	<i>Ilybius pleuriticus</i>	2
<i>Agabus confinis</i>	11	<i>Acilius medius</i>	1
<i>Ilybius pleuriticus</i>	9	<i>Agabus confinis</i>	1
<i>Dytiscus verticalis</i>	7	<i>Colymbetes paykulli</i> ⁴	1
<i>Colymbetes dolabratus</i>	3	<i>Dytiscus verticalis</i>	1
<i>Agabus immaturus</i>	2	<i>Hydaticus aruspex</i>	1

¹ Araignée associée aux milieux humides⁴³

² Espèce envahissante⁴⁴

³ Araignée associée aux tourbières⁴⁵

⁴ Dytique associé aux tourbières⁴⁶

⁴³ DONDALE, C. D., REDNER, J. H. 1990. The insects and arachnids of Canada, part 17: The Wolf Spiders, Nurseryweb Spiders, and Lynx Spiders of Canada and Alaska. Biosystematic Research Center, Ottawa. 382 p.

⁴⁴ PAQUIN, P., DUPÉRRÉ, N. 2003. Guide d'identification des Araignées du Québec. Fabriques, Supplément 11. 251 p.

⁴⁵ DONDALE, C. D., REDNER, J. H. 1990. The insects and arachnids of Canada, part 17: The Wolf Spiders, Nurseryweb Spiders, and Lynx Spiders of Canada and Alaska. Biosystematic Research Center, Ottawa. 382 p.

⁴⁶ LARSON, D. J., ALARIE, Y., ROUGHLEY, R.E. 2000. Predacious diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae) of the Nearctic region, with emphasis on the fauna of Canada and Alaska. NRC Research Press, Ottawa. 982p.

5.1.6 Préservation de l'intégrité de la tourbière naturelle adjacente

La restauration des tourbières n'a pas pour seul avantage de reconstituer un écosystème fonctionnel. Elle peut aussi contribuer à assurer la pérennité des ressources biologiques et des fonctions écologiques des parcelles de tourbières adjacentes aux terrains restaurés qui n'ont pas été utilisées à des fins industrielles, mais qui sont néanmoins affectées par le drainage des parcelles en exploitation. Il est toutefois difficile de démontrer la réelle efficacité des mesures de restauration quant à la préservation de l'intégrité écologique des parcelles naturelles périphériques.

La restauration de la tourbière de Bic-Saint-Fabien offre une excellente opportunité à cet égard. La zone anciennement perturbée par l'activité industrielle (et maintenant restaurée) est bordée par une tourbière naturelle, non perturbée, sur ses côtés nord et est (Figure 13). Le GRET et ses collaborateurs ont donc constitué une banque de données sur la tourbière naturelle adjacente au site restauré de façon à caractériser l'écosystème et à effectuer un suivi en vue d'étudier les changements qui pourraient s'y produire.

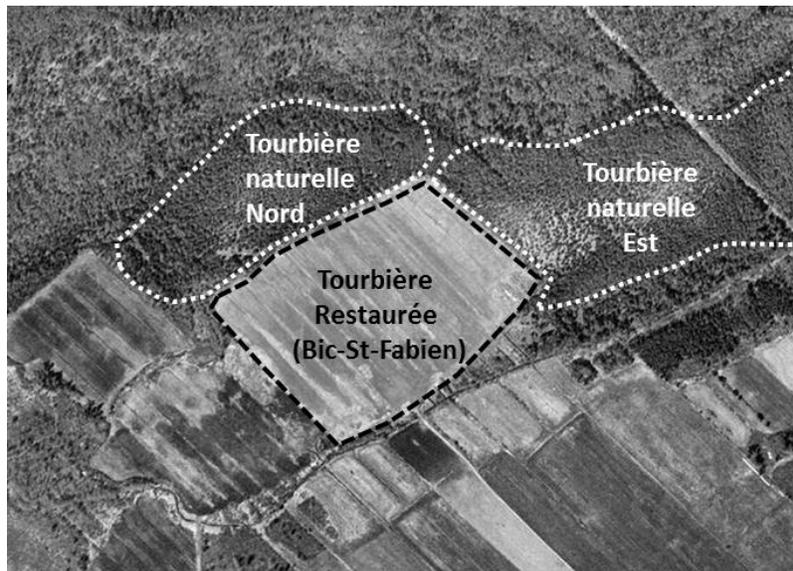


Figure 13 Localisation approximative des deux secteurs de tourbière naturelle adjacente à la tourbière restaurée de Bic-Saint-Fabien : secteurs est et nord.

En parallèle à l'amélioration des connaissances des fragments naturels adjacents, plusieurs fens naturels de la région ont été recensés afin de bâtir une référence d'écosystèmes de fen de la région du Bas-Saint-Laurent. Pour les assemblages végétaux, l'hydrologie, la décomposition, la productivité des arbres, des plantes vasculaires et des bryophytes, les données proviennent du projet de doctorat de Vicky Bérubé, alors que pour les arthropodes, elles sont issues du projet de maîtrise d'André-Philippe Drapeau Picard. Tous ces

renseignements sont colligés dans l'Annexe 2 « Tourbières minérotrophes naturelles de la région de Rimouski – Sainte-Fabien ».

A) Caractérisation et suivi de la composition chimique de l'eau de la tourbière naturelle adjacente

Problématique et contexte :

L'échantillonnage de l'eau pour l'analyse de la composition chimique est effectué depuis 2008 dans la tourbière naturelle adjacente au site restauré de Bic-Saint-Fabien. La base de données ainsi générée permet entre autres d'étudier l'évolution de la tourbière et les incidences des activités de restauration.

Méthodologie :

Chaque année, des prélèvements d'eau sont faits dans des puits (9 puits en 2008 et 2009; 12 puits à partir de 2010) cinq fois par année pour obtenir des données de pH, de conductivité et de composition chimique (voir le protocole à l'Annexe 1 pour les détails; Figure 14). Le niveau d'eau de ces mêmes puits est aussi mesuré hebdomadairement. En 2013 et 2014, des mesures supplémentaires ont aussi été prises dans la cédrière située au nord du site restauré afin de caractériser plus finement ce secteur (voir section 5.1.6 D).



Figure 14 Suivi de l'hydrologie. À gauche : échantillonnage de l'eau dans la tourbière naturelle située à l'est du secteur restauré de Bic-Saint-Fabien. À droite : puits hydrologiques dans la cédrière située au nord.

Résultats préliminaires :

L'observation des résultats de pH obtenus depuis 2008 démontre que des variations intrasaisonniers ont lieu dans les secteurs naturels de BSF, mais que les valeurs se situent généralement entre 5 et 7, des valeurs typiques pour les fens. Aucune variation drastique de pH n'a été observée après la restauration réalisée en décembre 2009. Les analyses de pH indiquent que le secteur naturel de BSF n'a pas subi de perturbations majeures depuis 2008. La mesure de ces conditions sera poursuivie dans les prochaines années dans

le cadre du suivi de la tourbière, afin d'identifier si des variations importantes surviennent, ainsi que pour déterminer la trajectoire de l'écosystème restauré.

B) Caractérisation et suivi de la végétation de la tourbière naturelle adjacente au secteur restauré de Bic-Saint-Fabien

Problématique et contexte :

Tout comme c'est le cas de la mesure des caractéristiques hydrologiques, la végétation de la tourbière naturelle adjacente au secteur restauré doit faire l'objet d'un suivi attentif afin de détecter les changements qui pourraient y survenir comme : le retour de plantes de sous-bois plus typiques des fens à la suite de la restauration de la tourbière perturbée, des changements drastiques des assemblages végétaux, la disparition de certaines espèces, l'arrivée de plantes envahissantes, etc.

Méthodologie :

Pendant l'été 2014, six parcelles de suivi de la végétation (voir le protocole à l'Annexe 1) ont été installées dans les secteurs naturels adjacents à la tourbière restaurée (trois parcelles au nord et trois parcelles à l'est). Chacune des parcelles comprend quatre sous-parcelles d'inventaire de végétation vasculaire et douze pour la végétation muscinale⁴⁷. Les résultats des inventaires serviront de base afin de suivre l'évolution de la végétation du secteur naturel de la tourbière.

Résultats préliminaires :

La composition des communautés végétales des secteurs naturels nord et est présente des proportions semblables de plantes vasculaires, de sphaignes et de mousses brunes (Figure 15), mais les espèces retrouvées dans chacun des secteurs diffèrent grandement. Par ailleurs, les deux secteurs naturels présentent une bonne intégrité écologique, sauf pour la bordure de 5 à 10 m qui est fortement dense en arbres. Le secteur naturel situé à l'est de la zone restaurée est une tourbière arbustive relativement ouverte, alors que dans le secteur naturel situé au nord la canopée est beaucoup plus dense. Dans les deux secteurs, le *Thuja occidentalis*, le *Myrica gale* et les sphaignes (*Sphagnum rubellum* et *Sphagnum warnstorffii*) sont dominants. Dans le secteur est, on observe une plus grande variété de plantes vasculaires et on y trouve notamment le *Larix laricina*, le *Trichophorum cespitosum* et le *Menyanthes trifoliata*. Au niveau de la strate muscinale, en plus des sphaignes, on trouve en abondance dans le secteur nord le *Rhytiadelphus triquetra* et le *Pleurozium schreberi*, alors que dans le secteur est, les espèces les plus fréquemment observées sont le *Campylium stellatum*, le *Tomentypnum nitens* et le *Scorpidium cossonii*.

L'examen des résultats d'inventaires révèle aussi que les communautés végétales du secteur naturel de la tourbière ne sont pas menacées par la

⁴⁷ Effort d'échantillonnage décrit dans : GONZÁLEZ, E., ROCHEFORT, L., BOUDREAU, S., POULIN, M. 2014. Combining indicator species and key environmental and management factors to predict restoration success. *Ecological Indicators* 46: 156-166; [En ligne] [<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.016>].

présence d'espèces rudérales⁴⁸ ou envahissantes. Une attention particulière devrait être portée à ces espèces. Les changements observés dans les communautés devraient aussi être suivis attentivement.

Par ailleurs, un herbier de référence des plantes typiques des fens de la région de Bic-Saint-Fabien a été mis sur pied pendant l'été 2013. L'herbier contient près de 150 espèces de plantes vasculaires et de bryophytes, dont plusieurs ont été récoltées dans la portion naturelle de la tourbière de Bic-Saint-Fabien. Un tel recueil constitue un précieux document de référence et d'enseignement pour l'étude des fens et facilitera les inventaires dans ces écosystèmes. L'herbier a été bonifié en 2014 par l'ajout de nouveaux spécimens et continuera à l'être dans le futur si des espèces additionnelles sont trouvées. Éventuellement, la collection sera déposée à l'herbier Louis-Marie de l'Université Laval (QFA).

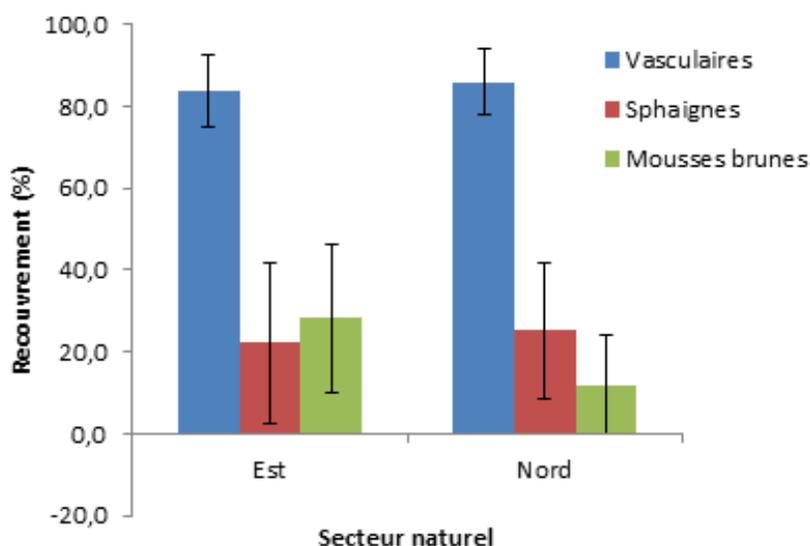


Figure 15 Composition de la portion naturelle de la tourbière de Bic-Saint-Fabien, par type de végétation (secteurs est et nord).

Faits saillants :

- Bien que les deux secteurs soient visuellement différents, le portrait global est le même par strate : les strates arborescentes, arbustives et muscinales sont des composantes dominantes de l'écosystème.
- Les bordures se sont fortement densifiées à la suite du drainage dans les premiers 5 à 10 mètres des secteurs naturels. La dominance des espèces

⁴⁸ Les espèces rudérales sont celles associées aux milieux perturbés par l'Homme, tels que les friches, les abords des routes ou les terrains vagues.

diffère grandement entre les deux secteurs, mais celles-ci demeurent des espèces typiquement rencontrées dans les fens.

- Il y a absence d'espèces rudérales ou envahissantes qui sont généralement trouvées dans les écosystèmes perturbés.

C) Suivi annuel du cyripède royal (*Cypripedium reginae*)

Problématique et contexte :

Il est probable que les fossés de drainage creusés dans la tourbière pendant sa période d'utilisation à des fins industrielles aient affecté de manière sérieuse l'hydrologie de l'ensemble du site, incluant les secteurs naturels adjacents. Les plantes de la tourbière peuvent éprouver des problèmes à maintenir des populations viables en raison d'un approvisionnement en eau déficient, dont l'effet peut être amplifié par une croissance accélérée des arbres qui poussent mieux en conditions sèches dans les tourbières^{49,50}.

M. Claude Lavoie, chercheur associé au GRET, pose l'hypothèse que la perturbation des tourbières à des fins industrielles a des conséquences sur les communautés végétales trouvées en périphérie, et tout particulièrement sur les plantes rares. Le cas du cyripède royal (Figure 16), une orchidée rare présente à proximité de la tourbière restaurée, constitue une bonne opportunité de vérifier cette hypothèse. Au Québec, le cyripède royal est susceptible d'être désigné menacé ou vulnérable. Il s'agit d'une plante fragile : ses exigences écologiques sont strictes, sa maturité est atteinte tardivement et elle est très vulnérable au broutement. Ces caractéristiques en font donc une sentinelle très sensible de l'état de santé de la tourbière naturelle adjacente au secteur restauré, qui pourrait être menacée par un passé industriel (l'extraction de la tourbe).



Figure 16 Suivi des individus de cyripède royal à Bic-Saint-Fabien. À gauche : inventaire et décomptes en 2013; au centre : détail des fleurs; à droite : identification des tiges de chaque individu.

⁴⁹ PELLERIN, S., LAVOIE, C. 2003. Reconstructing the recent dynamics of mires using a multitechnique approach. *Journal of Ecology* 91: 1008-1021.

⁵⁰ LACHANCE, D., LAVOIE, C., DESROCHERS, A. 2005. The impact of peatland afforestation on plant and bird diversity in southeastern Québec. *Écoscience* 12: 161-171.

Méthodologie :

Chaque année depuis 2008, tous les individus de la population de cyripède royal de la tourbière de Bic-Sainte-Fabien sont recensés (marqués et cartographiés) pendant la période de floraison. Le décompte des feuilles et des fleurs est aussi réalisé afin de déterminer si l'âge des plants peut être estimé à l'aide de ces caractères.

Résultats préliminaires :

À ce jour (2014), un total de 1 638 cyripèdes ont été identifiés et marqués dans la partie nord de la tourbière du Bic-Sainte-Fabien. C'est 295 individus de plus que ceux qui ont été marqués en 2009, qui constitue la véritable année de référence (plusieurs individus n'ont pas été aperçus en 2008). En nombre de feuilles, la population a une distribution normale avec un mode à 9 feuilles (le nombre varie de 2 à 13). En général (2009 – 2014), la proportion d'individus avec fleur est assez stable d'une année à l'autre (24 – 28 %). Très peu de cyripèdes fleurissent s'ils n'ont pas au moins 8 feuilles. Par contre, la majorité (> 80 %) des individus avec 10 feuilles et plus portent une fleur, sinon deux. Il semble donc y avoir une étroite correspondance entre le nombre des feuilles (probablement un indicateur de l'âge du plant) et des fleurs.

La population de cyripède royal de la tourbière du Bic-Sainte-Fabien est beaucoup plus importante qu'on ne le suspectait au départ. La quantité d'individus trouvés est suffisante pour effectuer des tests statistiques robustes permettant de vérifier certaines hypothèses quant à l'état de santé de la population. Il est donc important de poursuivre un suivi de la population de cyripèdes : avec des mesures additionnelles et des mesures hydrologiques, on pourra déterminer d'ici 2018 dans quelle mesure la restauration de la tourbière aura été bénéfique à la plante.

Faits saillants :

- La tourbière naturelle adjacente à BSF abrite une grande population de cyripède royal (1 638 individus); son ampleur est d'ailleurs beaucoup plus importante que ce qui était estimé initialement.
- Le cyripède est une plante sensible aux modifications de son environnement, ce qui en fait une espèce indicatrice de l'intégrité du milieu.

D) Aménagement du gradient écohydrologique entre un fen restauré et les secteurs naturels adjacents

Problématique et contexte :

Certaines études indiquent que les secteurs bordant les tourbières industrielles peuvent eux aussi être grandement affectés lors de l'exploitation⁵¹. Il en résulte une transition abrupte et artificielle entre la tourbière industrielle et les secteurs adjacents, notamment en termes de densité forestière et de topographie.

Dans le cadre de son projet de maîtrise, l'étudiante Stéphanie Lefebvre-Ruel pose l'hypothèse que la topographie artificielle retrouvée à la marge des tourbières exploitées ou restaurées entraîne une discontinuité hydrologique majeure avec le milieu naturel. Cette rupture affecte la répartition des espèces végétales et empêche l'établissement d'un gradient de connectivité écohydrologique naturel. Même s'ils ne subissent pas directement les perturbations liées aux activités industrielles, les secteurs naturels bordant les tourbières industrielles peuvent donc aussi être affectés. On y remarque une densification des arbres^{52,53,54}, une transformation de la végétation vers des communautés forestières⁵⁵, une cassure topographique entre la tourbière restaurée et les secteurs adjacents, ainsi qu'un abaissement de la nappe phréatique jusqu'à 200 m de distance des canaux de drainage⁵⁶.

Méthodologie :

Pendant l'été 2014, Mme Lefebvre-Ruel a inventorié et caractérisé les secteurs adjacents à la tourbière restaurée de Bic-Saint-Fabien, ainsi que les gradients de végétation observés dans les marges d'autres tourbières intactes de la région, à titre de référence. Des données d'élévation⁵⁷, de profondeur de la nappe phréatique, de surface terrière⁵⁸ et de végétation, mesurées à partir de transects perpendiculaires au canal de drainage (situé à la marge entre la

⁵¹ POULIN, M., ROCHEFORT, L., DESROCHERS, A. 1999. Conservation of bog plant species assemblages: assessing the role of natural remnants in mined sites. *Applied Vegetation Science* 2: 169-180.

⁵² LANDRY, J., ROCHEFORT, L. 2011. Le drainage des tourbières: impacts et techniques de remouillage. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 53 p.

⁵³ PRICE, J. S., HEATHWAITE, A. L., KETTRIDGE, N. 2003. Hydrological processes in abandoned and restored peatlands: An overview of management approaches. *Wetlands Ecology and Management* 11(1-2): 65-83.

⁵⁴ VAN SETERS, T. E., PRICE, J. S. 2001. The impact of peat harvesting and natural regeneration on the water balance of an abandoned cutover bog, Québec. *Hydrological Processes* 15: 233-248.

⁵⁵ LACHANCE, D., LAVOIE, C. 2005. The impact of peatland afforestation on plant and bird diversity in southeastern Québec. *Ecoscience* 12(2): 161-171.

⁵⁶ LANDRY, J., ROCHEFORT, L. 2011. Le drainage des tourbières: impacts et techniques de remouillage. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 53 p.

⁵⁷ Élévation: L'élévation de chaque placette est mesurée par rapport à celle du canal de drainage.

⁵⁸ Surface terrière : Somme des superficies des sections transversales de chaque tige du peuplement d'arbres à hauteur de poitrine (ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC. 2000. Dictionnaire de la foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec. p.210).

tourbière et la zone adjacente) ont permis de dresser le portrait de ces environnements.

Résultats préliminaires :

En comparant les gradients de végétation en bordure de la tourbière restaurée avec ceux observés dans les milieux naturels non perturbés, l'étudiante a constaté une grande disparité entre les milieux. En effet, la nappe phréatique est considérablement plus profonde, la topographie plus élevée et la surface terrière plus importante en bordure de la tourbière restaurée que dans des gradients naturels de végétation d'une tourbière intacte (Figure 17). Parmi les résultats préliminaires obtenus par Mme Lefebvre-Ruel, on remarque que dans les cinq premiers mètres en s'éloignant du canal de drainage, la profondeur moyenne (très) approximative de la nappe phréatique dans les bordures de la tourbière est environ de 54 cm, alors qu'elle est de 17 cm dans les gradients naturels de végétation. De la même façon, la surface terrière moyenne dans les quatre premiers mètres de la bordure de la tourbière est d'environ 43 m²/ha, alors qu'elle est de 29 m²/ha dans les gradients naturels de végétation. Dans les cinq premiers mètres en s'éloignant du canal de drainage, l'élévation moyenne approximative des bordures de la tourbière de BSF est de 83 cm, alors qu'elle est de 7 cm dans les gradients naturels de végétation.

Un deuxième volet du projet de Mme Lefebvre-Ruel vise à adapter la méthode de restauration des tourbières de façon à améliorer la connectivité entre les zones restaurées et les zones naturelles adjacentes. Pendant l'automne 2014, la densité forestière de la marge forestière a été modifiée par endroits (coupe d'arbres dans trois parcelles expérimentales) de façon à reproduire la surface terrière trouvée dans des tourbières naturelles. À l'hiver 2015, des travaux de reprofilage topographique de la bordure forestière sont prévus à la tourbière de Bic-Sainte-Fabien : le remblai hérité des activités d'ouverture pour l'exploitation de la tourbe sera estompé. Le GRET espère ainsi rétablir une meilleure connectivité échohydrologique entre les secteurs naturels bordant la tourbière industrielle et la tourbière restaurée. Les effets des essais réalisés seront évalués pendant l'été 2015. Les résultats du projet permettront de poser des recommandations quant aux approches de restauration des marges de tourbières.

**RAPPORT FINAL - RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES DE BIC-SAINTE-FABIEN
ET DE SAINT-FABIEN-SUR-MER DANS LE BAS-SAINT-LAURENT**

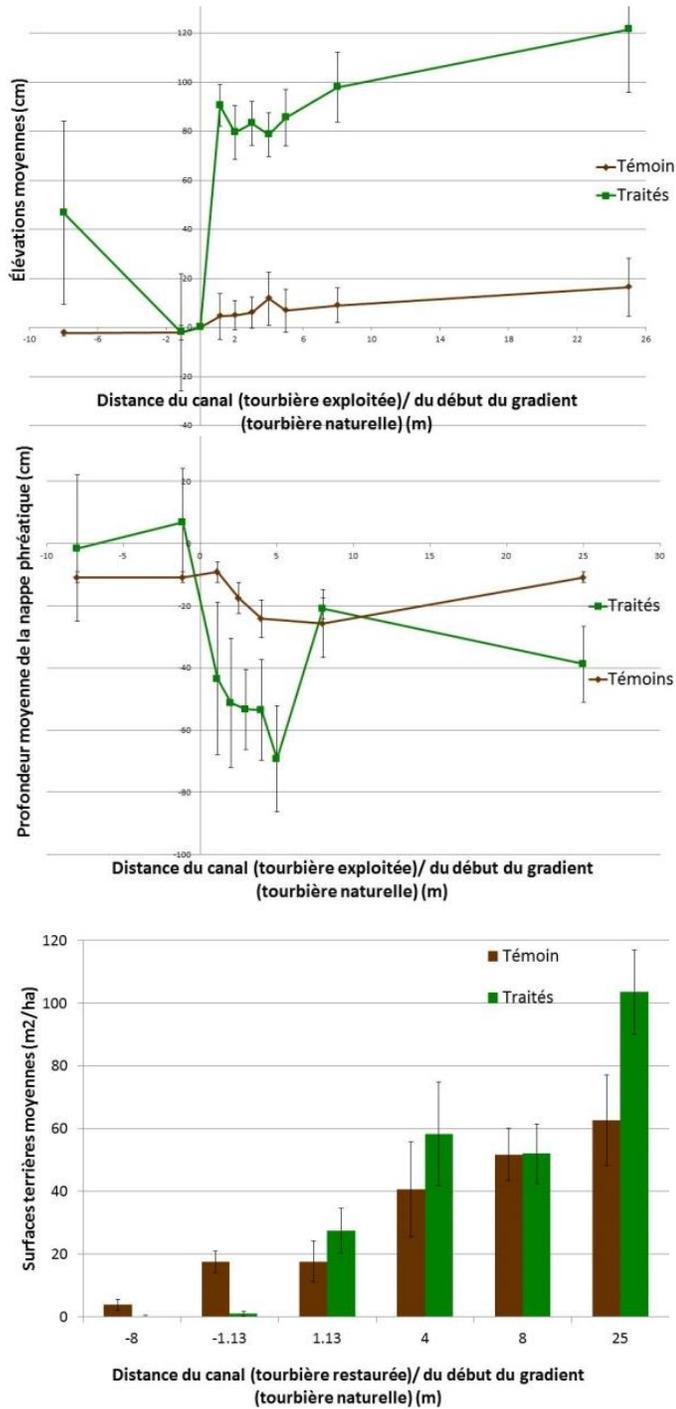


Figure 17 Disparité entre la marge de la tourbière restaurée et les abords intacts des tourbières naturelles en termes d'élévation moyenne, de niveau d'eau et de surface terrière. Témoins = tourbières naturelles intacts. Traités = tourbière adjacente à Bic-Sainte-Fabien.

5.2 Tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer

La tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer a été restaurée grâce à une collaboration entre le GRET, Planirest Environnement (entreprise spécialisée dans la restauration des tourbières) et l'Association des producteurs de tourbe horticole du Québec (APTHQ). Line Rochefort (GRET), François Quinty (Planirest) et Raynald Bélanger (alors de la compagnie Sun Gro Horticulture) ont fait les relevés de terrain préliminaires à l'automne 2010 afin d'élaborer le plan de restauration. Les travaux de restauration ont pu être réalisés grâce à l'appui financier et technique de l'APTHQ, sous la supervision de Planirest et du GRET. L'APTHQ gère maintenant le développement du site, en collaboration avec le GRET (en tant que conseiller scientifique), le Parc national du Bic et différents groupes de chercheurs et de représentants locaux. Le suivi écologique post-restauration s'est fait par l'équipe technique de l'APTHQ, grâce à un soutien d'une filière ACCORD⁵⁹, et par le GRET, grâce au soutien financier du MTQ.

En 2014, un sentier d'interprétation a été installé : la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer est dorénavant un site de démonstration de la méthode de réhabilitation pour le public intéressé par la restauration écologique des tourbières. Certains détails des activités prévues à la tourbière ont été modifiés en cours de route. Ceux-ci sont discutés à la section 5.2.1 A). L'objectif principal de la tourbière demeure toutefois le même : favoriser le retour des conditions de tourbière et de milieux humides. La tourbière a d'ailleurs été ajoutée au suivi pancanadien des tourbières restaurées (protocole à l'Annexe 1).

Le beau défi de restauration de ce site de 20 ha était la diversité du substrat résiduel de la tourbe post-extraction. Compte tenu des conditions initiales suivant l'exploitation industrielle de la tourbière, il a été déterminé lors de l'élaboration du plan de restauration que plusieurs méthodes devaient être employées afin de restaurer le site. La tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer est donc devenue un exemple illustrant l'utilisation de plusieurs méthodes de restauration pour créer une mosaïque de milieux humides. Comme le site a été restauré depuis relativement peu de temps, il faudra continuer le suivi afin de déterminer sa trajectoire écologique. D'ailleurs, l'APTHQ réalise des suivis de la fluctuation de la profondeur de la nappe phréatique sur le site. De son côté, le GRET a mené un inventaire de la végétation dans la zone restaurée par méthode de transfert de la couche muscinale. Les parcelles permanentes installées ont été ajoutées au suivi pancanadien des tourbières mené par le GRET depuis une vingtaine d'années. Selon les premières données acquises, la restauration semble une réussite. La poursuite de l'étude rigoureuse du site est toutefois primordiale. Un résumé des suivis minimaux qui devraient être réalisés à SFSM est d'ailleurs présenté au Tableau 7. Ces recommandations

⁵⁹ Démarche ACCORD : <http://tourbehorticole.com/fr/industrie-partenaires/apthq.php> et <http://www.mdeie.gouv.qc.ca/accord/>

ont été élaborées à partir du Guide de restauration des tourbières⁶⁰ et s'applique donc à toutes les tourbières ombrotrophes. Les détails des activités réalisées sont présentés dans les sections qui suivent.

Tableau 7 Recommandation de suivis minimaux à la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer.

Type de suivi	Début du suivi	Fréquence
Végétation	3 saisons de croissance ⁶¹ après les travaux.	3, 5 et 10 ans suivant la restauration.
Hydrologie	Quelques semaines après les travaux, puis pendant le premier printemps (lors du dégel).	Annuellement pour les trois premières années, puis après 5 et 10 ans suivant la restauration. Au printemps si possible.
Érosion	Quelques semaines après les travaux, puis pendant le premier printemps (lors du dégel).	Annuellement pour les trois premières années, puis après 5 et 10 ans suivant la restauration. Au printemps si possible.

⁶⁰ QUINTY, F., ROCHEFORT, L. 2003. Guide de restauration des tourbières, 2^e éd. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec. 119 p.

⁶¹ Par « saison de croissance », on entend une saison estivale, en tout ou en partie. Le calcul du temps écoulé doit se faire en fonction des saisons et non des années. Ainsi, pour des travaux réalisés pendant une même année, la végétation d'un site restauré au printemps aura profité d'une saison de croissance de plus que celle d'un site restauré à l'automne.

5.2.1 Établissement de communautés végétales typiques des milieux humides choisis

A) Restauration planifiée et réalisée

Problématique et contexte :

La restauration de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer a été réalisée en novembre 2011. Un plan de restauration avait été préparé afin de prévoir les types de milieux humides à restaurer en fonction des conditions initiales (post-industrielles) trouvées sur le site. Il incorporait plusieurs techniques de restauration afin de former une mosaïque de milieux humides.

Le plan de restauration initial comptait cinq zones homogènes pour lesquelles une option de restauration (y compris des travaux à titre expérimental) avait été déterminée en regard de l'objectif général de favoriser le retour à des conditions de tourbière ou de milieu humide (Figure 18).

Méthodologie et résultats préliminaires :

Les cinq zones (A, B, C, D et E) sont détaillées ici (voir aussi la Figure 18).

Zone A : La restauration par transfert de sphaignes visait la majeure partie de la tourbière (8,5 ha au total). Juste avant les travaux de restauration, cette zone était dépourvue de végétation et présentait des caractéristiques (pH de la tourbe résiduelle) de bog. L'option de restauration retenue était donc la méthode par transfert de la couche muscinale⁶². La restauration a été réalisée comme ce qui avait été prévu dans le plan de restauration initial sur une grande surface dans le but essentiellement de recréer un tapis de mousses typique des tourbières ombrotrophes. Trois modifications ont été ajoutées à la planification originale afin de bonifier la méthode de restauration. Quatre mares ont ainsi été creusées pour favoriser une plus grande biodiversité du site (voir section 5.1.5).

Des plantations d'arbres ont également été effectuées dans la zone A, dans un secteur de la tourbière trop sec pour l'établissement des propagules de mousses. En effet, l'élévation topographique plus importante de la bordure de la tourbière qui est parallèle à la Route de la Mer et le passage répété de la machinerie lors de la restauration a incité le choix de l'approche de plantations de conifères. Au total, 950 plants d'épinette noire et 950 plants de mélèze laricin fournis par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (actuel ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles) ont été plantés.

⁶² Pour des détails sur cette méthode, consulter : QUINTY, F., ROCHEFORT, L. 2003. Guide de restauration des tourbières, 2^e éd. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec. 119 p.

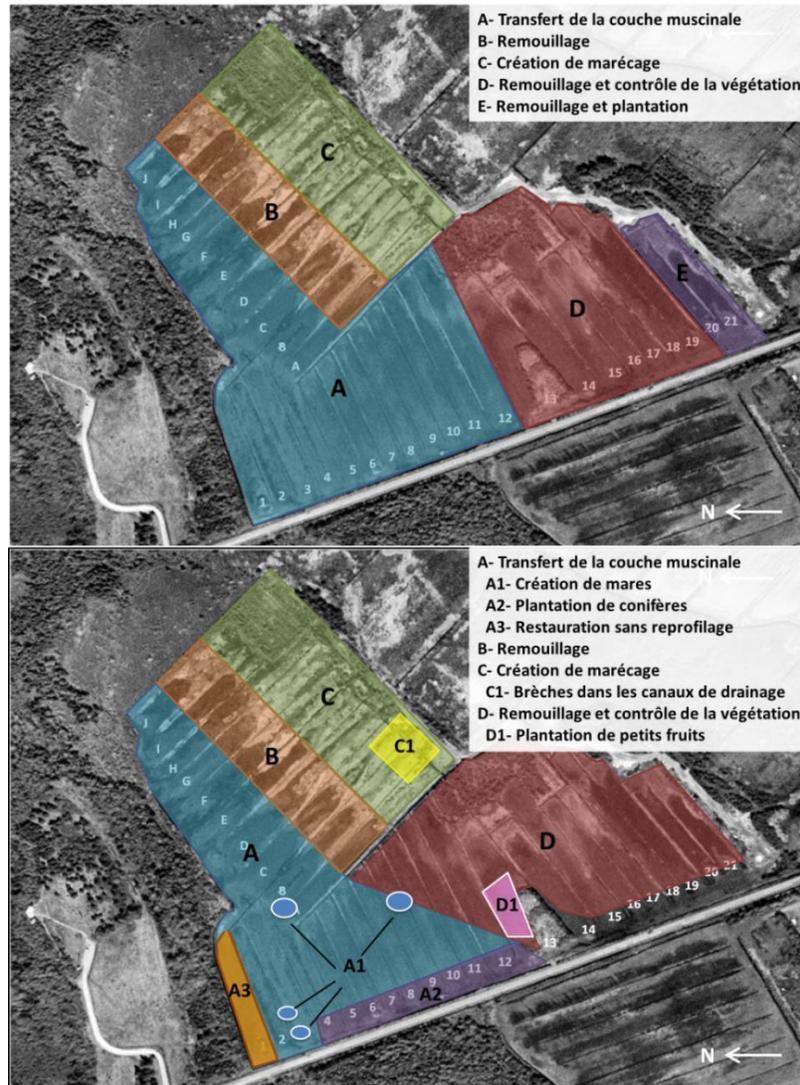


Figure 18 Restauration de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer telle que planifiée initialement (en haut) et ce qui a été réalisé (en bas), illustrant les zones en fonction du type de restauration.

Enfin, la tourbière de SFSM n'est pas seulement un projet de restauration facilité par le MTQ dans la région, mais aussi un terrain d'essai afin de peaufiner les techniques de restauration des tourbières ombrotrophes. Ainsi, une planche⁶³ de la zone A (la planche la plus au nord) a été restaurée sans reprofilage préalable de la surface. Il s'agissait d'expérimenter, à grande échelle, une version simplifiée de la méthode de restauration par transfert muscinal sans niveler la surface d'une planche de l'ancien site industriel, puisque cette dernière s'était déjà revégétalisée naturellement de manière

⁶³ Une planche correspond en général à la largeur de terre entre deux canaux de drainage.

éparse sans trop présenter de croûte biologique (celle-ci est généralement défavorable à la reprise des mousses). Sur cette planche, les propagules de mousses de sphaigne ont été réintroduites directement à travers le couvert végétal existant afin de vérifier si l'étape du nivelage pourrait être éliminée de la méthode de restauration des bogs lorsque le couvert préétabli est en faible densité. Cette option de restauration pourrait diminuer considérablement les coûts des opérations de restauration à grande échelle.

Zone B : Cette zone de 2,34 ha partiellement colonisée par des plantes de milieux humides avant les travaux a été restaurée par remouillage uniquement. Les canaux de drainage ont été bloqués afin de faire remonter naturellement le niveau d'eau. La végétation déjà présente devrait s'établir vigoureusement dans les prochaines années.

Zone C : Le sud-est de la tourbière (3,35 ha) comportait déjà une plantation de conifères et un couvert végétal de milieu humide bien établi. Le plan de restauration initial visait la restauration de cette zone en un marécage par la création de plans d'eau ouverts et l'introduction d'espèces typiques des « laggs » (des écosystèmes de transition entre la marge forestière et la tourbière), comme le *Thuja* et des fougères. Comme prévu initialement, des brèches perpendiculaires aux canaux de drainage originaux ont été créées lors des travaux de restauration en 2011 dans la zone C. Les plantations n'ont toutefois pas été réalisées en raison de niveaux d'eau trop élevés empêchant l'accès au secteur. Les niveaux d'eau maintenus relativement élevés et les espèces déjà présentes ont donc créé un marécage à aulne plutôt qu'à conifères. Selon l'évolution du secteur, celui-ci pourrait aussi éventuellement servir à confirmer les conclusions de la thèse de doctorat d'Étienne Paradis (membre du GRET) sur l'écologie des laggs (publications en préparation), à savoir si un remouillage seul peut ramener des marges de tourbières dégradées sur une trajectoire de laggs naturel.

Zone D : Une zone relativement étendue (5,16 ha) située dans le sud de la tourbière SFMS présente une végétation quasi monospécifique de scirpe (*Scirpus cyperinus*) et de roseau commun (*Phragmites australis*), des espèces opportunistes⁶⁴ de milieux humides. La méthode de restauration prévue pour cette zone prévoyait le remouillage par blocage des canaux de drainage. À la suite de plusieurs discussions avec des intervenants de la région et des écologistes de tourbière de notoriété internationale en restauration, il a été suggéré de bien remouiller le site par blocage des canaux de drainage afin de maintenir un milieu humide de magnocariçaie (végétation de grandes cypéracées) et de faire mourir les bouleaux qui s'étaient installés en bordure. Le questionnement sur le rôle des grandes colonies de scirpe dans les fens restaurés a suscité l'intérêt des travaux de recherche sur l'écologie du scirpe (voir section 5.2.2 B).

⁶⁴ GRAF, M. D., ROCHEFORT, L., POULIN, M. 2008. Spontaneous revegetation of cutaway peatlands of North America. *Wetlands* 28(1): 28-39.

Également dans la zone D, le remouillage efficace qui a suivi les travaux de restauration a, comme discuté précédemment, un peu trop inondé la zone marécageuse, mais a bien entraîné la sénescence des bouleaux. En effet, en faisant remonter les niveaux d'eau dans les canaux, les racines des bouleaux ancrées dans la tourbe poreuse du bord du canal se sont trouvées asphyxiées. En plus de la large colonie de scirpes, deux communautés de roseau commun (*Phragmites australis*) du génotype eurasiatique considéré comme envahissant⁶⁵ ont colonisé le site par les interventions effectuées dans le passé sur le milieu. L'APTHQ et le GRET collaborent présentement afin de déterminer les meilleures options de contrôle de cette espèce envahissante. Des travaux devraient être réalisés en 2015.

Par ailleurs, une portion plus élevée (et sèche) de ce secteur de la zone D a été utilisée afin d'introduire des arbustes d'espèces de petits fruits dans un souci de diversité, puisque les petits fruits abondent en tourbières naturelles. Le pépiniériste-fournisseur a acheminé des plants d'*Aronia* et de bleuet au site. Au cours des visites subséquentes aux plantations, il s'est avéré que l'espèce de bleuet plantée n'était pas une espèce typique de la région, mais plutôt un cultivar normalement utilisé dans la production de petits fruits. L'erreur a été corrigée en remplaçant les plants pour des cultivars indigènes, plus représentatifs de la flore locale.

Zone E : Une petite zone de 0,87 ha située dans l'est du site devait être l'hôte de plantations de conifères afin d'y contrer la présence d'espèces opportunistes. Ces plantations ont toutefois plutôt été réalisées dans la zone A. Comme ce secteur a aussi été remouillé, il a été inclus dans la zone D.

Faits saillants :

- La tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer a été restaurée en une mosaïque de milieux humides, en accord avec les conditions du terrain avant sa restauration.
- Quelques ajouts et ajustements au plan de restauration ont eu lieu afin de mieux refléter les conditions du terrain, comme l'ajout de mares, la création d'un marécage à aulne plutôt qu'à conifères et la modification de l'emplacement des plantations d'arbres et d'arbustes de petits fruits.

⁶⁵ LAVOIE, C., JEAN, M., DELISLE, F. LÉTOURNEAU, G. 2003. Exotic plant species of the St Lawrence River wetlands: a spatial and historical analysis. *Journal of Biogeography* 30: 537-549.

B) *Écologie du Scirpus cyperinus*

Problématique et contexte :

Les tourbières industrielles abandonnées après l'extraction de la tourbe sont fréquemment colonisées par le *Scirpus cyperinus*. Pendant son doctorat, Martha Graf⁶⁶ avait recensé la présence de cette espèce dans 50 % des quadrats d'inventaire de végétation de 17 fens abandonnés à travers le Canada. Bien qu'il s'agisse d'une espèce indigène typique des milieux humides et intéressante pour son faible indice de décomposition, le *S. cyperinus* peut aussi former de larges colonies denses difficilement peuplées par les autres espèces. C'est d'ailleurs le cas à Saint-Fabien-sur-Mer, où une partie du site est occupée par cette plante.

Le GRET a émis l'hypothèse que deux tactiques pourraient prévenir l'envahissement des sites par le scirpe si un but de restauration de biodiversité est visé. Premièrement, une restauration rapide après les activités de récolte de la tourbe pourrait être défavorable au scirpe en limitant l'espace disponible pour sa colonisation et sa germination⁶⁷. Une seconde tactique pour contrer l'invasion du *S. cyperinus* pourrait être l'instauration d'un régime hydrique dissuasif dans les tourbières industrielles abandonnées. Il semble en effet que les niveaux d'eau fluctuants typiques de ces milieux puissent agir comme un facteur favorisant l'implantation monospécifique du scirpe. En induisant un niveau d'eau stable, d'autres espèces pourraient s'établir et diminuer la productivité du scirpe. L'étudiante-chercheuse Julie Lajoie s'est penchée sur ces deux hypothèses dans le cadre de son projet de maîtrise.

Méthodologie :

GERMINATION DES GRAINES : Une première expérience a été mise en place en serres à l'Université Laval en introduisant des graines de *S. cyperinus* sur différents substrats végétaux préétablis dont :

- 1) des plants établis d'espèces typiques des fens (*Carex echinata*, *C. flava*, *C. magellanica*, *Glyceria canadensis*, *Iris versicolor* et *Menyanthes trifoliata*);
- 2) un lit de semences d'espèces de plantes vasculaires de fens;
- 3) un tapis de mousses (*Tomentypnum nitens*);
- 4) un tapis de sphaignes (*Sphagnum warnstorffii*);
- 5) de la tourbe nue.

⁶⁶ Voir GRAF, M. D., ROCHEFORT, L., POULIN, M. 2008. Spontaneous revegetation of cutaway peatlands of North America. *Wetlands* 28(1): 28-39.

⁶⁷ Voir BOURGEOIS, B., HUGRON, S., POULIN, M. 2012. Establishing a moss cover inhibits the germination of *Typha latifolia*, an invasive species, in restored peatlands. *Aquatic Botany* 100: 76-79, doi: 10.1016/j.aquabot.2012.03.010.

Chacun de ces substrats était aussi soumis à trois régimes hydriques différents : un niveau d'eau bas, un niveau haut et un niveau fluctuant entre ces deux hauteurs.

FLUCTUATION DES NIVEAUX D'EAU : La compétitivité du *S. cyperinus* face à deux graminées typiques de fen a été testée en milieu contrôlé (serres). Des plants de *S. cyperinus* ont été mis en compétition avec deux espèces cibles pour la restauration, le *Glyceria canadensis* et le *Calamagrostis canadensis*, sous deux régimes hydriques : stable et fluctuant. Ceux-ci simulent les conditions hydrologiques d'une tourbière naturelle et d'une tourbière abandonnée, respectivement. Dans chacun des cas, la biomasse aérienne produite après une saison de croissance en serre a été mesurée.

Résultats préliminaires :

GERMINATION DES GRAINES : Le type de substrat a influencé les taux d'implantation du *S. cyperinus*, et ce, en interaction avec le régime hydrique. La sphaigne *S. warnstorffii* et les plants d'espèces typiques des fens sont les types de substrats sur lesquels l'implantation du *S. cyperinus* est la plus difficile (Figure 19). Peu importe le niveau d'eau, la tourbe nue est toujours le substrat le plus facilement colonisé par les semences de *S. cyperinus*.

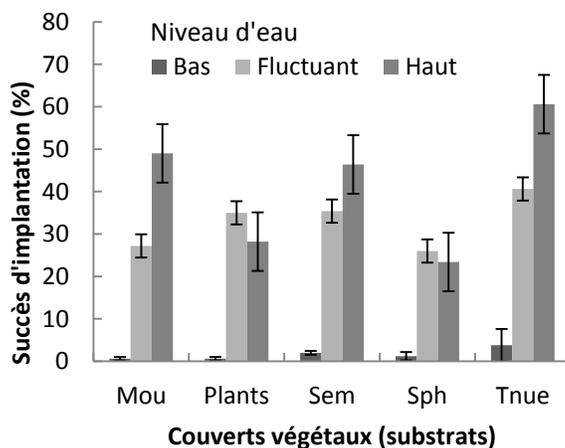


Figure 19 Succès d'implantation (%) à Saint-Fabien-sur-Mer du *Scirpus cyperinus*. Résultats selon les types de couvert végétal (Mou : *Tomentypnum nitens*; Plants : plants d'espèces de fens; Sem : semences d'espèces de fen; Sph : *Sphagnum warnstorffii* et Tnue : tourbe nue) et le régime hydrique (bas, fluctuant ou haut).

FLUCTUATION DES NIVEAUX D'EAU : L'analyse de la quantité de biomasse produite a démontré que le régime hydrique n'influence pas la productivité et la compétitivité du *Scirpus cyperinus*, du *Glyceria* ni du *Calamagrostis*. Le

Glyceria n'arrive pas à s'implanter au travers du *S. cyperinus* peu importe le régime hydrique, alors que le *Calamagrostis* arrive à s'implanter et se maintenir, mais sans entraîner de perturbation sur le développement du *Scirpus*.

Faits saillants :

- La présence d'un couvert végétal préétabli peut empêcher, dans une certaine mesure, l'implantation du *Scirpus cyperinus* par graine.
- À elle seule, la stabilisation du niveau d'eau n'est pas une stratégie suffisante pour permettre l'établissement des espèces typiques des fens au travers du *Scirpus cyperinus* afin d'en diminuer la productivité. Seul le *Calamagrostis* pourrait s'implanter parmi le *Scirpus*, mais ne permettrait toutefois pas de limiter le développement de celui-ci.
- Il apparait aussi que le *S. cyperinus* est une espèce très compétitive dans ce contexte et qu'on devrait envisager de contrôler sa présence dès l'abandon du site après l'arrêt de la récolte de la tourbe, donc avant qu'il ne s'implante, plutôt que d'essayer de limiter sa croissance par la compétition une fois qu'il domine le paysage.

C) Suivi de la végétation

Problématique et contexte :

Pour évaluer le succès de la restauration de Saint-Fabien-sur-Mer, un premier inventaire de la végétation a été réalisé à l'automne 2014, dans le cadre du suivi pancanadien des tourbières restaurées (protocole à l'Annexe 1).

Méthodologie :

Des relevés de végétation ont été effectués dans cinq parcelles permanentes (comprenant des sous-parcelles), réparties à travers la zone A (où la méthode de transfert de la couche muscinale a été utilisée; voir Figure 18 plus haut). Cet inventaire vise à évaluer la diversité et le recouvrement des communautés végétales présentes, ainsi qu'à suivre leur établissement au fil des années en le comparant à celui de sites de références.

Résultats préliminaires :

En moyenne, trois ans après la restauration, les plantes vasculaires couvraient 34 ± 12 % (\pm erreur type) de la surface, alors que les bryophytes en couvraient 37 ± 13 %. Il faut toutefois noter qu'il existe une grande hétérogénéité sur le site et que les espèces dominantes et leur recouvrement peuvent varier grandement entre les parcelles. Le Tableau 8 présente le portrait des cinq parcelles inventoriées.

Tableau 8 Recouvrement moyen (%) des espèces dominantes dans les cinq parcelles permanentes de Saint-Fabien-sur-Mer en 2014

Espèces dominantes	Parcelle permanente				
	1	2	3	4	5
Vasculaires	8	10	66	31	54
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	2	2	3	1	<1
<i>Equisetum arvense</i>	0	<1	40	13	0
<i>Poa palustris</i>	0	2	0	11	4
<i>Scirpus cyperinus</i>	<1	0	16	2	40
<i>Solidago graminifolia</i>	<1	<1	<1	6	9
Invasculaires	27	17	65	24	50
<i>Sphagnum rubellum</i>	6	3	53	8	38
<i>Polytrichum strictum</i>	20	14	15	13	1
Total végétation	24	29	92	44	75

Le recouvrement élevé de *S. rubellum* dans les parcelles no. 3 et 5 après seulement trois ans est un bon indicateur que la restauration devrait certainement se solder par le retour d'une communauté végétale typique des

tourbières⁶⁸. Au contraire, le faible recouvrement total de la végétation et plus particulièrement des sphaignes dans les parcelles no. 1, 2 et 4 ne permettent pas de déclarer le succès de la restauration dans ces secteurs, puisque leur trajectoire demeure incertaine⁶⁹. Néanmoins, le recouvrement important de *Polytrichum strictum* (une espèce compagne pour l'établissement des sphaignes⁷⁰) dans ces parcelles pourrait favoriser l'établissement de la sphaigne à plus long terme.

Faits saillants :

- Deux des parcelles inventoriées en 2014 présentent une tendance vers un succès de restauration. Les trois autres ont une trajectoire encore incertaine.
- Le suivi à plus long terme des parcelles, déjà prévu par le GRET, sera nécessaire pour confirmer le succès de restauration dans ces secteurs.
- Puisque des espèces envahissantes sont présentes sur le site (mais hors des parcelles d'inventaire), un suivi attentif de celles-ci, en plus des inventaires à long terme, devra être planifié pour empêcher leur établissement dans la portion restaurée.

⁶⁸ GONZÁLEZ, E., ROCHEFORT, L., BOUDREAU, S., HUGRON, S., POULIN, M. 2013. Can indicator species predict restoration outcomes early in the monitoring process? A case study with peatlands. *Ecological Indicators* 32: 232-238

⁶⁹ GONZÁLEZ, E., ROCHEFORT, L. 2014. Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. *Ecological Engineering* 68: 279-290.

⁷⁰ GROENEVELD, E. V. G., ROCHEFORT, L. 2002. Nursing plants in peatland restoration: on their potential use to alleviate frost heaving problems. *Suo* 53(3-4): 73-85.

6. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le mandat confié au Groupe de recherche en écologie des tourbières par le ministère des Transports du Québec était celui de développer des approches de restauration applicables aux tourbières minérotrophes (fens) perturbées par les activités industrielles de récolte de tourbe. En rétrospective, le travail effectué représente un très bon départ de mission, car les plantes cibles nécessaires à la restauration des fens ont été identifiées pour la région du Bas-Saint-Laurent, des méthodes de récolte (graines ou propagules) et de propagation ont été développées et on sait maintenant comment établir plusieurs espèces végétales de fen en tourbière dégradée dans des parcelles expérimentales mises en place à la main. Au site expérimental de Bic-Saint-Fabien, la restauration mécanisée d'un fen dégradé, pour laquelle une attention particulière a été portée sur la réintroduction des bryophytes, est une première au Canada et même en Amérique du Nord. Ainsi, le travail réalisé par le GRET au cours des trois dernières années, grâce en majeure partie au soutien financier du ministère des Transports du Québec, a permis de faire avancer considérablement les connaissances dans le domaine de la restauration écologique des fens. Les expériences ont tantôt mené à des conclusions satisfaisantes, tantôt elles ont justifié la modification des façons de faire ou, encore, elles ont poussé à poser de nouvelles questions. Dans tous les cas, il va sans dire que les expériences réalisées et les connaissances acquises sur le terrain ont permis de mieux adapter, pour la restauration des fens, la méthode de restauration par transfert muscinal développée pour les bogs.

Par ailleurs, la mission du GRET était aussi de fournir au Ministère un document de référence afin de mieux aborder les enjeux de restauration des fens, dans un contexte, entre autres, de la préparation de devis dans le cadre de mesures de compensation pour la perte de milieux humides de types tourbeux et minérotrophe. Tous les documents constituent des références précieuses à ce titre, ou encore peuvent servir pour tous travaux de restauration touchant les fens. Plus particulièrement, le document «Restauration des tourbières minérotrophes – État des connaissances» présenté à l'annexe 3 regroupe les éléments-clés à considérer, tels que discutés dans le présent rapport.

La tourbière de Bic-Saint-Fabien est une station de recherche remarquable. La disponibilité de données d'inventaires menés avant la restauration, la proximité de tourbières naturelles adjacentes et la présence d'autres fens de référence intacts dans la région en font un site de recherche bien utile. La caractérisation des milieux environnants et la définition d'un écosystème de référence ont servi à la planification de la restauration de la tourbière de Bic-Saint-Fabien et demeurent le modèle vers lequel les actions de restauration sont orientées. Ces informations sont inestimables pour tous les projets de recherche qui auront lieu dans la région. L'Annexe 2 de ce document fournit

une description détaillée des sept fens inventoriés qui ont servi à définir l'écosystème de référence. Nous espérons que ce document puisse contribuer à la protection et à la conservation de ces sites précieux.

Les travaux menés à la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer ont, pour leur part, fourni une occasion unique de restaurer un site en intégrant plusieurs types de milieux humides. Cette restauration en mosaïque a permis d'expérimenter non seulement la réhabilitation de divers types de tourbières, mais aussi celle de marécages, ainsi que d'introduire des éléments de biodiversité par la plantation d'arbres et d'arbustes fruitiers et la création de mares. Le suivi de la tourbière en termes d'hydrologie et de végétation permet de peaufiner la méthode de restauration. Aussi, les interventions à venir (selon les réflexions déjà amorcées avec des collaborateurs) sur les communautés de plantes envahissantes (*Phragmites australis*) et indésirables (*Scirpus cyperinus*) permettent de développer un savoir-faire sur les techniques de contrôle de la végétation dans un contexte de restauration.

La subvention accordée au GRET pour la réalisation de ce mandat constitue la principale source de financement des activités réalisées à Bic-Sainte-Fabien et Saint-Fabien-sur-Mer entre 2012 et 2015. Elle a permis la mise en place et la réalisation d'expériences afin d'acquérir des connaissances sur la restauration des fens, ainsi qu'à faire l'acquisition de données à plus long terme (par exemple, d'hydrologie et de végétation). Au total, cinq professionnelles de recherche, six étudiants de 2^e et 3^e cycles, quatre stagiaires de niveau collégial, trois stagiaires internationaux et une quinzaine d'assistants de recherche au baccalauréat (provenant des équipes de l'Université Laval, de l'Université de Waterloo et de l'Université de Calgary) ont participé à des projets financés, directement ou non, à partir de la subvention du MTQ. Plusieurs articles scientifiques et thèses d'études portant sur les recherches à la tourbière de Bic-Sainte-Fabien (directement reliés au mandat du MTQ ou non) devraient d'ailleurs être produits dans les prochaines années.

Certains des projets de recherche et suivis réalisés entre 2012 et 2015 se poursuivront jusqu'en avril 2018 (soit jusqu'à la fin du troisième mandat de la Chaire de recherche industrielle du CRSNG ⁷¹ en aménagement des tourbières, s'étendant de 2013 à 2018, dont Line Rochefort est titulaire). Le GRET et ses collaborateurs dresseront alors un nouveau bilan de l'état de la tourbière de Bic-Sainte-Fabien afin d'en évaluer la trajectoire écologique. Par ailleurs, certaines expériences discutées dans ce document feront l'objet d'interprétations supplémentaires en vue de la publication scientifique des résultats. Enfin, il va sans dire que de nombreuses connaissances restent encore à acquérir à propos de la restauration des fens. À la tourbière de Bic-Sainte-Fabien, l'écosystème semble se remettre en place, mais les techniques mécaniques de transfert de matériel végétal favorisant l'établissement des mousses brunes demeurent un échec. On a bien réussi à manipuler et rétablir des mousses brunes (*Campyllum*, *Scorpidium*, *Tomenthypnum*) par

⁷¹ Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

introduction manuelle, mais lorsque le matériel est manipulé mécaniquement, sa survie est plus difficile. Une question qui va assurément guider une partie des recherches du GRET dans les prochaines années. Par ailleurs, il n'est pas possible pour le moment de déterminer la liste précise des indicateurs de succès des projets de restauration des fens en raison de l'état encore peu avancé des connaissances sur le sujet. La poursuite des suivis à grande échelle (inclusion de nouveaux sites) et à long-terme (hydrologiques, de végétation, du carbone, de l'état général du site) ainsi que l'analyse attentive des données recueillies seront nécessaires afin de développer ces indices et de définir la trajectoire écologique des fens restaurés. À titre d'exemple, le GRET a défini pour la première fois des indicateurs de succès de la restauration des bogs en 2014⁷², soit près de 20 ans après les premiers essais de restauration. Pour l'instant, les objectifs de restauration des fens visent à se rapprocher des écosystèmes de référence et à combler les attentes plus spécifiques des projets de restauration tels que la biodiversité, la stabilisation du sol ou le captage de carbone.

⁷² GONZÁLEZ, E., ROCHEFORT, L. 2014. Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. *Ecological Engineering* 68: 279-290

**RAPPORT FINAL - RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES TOURBIÈRES DE BIC-SAINTE-FABIEN
ET DE SAINT- FABIEN-SUR-MER DANS LE BAS-SAINTE-LAURENT**

7. BILAN DES DÉPENSES

Le budget prévu pour la durée totale de l'étude, soit de juillet 2012 à janvier 2015, était de 200 000 \$ (voir la troisième colonne du Tableau 9). À la fin des 30 mois de l'étude, soit au 15 janvier 2015, l'ensemble du budget prévu avait été dépensé (voir deuxième colonne du Tableau 9). Voici les détails par catégorie de dépenses.

Tableau 9 Bilan des dépenses par poste budgétaire, du 9 juillet 2012 au 15 janvier 2015

Postes budgétaires	Dépenses réelles au 15 janvier 2015	Prévisions (juillet 2012 à janvier 2015)*
1. Salaires	128 033 \$	109 000 \$
Assistants de recherche de 1 ^{er} cycle	29 176 \$	45 000 \$
Étudiants de 2 ^e cycle	35 167 \$	18 000 \$
Autres : Professionnelles de recherche	54 626 \$	46 000 \$
Stagiaire postdoctoral	8 447 \$	0 \$
Étudiante de 3 ^e cycle	617 \$	0 \$
2. Matériel et fourniture	25 891 \$	45 700 \$
Fourniture pour le terrain (matériel divers de terrain)	4 975 \$	5 500 \$
Équipement pour le terrain et utilisation de machinerie	1 655 \$	5 200 \$
Autres : Production de matériel végétal pour plantations	10 659 \$	25 000 \$
Analyses chimiques	8 602 \$	10 000 \$
3. Frais de déplacement et de séjour	45 498 \$	44 000 \$
Rencontres avec le Comité de suivi	771 \$	400 \$
Déplacement sur le terrain (location véhicules, frais de subsistance, hébergement)	44 728 \$	44 000 \$
4. Frais de communication et de production de rapport	577 \$	900 \$
Appels interurbains et télécopies	282 \$	300 \$
Impression et mise en page de rapports (frais de reprographie)	295 \$	600 \$
5. Divers	0 \$	0 \$
6. Imprévus	0 \$	0 \$
Grand total	200 000 \$	200 000 \$

* Budget total prévu à l'Annexe A du devis de recherche

7.1 Salaires

Les salaires représentaient, au 15 janvier 2015, 64 % des dépenses, ce qui dépasse les 54,5 % prévus dans le devis.

La part du salaire des professionnelles de recherche, soit pour Marie-Claire LeBlanc, Sandrine Hogue-Hugron, Noémie D'Amour et Claire Boismenu (équipe de Line Rochefort) et Élisabeth Groeneveld (équipe de Claude Lavoie), a dépassé de 8 600 \$ les prévisions. Le projet comptait une multitude d'objectifs et de dispositifs expérimentaux et que l'expertise des professionnelles de recherche était nécessaire pour la mise en place et le suivi de ceux-ci. Les professionnelles de recherche étaient également responsables de la supervision du travail des assistants de terrain de 1^{er} cycle et elles aident les étudiants des études supérieures dans leurs projets de maîtrise et de doctorat. Au cours des dernières semaines, les professionnelles de recherche ont eu à analyser et interpréter plusieurs des données récoltées depuis 2012 et à rédiger le présent rapport et ses annexes.

Les plus grands écarts entre les prévisions et les dépenses s'observent au niveau des salaires des étudiants de 2^e cycle et de 1^{er} cycle. En effet, un plus grand montant de salaires que prévu a été dépensé pour les étudiants de 2^e cycle. Un soutien financier a été accordé à deux étudiants à la maîtrise : Julie Lajoie (projet sur l'écologie du *Scirpus cyperinus* à SFM) et André-Philippe Drapeau Picard (projet sur le retour des arthropodes dans les mares restaurées de la tourbière de Bic-Sainte-Fabien). Julie Lajoie devrait soumettre son mémoire au cours de l'hiver 2015. André-Philippe Drapeau Picard travaillera pendant l'hiver et l'été 2015 à la fin des analyses de ses résultats et à la rédaction de son mémoire. Aucun salaire n'a été payé par les fonds du ministère des Transports du Québec pour les projets de maîtrise de Golnoush Hassanpour Fard (projet sur le retour de la fonction d'accumulation de carbone à BSF, Université de Calgary) et de Shannon Malloy (projet sur le rétablissement d'un régime hydrologique approprié à BSF Université de Waterloo). Stéphanie Lefebvre-Ruel (Université Laval), qui a commencé sa maîtrise en 2014 sur la zone de connectivité entre les secteurs restaurés et naturels de BSF, n'a pas non plus reçu de salaire provenant du budget du MTQ. Ces étudiantes ont été soutenues par d'autres sources de financement du GRET.

En contrepartie aux dépassements des coûts observés dans les postes budgétaires des étudiants de 2^e cycle, moins de dépenses de salaire ont été attribuées aux assistants de terrain et de laboratoire de 1^{er} cycle, ce qui a permis d'atteindre un certain équilibre dans le poste budgétaire des salaires.

À noter qu'un salaire a été payé à l'automne 2014 par les fonds du MTQ pour la rédaction d'une grande partie de l'Annexe 2 par Vicky Bérubé, étudiante au doctorat (en complément à sa bourse du Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies). Également, le stagiaire postdoctoral Rémy Pouliot a

participé aux analyses et à l'interprétation des données recueillies pour le projet. Un soutien financier lui a donc été accordé à l'automne 2014.

7.2 Matériel et fourniture

Ce poste n'a atteint que 57 % du budget pour les 30 mois de l'étude. En effet, en raison du retrait de certaines expériences prévues à la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer (sur les laggs et sur le suivi des échanges de carbone notamment), il y a eu moins de dépenses de matériel et de fournitures. D'autre part, à SFMS, les travaux de contrôle du roseau (*Phragmites*) n'ont pas été réalisés pendant la période couverte par ce rapport; ils le seront en 2015 dans le cadre d'un projet de maîtrise qui inclura d'autres sites envahis. En ce qui concerne la tourbière de Bic-Saint-Fabien, il y a eu moins de travaux additionnels de restauration avec de la machinerie que ce qui avait été anticipé, car il y avait une assez grande quantité de matériel végétal disponible au site donneur. On a plutôt, par exemple, fertilisé les secteurs déjà restaurés, compte tenu des bons résultats obtenus à ce sujet (voir section 5.1.2 E). Également à BSF, l'achat de bois pour la construction de trottoirs a été moindre que ce qui avait été présenté dans le devis de recherche, grâce à l'utilisation d'autres matériaux (rebut de scierie).

Les fonds inutilisés ont servi plutôt à la catégorie des salaires (voir plus haut).

Ainsi, la majeure partie des dépenses de cette catégorie a été associée à la production de matériel végétal pour les plantations en 2012 et 2013. Les plants ont été produits en serre à l'Université Laval, ainsi que chez Biopterre – Centre de développement de bioproduits à La Pocatière et chez Québec Multiplants.

Les frais d'analyses chimiques de l'eau récoltée en 2012, 2013 et 2014 constituent le second type de dépenses les plus importantes dans cette catégorie. Toutefois, comme les analyses des échantillons de 2014 ne sont pas terminées, un virement de fonds avec un autre projet du GRET a été fait de façon à anticiper les coûts de ces analyses.

Par ailleurs, parmi le matériel et les fournitures acquis pour les travaux de terrain, notons : matériel d'identification des parcelles expérimentales, bâches, tuyaux de PVC pour mesurer la nappe phréatique, produits pour les tests de viabilité des graines, matériel pour le montage d'un herbier de référence pour les plantes des tourbières de Bic-Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer et matériel pour la capture et la conservation d'arthropodes.

Certaines des autres dépenses de cette catégorie concernent les mesures des flux de gaz à effet de serre à la tourbière de Bic-Saint-Fabien, menés par l'étudiante de 2^e cycle Golnoush Hassanpour Fard de l'université de Calgary en 2012.

7.3 Frais de déplacement et de séjour

Dans ce poste budgétaire, les dépenses ont assez bien représenté les objectifs fixés pour la durée de l'étude (un petit dépassement du montant prévu). On y trouve une partie des déplacements en avion de l'équipe de l'université de Calgary en 2012 (étudiante de maîtrise et ses assistants de terrain) et une grande portion des déplacements effectuée de 2012 à 2014 entre Québec et le Bas-Saint-Laurent par l'équipe de l'Université Laval pour les plantations, les suivis de végétation, la stabilisation du substrat et les autres objectifs. Les déplacements entre les sites de recherche et le lieu d'hébergement au Bas-Saint-Laurent, de même que les frais de subsistance des équipes de terrain, font aussi partie de ces frais. Cette catégorie couvre de plus des coûts d'hébergement des équipes au gîte Le Ladrière, situé à quelques kilomètres des sites de Bic-Sainte-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer, pendant les trois étés de terrain.

Des rencontres avec le Comité de suivi en octobre 2012 et en mai 2014 ont également été comptabilisées dans ce poste budgétaire.

7.4 Frais de communication et de production de rapport

Les frais de communication et de production de rapports ne représentent qu'un peu plus de la moitié des coûts anticipés. Comme l'impression du rapport final et de ses annexes n'était pas encore terminée le 15 janvier 2015, un virement de fonds avec un autre projet du GRET a été fait de façon à anticiper les coûts d'impression.

7.5 Bilan financier final

En conclusion, le montant total du financement accordé à l'équipe du GRET pour cette étude a été utilisé de façon à respecter le mieux possible les montants prévus dans chacune des catégories budgétaires. La plupart des dépenses ont été attribuées aux salaires des étudiants et des professionnels de recherche, ainsi qu'aux travaux de terrain.

Comme dans toute étude menée sur une période de plusieurs mois, des modifications ont dû être apportées en cours de route aux différents projets suivis, à l'initiative du chercheur principal et selon de nouvelles requêtes du Ministère quant aux livrables. Ainsi, il y a eu, pour certains postes budgétaires, quelques dépassements de coûts ou encore des dépenses moindres que celles qui étaient anticipées au départ.

Annexe 1
Protocoles des principales expériences réalisées
à la tourbière de Bic-Sainte-Fabien

PROTOCOLES DES EXPÉRIENCES RÉALISÉES À BIC—ST-FABIEN ET ST-FABIEN-SUR-MER

(Annexe 1 du rapport final « Restauration écologique des tourbières
de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer
dans le Bas-Saint-Laurent » - R719.1)

Groupe de recherche en écologie des tourbières
Université Laval

Groupe de rédaction : Marie-Claire LeBlanc, Sandrine Hogue-Hugron,
Claire Boismenu et Line Rochefort

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec



17 mars 2015

Table des matières

5.1.1 A) Protocole de propagation de plantes vasculaires: stratification et viabilité des semences	2
5.1.1 B) Protocole de propagation de plantes vasculaires : semis <i>in situ</i>	4
5.1.1 C) Protocole de propagation des bryophytes: production de mousses brunes <i>in situ</i>	6
5.1.1 D) Protocole de détermination du seuil de survie des mousses brunes.....	8
5.1.2 A) Protocole d'évaluation de la survie des plantations	11
5.1.2 C) Protocole d'expérience de compétition entre les espèces et biodiversité.....	14
5.1.2 D) Protocole d'expérience sur l'influence des cypéracées sur l'implantation des mousses	20
5.1.2 E) Protocole d'expérience sur la fertilisation et le chaulage des zones restaurées	25
5.1.6 A) Protocole de récolte, conservation, préparation et analyse des échantillons d'eau.....	29
Protocole de suivi pancanadien des tourbières restaurées	34

Cette annexe présente les protocoles de dix expériences et suivis réalisés dans le cadre du projet de restauration de la tourbière de Bic–Saint-Fabien (BSF) ainsi que le protocole de suivi pancanadien des tourbières restaurées, appliqué à Bic-St-Fabien ainsi qu'à Saint-Fabien-sur-Mer pour le suivi de la végétation. La numérotation qui précède le nom du protocole réfère à la section qui en parle dans le rapport « Restauration écologique des tourbières de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer dans le Bas-Saint-Laurent ».

Tous les protocoles ont été élaborés par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) de l'Université Laval. À noter que les protocoles font parfois référence à des documents de travail ou des fichiers de données qui ne sont pas fournis dans cette annexe.

5.1.1 A) Protocole de propagation de plantes vasculaires typiques des fens : stratification et viabilité des semences

(Ce protocole est celui de l'expérience réalisée en 2013. La méthode suivie en 2012 est sensiblement la même, à l'exception des espèces utilisées.)

Objectif : Dans le cadre de la production de plantes de fens destinées à la revégétalisation d'une tourbière minérotrophe, déterminer, pour 7 espèces de plantes vasculaires typiques des tourbières minérotrophes :

- 1) si la stratification augmente le taux de germination;
- 2) quelle est la durée idéale de stratification.

Contexte : Les travaux de restauration de la tourbière de Bic–Saint-Fabien ont commencé en 2009. Depuis, afin de revégétaliser le site, des graines d'espèces typiques des tourbières minérotrophes de la région de Rimouski et du Bic (liste colligée par Vicky Bérubé en 2009) sont récoltées chaque année. La production de plants à partir de ces graines a permis de planter sur le site de 10 000 à 12 000 végétaux chaque année de 2010 à 2012.

Les renseignements relatifs à la production (stratification, germination, croissance) des espèces de tourbières minérotrophes sont plutôt rares et les différentes étapes de production sont souvent réalisées de façon uniforme pour toutes les espèces. Le but de ce projet est d'évaluer l'importance de la stratification des graines et de déterminer la durée idéale de la stratification de 7 espèces récoltées en 2012.

Traitements : Quatre traitements sont testés dans le cadre de cette expérience :

- Aucune stratification (conservation des graines à 4 °C au sec)
- Stratification à ± 3 °C pendant 50 jours
- Stratification à ± 3 °C pendant 75 jours
- Stratification à ± 3 °C pendant 90 jours

Méthodes : Sept espèces ont été retenues pour cette expérience : *Carex aquatilis*, *C. disperma*, *C. echinata*, *C. magellanica*, *Trichophorum alpinum*, *T. cespitosum*, *Triglochin palustris*. Les espèces ont été choisies en fonction du nombre de graines récoltées pendant l'été et l'automne 2012 (un grand nombre de graines est nécessaire pour réaliser l'expérience) et pour leur intérêt dans le projet de restauration (volonté de produire efficacement ces espèces pour la revégétalisation).

Entreposage : Toutes les graines ont été placées dans des sacs de papier et ont été séchées à l'air libre jusqu'au 16 octobre 2012. Les graines ont alors été nettoyées en les séparant des branches et des plus grandes structures, puis mises au réfrigérateur entre 5,5 et 6,7 °C (réfrigérateur du département du pavillon Paul-Comtois, CMT-3239) dans des sacs de papier placé dans un sac de plastique entrouvert.

Stratification : Le 4 mars 2013, les graines ont été humidifiées en formant des baluchons à l'aide de coton-fromage, puis imbibées d'eau distillée¹ pendant une heure. Les baluchons ont ensuite été placés dans des sacs de plastique de type *Ziploc* contenant du sable humide (contenant de l'eau distillée). Les sacs ont été entreposés à la noirceur le lendemain (5 mars) dans une boîte de carton, dans le réfrigérateur du département de phytologie (± 3 °C) pour stratification. Un lot de graines de chacune des espèces a aussi été entreposé au réfrigérateur à ± 5 °C au sec.

Germination : À échéance du nombre de jours de chacun des traitements (voir le calendrier plus bas), 150 graines (6 répliquats de 25 graines chacun) pour chacune des espèces ont été retirées des baluchons et mises en germination. Pour ce faire, les graines ont été placées dans des plats de Pétri entre deux papiers filtres imbibés d'eau distillée par lots de 25 graines. Les plats de Pétri ont ensuite été scellés à l'aide de pellicule de paraffine (Parafilm) (pour éviter la dessiccation) et placés en chambre de croissance au département de phytologie selon les paramètres suivants : photopériode = 14h (éclairage par néon et lampes halogènes), température = 19 °C, humidité = 80 %. Les graines n'ayant pas à être stratifiées ont été mises à germer en même temps que celles ayant subi un traitement de 75 jours de stratification. Les graines ont été arrosées avec de l'eau déionisée tous les 2 ou 3 jours, selon l'humidité restante dans les plats de Pétri. Les graines devaient demeurer humides, mais il ne devait pas y avoir accumulation d'eau dans les plats de Pétri.

Décompte : Chaque semaine, le nombre de graines ayant germé a été déterminé. Les graines germées ont ensuite été retirées des plats de Pétri pour éviter les moisissures et la contamination, ainsi que pour faciliter le dénombrement des nouvelles graines germées. Le dénombrement s'est poursuivi pendant 4 semaines. Une nouvelle pellicule de paraffine était placée après chaque décompte et arrosage.

Viabilité : En parallèle aux tests de germination, 50 graines non stratifiées (provenant du lot entreposé au réfrigérateur à ± 5 °C au sec) ont été utilisées pour réaliser des tests de viabilité au tétrazolium. Le protocole suivi est celui utilisé au laboratoire du GRET, tel que décrit par Tommy Landry.

Calendrier

Traitement	Date de stratification	Date de mise en germination
Aucune stratification (4 °C au sec)	Aucune stratification	19 mai 2013
Stratification à ± 3 °C pendant 50 jours	5 mars 2013	24 avril 2013
Stratification à ± 3 °C pendant 75 jours		19 mai 2013
Stratification à ± 3 °C pendant 90 jours		3 juin 2013

¹ Erreur de manipulation : utiliser plutôt de l'eau déionisée.

5.1.1 B) Protocole de propagation de plantes vasculaires typiques des fens

Objectif : Déterminer s'il est possible de semer certaines espèces directement à partir de graines, à la volée sur le terrain.

Des graines provenant de la récolte de 2012 ont été stratifiées pendant l'hiver 2013 puis semées à la tourbière de Bic-Saint-Fabien au printemps 2013. Les plantations ont été réalisées en 2 blocs (Figure 1), nommés Bloc Nord (planche 9) et Bloc Sud (planche 7).

Les graines ont été semées dans des parcelles de 50 cm x 50 cm le 11 juin 2013. La surface du sol a été nettoyée, désherbée et râtelée. Les graines ont été épanchées puis recouvertes d'une très mince couche de tourbe ($\pm 5\text{mm}$). Les parcelles ont été couvertes de paille (pour éviter que les graines soient emportées avec les pluies) qui a été retirée après un mois. Chacune des parcelles a été numérotée : l'étiquette est située au coin S-E de la parcelle.

Les lots de graines utilisés pour les semis sont les suivants :



Figure 1 : Localisation des blocs de semis pour la propagation de plantes vasculaires typiques des fens à Bic – Saint-Fabien

Espèce	No lot	Date stratif.
<i>Calamagrostis canadensis</i>	2	18-02-2013
<i>Caltha palustris</i>	3	18-02-2013
<i>Carex aquatilis</i>	7	17-01-2013
<i>Carex aquatilis</i>	5 à 8	18-02-2013
<i>Carex disperma</i>	12 à 16	18-02-2013
<i>Carex disperma</i>	16	17-01-2013
<i>Carex echinata</i>	17 à 27	18-02-2013
<i>Carex echinata</i>	27	17-01-2013
<i>Carex flava</i>	28 à 33	18-02-2013
<i>Carex lacustris ou utriculata</i>	61	22-02-2013
<i>Carex lasiocarpa</i>	34-35	22-02-2013
<i>Carex leptalea</i>	36 à 42	22-02-2013
<i>Carex magellanica</i>	48	17-01-2013
<i>Carex magellanica</i>	43 à 55	22-02-2013
<i>Carex prairea ou diandra</i>	57 à 60	22-02-2013

Espèce	No lot	Date stratif.
<i>Conioselinum chinense</i>	62	22-02-2013
<i>Drosera rotundifolia</i>	63	22-02-2013
<i>Eriophorum viridicarinarum</i>	64	05-02-2013
<i>Eriophorum viridicarinarum</i>	63-64	18-02-2013
<i>Menyanthes trifoliata</i>	70	22-02-2013
<i>Parnassia glauca</i>	71	22-02-2013
<i>Sarracenia purpurea</i>	75	23-02-2013
<i>Thalictrum pubescens</i>	76-77	22-02-2013
<i>Trichophorum alpinum</i>	80	05-02-2013
<i>Trichophorum alpinum</i>	84	17-01-2013
<i>Trichophorum alpinum</i>	78 à 84	22-02-2013
<i>Trichophorum cespitosum</i>	85 à 91	22-02-2013
<i>Trichophorum cespitosum</i>	85	17-01-2013
<i>Triglochin palustris</i>	92	17-01-2013
<i>Triglochin palustris</i>	92-93	22-02-2013

Le numéro de lot correspond au numéro de cueillette des graines tel que déterminé dans le fichier « *Master plantations 2013.xls* ». Toutes les graines ont été stratifiées selon la méthode habituelle utilisée au GRET : dans des baluchons de coton-fromage imbibés d'eau déionisée, placés dans des sacs de plastique de type *Ziploc* à 2 °C. Les graines ont été retirées du réfrigérateur le 10 juin 2013.

Conditions abiotiques : Avant les semis, un échantillon composite de la tourbe a été récolté pour chacun des blocs, afin de déterminer le pH et la conductivité des secteurs de semis (Tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs de pH et de conductivité de la tourbe des secteurs de semis *in situ*

Échantillons	Date	Conductivité (µS/cm)	pH	T (°C)
BSF secteur de semis Sud	11 juin 2013	223,0	4,89	21,9
BSF secteur de semis Nord	11 juin 2013	136,7	4,95	22,2
BSF secteur de semis Sud ¹	26 juin 2014	70,1	5,63	-
BSF secteur de semis Nord ¹	26 juin 2014	72,3	5,55	-

¹ Échantillons analysés avec le pH / conductimètre du GRET, à température ambiante.

Suivis de 2013 : Deux inventaires ont été réalisés en 2013, soit un mois et deux mois après l'implantation de l'expérience. Le 8 juillet, un inventaire rapide des parcelles a été mené afin de voir si les graines avaient germé (oui, non ou un peu). Le 15 août, un nouveau suivi des semis a été fait. Une estimation du nombre de plantules ayant germé a été réalisée et une cote de santé a été attribuée à chacune des sous-parcelles.

La cote de santé est déterminée en faisant une moyenne de l'état des végétaux ou encore elle décrit le mieux l'ensemble des plants. 0 : tous morts, 1 : moribonds ... 4 : 100 % santé. Les sous-parcelles ont été photographiées pour avoir une idée visuelle du succès. Les résultats sont disponibles dans le classeur Excel « *Master semis... .xls* »

Suivis de 2014 : Un an après l'implantation de l'expérience, deux inventaires (8 juillet et 11 août) ont été réalisés en suivant la même méthode qu'en 2013 (voir Figure 2). Le 26 juin, un échantillon composite de tourbe de chacun des blocs a été récolté pour la mesure du pH et de la conductivité.



Figure 2 : Bloc de plantation Sud, août 2014, dans l'expérience de propagation de plantes vasculaires typiques des fens (BSF)

5.1.1 C) Protocole de propagation des bryophytes typiques des fens : production de mousses brunes *in situ*

Contexte : La méthode de restauration par transfert muscinal développée par le GRET nécessite une grande quantité de matériel végétal pour ensemercer les sites à restaurer. Ce matériel végétal peut être difficile ou coûteux à obtenir à partir de sites naturels. À BSF, nous évaluons la possibilité de produire sur place des mousses brunes en quantité suffisante pour les besoins de restauration. Il s'agit d'adapter la méthode de la culture de sphaignes (*Sphagnum farming*) aux conditions d'une tourbière minérotophe.

Objectif : Évaluer s'il est possible de produire des mousses brunes en bassins.

Méthode : En avril et mai 2012, des mousses des espèces suivantes ont été récoltées à BSF (dans les secteurs naturels de la tourbière adjacente au site restauré) puis entreposées au réfrigérateur à 4 °C : *Campylium stellatum*, *Tomentypnum nitens* et *Scorpidium cossonii*. Ce sont des espèces communes de la tourbière de Bic-Saint-Fabien qui ont été choisies pour leur potentiel intéressant de production de matériel végétal et leur abondance dans les tourbières de la région.

En juin 2012, 2 stations de culture ont été mises en place afin d'instaurer la culture de mousses brunes (Figure 1). Chaque station comporte 3 bassins, où chacune des espèces est cultivée séparément. Les bassins de 2 m x 4 m ont été creusés de façon à avoir une profondeur de 20 cm sous la surface du sol environnant. Ils ont été construits contre un canal de drainage d'un côté et sont laissés ouverts de l'autre. Les deux autres côtés sont délimités par des planches de bois, qui préviennent le mouvement de l'eau tout en permettant la circulation sans endommager les abords des bassins (Figure 2).

Lors de l'implantation des stations de culture de mousses, chacun des bassins a été creusé, nettoyé de sa végétation et la surface de la tourbe a été pressée et égalisée. Les mousses ont été introduites selon un ratio d'environ 1 :5, recouvertes de paille puis d'un filet photodégradable fixé avec des crochets de métal (en U). Un puits a été installé au centre de chacun des bassins afin de permettre la prise de mesures de hauteur de nappe phréatique et d'échantillons d'eau. L'installation des 2 stations a nécessité 3 personnes pendant 2 jours. Des corrections ont dû être apportées aux travaux initiaux. L'installation s'est terminée le 20 juin 2012.



Figure 1 : Installation des bassins de culture de mousses brunes à Bic-Saint-Fabien (station Sud)

Suivi et inventaires :

VÉGÉTATION : En 2014, des inventaires de recouvrement ont été réalisés dans 10 quadrats de 25 cm x 25 cm placés aléatoirement à l'intérieur de chacun des bassins (total de 60 quadrats inventoriés). Le recouvrement de la végétation muscinale totale, de chacune des espèces de mousses introduites, des autres espèces (comprend toutes les espèces muscinales excepté celle qui a été introduite spécifiquement dans un bassin) et de la paille a été évalué. Chaque quadrat a été photographié. Voir le fichier « *BSF EXP 6_Inv BassinsMousse.xls* » pour les données.

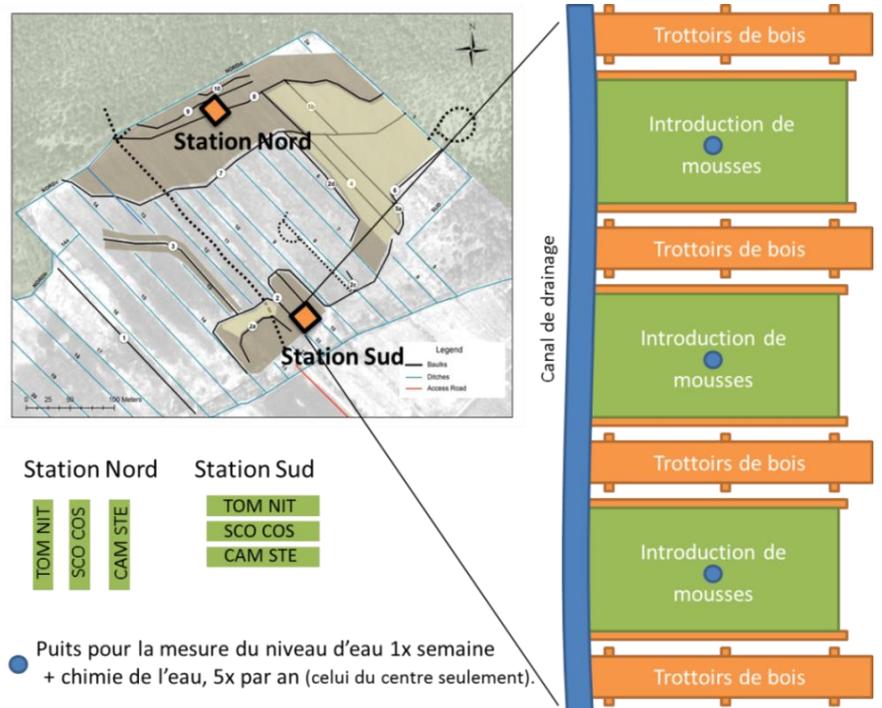


Figure 2 : Localisation et détails des bassins de culture de mousses

- **NAPPE PHRÉATIQUE :** En 2012, une mesure de la hauteur de la nappe phréatique a été prise dans chacun des bassins (3 mesures par station : 6 au total) chaque semaine à l'aide d'un « bulleur », selon la méthode habituelle du GRET. Voir le fichier « *EXP 6_NivEau Bassins mousses 2012-13-14.xls* ». En 2013 et 2014, la même variable a été mesurée dans le bassin du centre de chaque station (2 mesures au total), toutes les semaines, puisque la mesure était semblable dans tous les bassins d'une même station.

- **ANALYSES CHIMIQUES:**

EAU : De l'eau est échantillonnée dans les puits placés au centre de chacun des bassins dans le cadre des tournées de chimie de l'eau (5 fois par année) pour des analyses chimiques. Voir le fichier « *EXP 6_Chimie H2O+pH tourbe 2012-13-14.xls* » et le protocole de chimie de l'eau pour les détails.

TOURBE : En 2013, un échantillon composite de tourbe a été récolté dans chacune des stations afin de connaître et comparer leur pH et conductivité. Voir le fichier de chimie de l'eau, onglet « pH+Cond Tourbe2013 ».

- **HUMIDITÉ RELATIVE ET TEMPÉRATURE :** En 2012 et 2013, un enregistreur HOBO a été installé dans chacun des bassins afin de mesurer les conditions de croissance des mousses (humidité relative et température). Voir le dossier « *HOBOS BassinsCultMousses 2012-13* ».

- **ENTRETIEN :** En 2012, 2013 et 2014, les bassins ont été désherbés une fois par mois pour éviter l'établissement de plantes non désirables : toutes les plantes vasculaires ont été retirées.

- **SUVIS ÉVENTUELS :** (dans les prochaines années, selon l'évolution des bassins...)

- Quantifier l'évolution (accroissement en hauteur) du tapis : portion vivante vs décomposée.
- Évaluer des indices : de santé, de couleur, de longueur de fibre...

5.1.1 D) Protocole de détermination du seuil de survie des mousses brunes

Contexte : Plusieurs projets de restauration de tourbières de plus d'un hectare menés à travers le Canada ont démontré qu'il n'est pas toujours possible de suivre toutes les étapes écologiques de restauration (Rochefort et Lode 2006²) dans un intervalle assez court (une ou deux semaines). Le matériel végétal est habituellement récolté dans une tourbière où les activités de récolte de la tourbe se préparent. Le site de récolte n'est donc pas nécessairement au même endroit que le site restauré. Par conséquent, le matériel est entreposé au site de collecte durant des semaines avant que la logistique de transport soit organisée vers le site restauré. De plus, une fois transporté et déchargé, le matériel peut rester empilé un certain temps avant que l'épandage ne débute.

Ce problème nous amène à nous demander combien de temps le matériel végétal récolté sur le site d'emprunt peut-être entreposé à différentes températures et rester viable pour la restauration du site perturbé. La réponse à cette question pourrait avoir beaucoup d'impact sur le succès ou sur l'échec des projets de restauration ainsi que sur leur coût. Prager et coll. (2012)³ ont démontré que les propagules de sphaignes entreposées dans un réfrigérateur restent viables après 12 mois, mais leur productivité est significativement diminuée. Peu d'expériences ont été en mesure de déterminer les conditions optimales d'entreposage des espèces muscinales dans le but de conserver leur capacité de régénération. Il est d'un grand intérêt pour les gestionnaires de l'industrie de la tourbe de connaître la flexibilité de la méthode de restauration.

Objectifs : Cette expérience de laboratoire a pour but d'évaluer le potentiel de régénération des sphaignes et d'autres mousses à des températures froides extrêmes. L'expérience permet aussi de comparer le taux de succès de la reprise des espèces muscinales selon le moment de la récolte.

Méthodologie :

- 1) **Récolte :** Les mousses *Campylium stellatum*, *Scorpidium cossonii* et *Tomenthypnum nitens* ont été récoltées (0,5 m²) dans les secteurs naturels de la tourbière de Saint-Fabien-sur-Mer par les assistants de recherche.
- 2) **Entreposage :**
 - Entreposage préliminaire : Entre le moment de la récolte et celui de la congélation, les espèces muscinales récoltées sont entreposées dans des sacs de plastique ouverts et maintenues en chambre froide (environ 3 °C) jusqu'à leur utilisation.
 - Entreposage des espèces à des températures froides extrêmes : Pour chacune des espèces, le contenu est séparé en trois afin de mettre des spécimens à -26 °C, à -13 °C et à -4 °C. Le matériel est entreposé dans de gros sacs Ziploc fermés. Aucune manipulation n'est effectuée sur les spécimens avant l'entreposage. Le matériel végétal est congelé tel quel, il n'est ni pressé ni séché avant la mise au congélateur. Cette façon de faire simule l'empilement du matériel végétal entre les étapes de restauration des tourbières.

² ROCHEFORT, L., LODE, E. 2006. Restoration of degraded boreal peatlands. P. 381-423 dans Boreal peatland ecosystems. Wieder, R. K. & D. H. Vitt (éd.) Ecological Studies series, vol. 188. Springer-Verlag, Berlin.

³ PRAGER, A., GAUDIG, G., KREBS, M., SCHULZ, J., GAHLERT, F. JOOSTEN, H. 2012. Are *Sphagnum* propagules still vital when stored up to 12 months? Proceedings of the 14th International Peat Congress, Stockholm, Sweden, No. 365. International Peat Society, Jyväskylä, Finlande [<http://www.peatsociety.org>].

Notes sur les 3 températures froides extrêmes choisies pour l'expérience : Selon Climat Québec, la température moyenne pour la saison hivernale (du 1^{er} décembre au 28 février) à la station météorologique de Deschambault, près de la ville de Québec, est de -5 °C le jour et de -15 °C la nuit. Durant cette même période, des températures moyennes journalières variant entre -20 °C et -30 °C sont enregistrées et équivalent à 28 jours. La température minimale enregistrée pour les dernières années est de -26,5 °C tandis la température maximale est de 13 °C. L'hiver 2013-2014 fut un hiver froid et rigoureux pour le Québec. Selon MétéoMédia, la température hivernale moyenne pour 2014 a oscillée autour de -13 °C.

- -4 °C (Frigo D, GRET) – C'est le congélateur dont la température est la plus près de la température hivernale moyenne au Québec. De plus, ce congélateur est souvent utilisé par le GRET pour entreposer du matériel en vue de son utilisation future;
 - -13 °C (Frigo C) – C'est le congélateur qui possède la température qui se rapproche le plus de la température moyenne pour l'hiver 2013-2014;
 - -26 °C (Frigo B) – Au Québec, chaque hiver, il y a des températures froides extrêmes auxquelles peut être exposé le matériel entreposé.
- Durée de congélation : 2 périodes de congélation
 - Pour chacune des récoltes, les spécimens placés à -4 °C sont entreposés durant 8 semaines. Le GRET entrepose régulièrement du matériel à cette température pour des périodes minimales de 8 semaines.
 - Pour chacune des récoltes, les spécimens placés à -13 °C sont entreposés durant 8 semaines. Le matériel végétal entreposé pendant l'hiver québécois risque d'être exposé environ 8 semaines à des températures avoisinant les -13 °C.
 - Pour chacune des récoltes, les spécimens placés à -26 °C sont entreposés durant 4 semaines. Il y a peu de chance que le matériel végétal entreposé à l'extérieur soit exposé plus de 4 semaines à de telles températures extrêmes. Nous sommes d'avis que si des dommages doivent être causés par le froid extrême, ils se produiront en deçà de cette période de temps.
 - Notes : Cette expérience comporte donc 3 traitements différenciés par la durée de l'entreposage, ainsi que par la température à laquelle les spécimens sont congelés :
 - température de stockage de -4 °C, durée de l'entreposage 8 semaines (-4°C_C8);
 - température de stockage de -13 °C, durée de l'entreposage 8 semaines (-13°C_C8);
 - température de stockage de -26 °C, durée de l'entreposage 4 semaines (-26°C_C4).

3) Préparation des spécimens (mise en plats de Pétri) :

- Après l'entreposage des spécimens, les tiges sont réduites en fragments de 1 à 3 cm de longueur avant d'être placées dans des plats de Pétri sur de la tourbe.
- Il y aura 10 répétitions (10 plats de Pétri) par traitement et 10 tiges par plat de Pétri.
- Au fond de chaque plat de Pétri, une fine couche de tourbe est appliquée. Il est important d'aplatir la tourbe avec une assiette d'aluminium ou un béccher pour s'assurer que la surface soit la plus homogène possible.
- Pour humidifier, de l'eau déionisée est utilisée afin d'éviter la propagation des algues lors de la mise en chambre de croissance.
- Les plats de Pétri sont ensuite scellés avec de la paraffine afin d'éviter les pertes par évaporation.

4) Mise en chambre de croissance :

- Les spécimens préparés sont mis en chambre de croissance après 4 semaines ou 8 semaines d'entreposage (deux durées d'exposition).
- Dans la chambre de croissance, la photopériode est de 10 heures et la température moyenne est de 25 °C. Les spécimens y resteront pendant 10 semaines. – Pas besoin d'une durée plus longue, car en situation réelle, il faut que le matériel végétal montre des signes de reprise avant 10 semaines, compte tenu de la durée de la saison de croissance végétale au Québec.
- 4 néons par tablette sont utilisés comme éclairage. Lors de l'expérience précédente, il fut noté que lorsque 6 néons étaient utilisés pour éclairer chaque tablette, la température intérieure dans la chambre de croissance augmentait considérablement, favorisant l'évaporation à l'intérieur des boîtes de Pétri.
- De l'eau déionisée est ajoutée au besoin pour compenser les pertes par évaporation (l'objectif est de garder les tiges humides, mais non submergées).

5) Évaluation de la reprise en fonction de la date de récolte et de la température :

- L'observation des plats de Pétri placés en chambre de croissance est effectuée aux 5 semaines, sur un total de 10 semaines. Il y a donc 2 évaluations pour chaque traitement. À la suite de l'analyse des volets précédents, l'équipe a constaté qu'il n'est pas nécessaire d'évaluer la reprise des spécimens à une fréquence plus élevée. Les données intéressantes pour répondre aux objectifs de l'expérience traitent principalement du taux de reprise des tiges pour chacun des plats de Pétri. Le résultat final représente le nombre de tiges sur les 10 tiges initiales, pour chaque unité expérimentale, montrant une ou plusieurs nouvelles pousses.

5.1.2 A) Protocole d'évaluation de la survie des plantations

Objectifs : Évaluer le succès d'introduction d'espèces de plantes vasculaires à la tourbière de Bic–Saint-Fabien selon l'espèce et la localisation dans la tourbière.

Contexte : La tourbière de Bic–Saint-Fabien a été restaurée pendant l'hiver 2009. Lors des travaux de restauration, la surface de certains secteurs de la tourbière a été aplanie (« reprofilée ») tandis que d'autres n'ont subi aucune modification. En 2010, des plantations de végétaux ont été réalisées dans les secteurs reprofilés de la tourbière afin d'entreprendre la revégétalisation de ces secteurs et de vérifier la capacité de survie des plants en colonies pures.

Les plantations ont été réalisées pendant la semaine du 24 juin 2010 (Figure 1). Plusieurs assistants de terrain et des participants au programme Mitshishu (stages en environnement pour les jeunes de communautés autochtones) ont participé aux plantations, sous la supervision de Line Rochefort. Les végétaux avaient été produits en serre à l'Université Laval et par Biopterre (Centre de développement de bioproduits, La Pocatière), à partir de semences récoltées par Vicky Bérubé et les assistants de recherche présents dans la région de BSF pendant la saison de terrain 2009. Voir le rapport de production de Biopterre 2010 pour plus de détails sur la production en serre.



Réception des plants de Biopterre



Plantations terminées (*Carex flava*, secteur C)



Introduction des plants par les participants du programme Mitshishu.



Figure 1 : Plantations à la tourbière de Bic – Saint-Fabien en 2010

Méthode : Les espèces plantées sont les suivantes :

<i>Aster</i> sp.	<i>Carex limosa</i>	<i>Iris versicolor</i>	<i>Trichophorum cespitosum</i>
<i>Carex aquatilis</i>	<i>Carex magellanica</i>	<i>Lobelia kalmii</i>	
<i>Carex flava</i>	<i>Carex prairea</i>	<i>Solidago uliginosa</i>	
<i>Carex leptalea</i>	<i>Carex retrorsa</i>	<i>Trichophorum alpinum</i>	

Localisation des parcelles : Les plantations ont été effectuées dans 3 secteurs situés dans la portion nord de la tourbière (Figure 2), soit au bout des planches no. 12 (secteur A), no. 9 (secteur B) et no. 3 (Ouest) + no. 2 (Est) (secteur C). Au total, 63 parcelles, de dimensions variables selon les plantations, ont été installées. Le choix de la localisation des secteurs a été effectué en cherchant à maximiser la dispersion et l'hétérogénéité à travers le site de 16 ha, ceci dans un but de pouvoir inférer les résultats d'implantation pour la plus grande diversité de substrats possible. Voir la carte plus bas.

Un plan de chacun des secteurs a été tracé et les parcelles ont été numérotées de 1 à 63. Sur le terrain, un piquet peint en rouge indique le numéro de secteur (Plantations 2010 – Secteur X) à l'entrée nord de chacun des secteurs, et des piquets rouges indiquent qu'il s'agit d'une zone de plantation (pour éviter le piétinement).

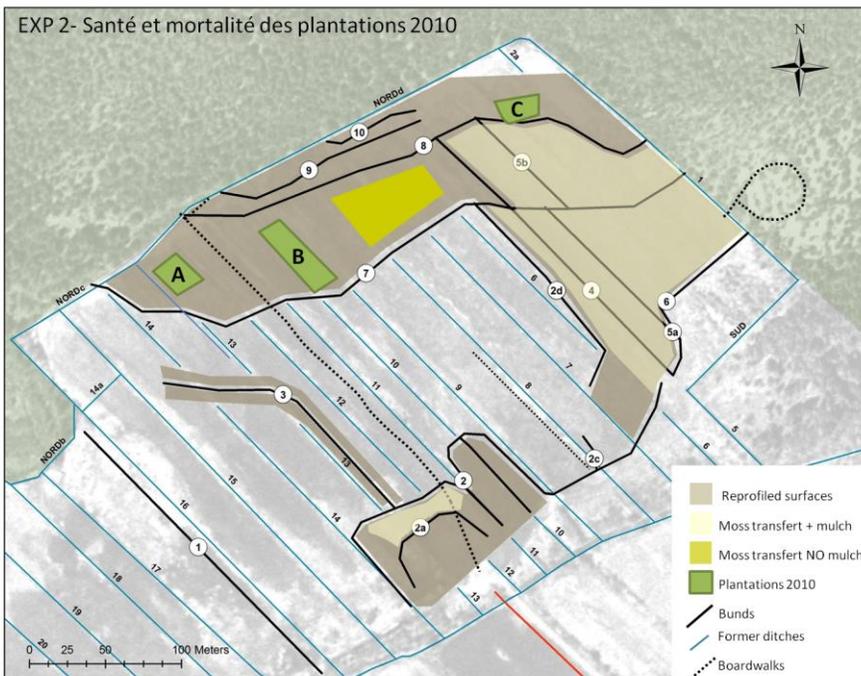


Figure 2 : Localisation des secteurs de plantations à Bic-Saint-Fabien, en 2010.

Suivi et inventaires : Toutes les données sont dans le fichier « *Suivi Plantations BSF_2010-14.xls* ».

VÉGÉTATION : Le 16 août 2010, un premier inventaire des plantations a été réalisé afin d'évaluer rapidement l'état des végétaux plantés. Le nombre de plants survivants a alors été estimé.

Le 29 juillet 2011, le 7 août 2012, le 6 août 2013 et le 5 août 2014, des inventaires ont été conduits, estimant le taux de survie des plants. Il était alors devenu difficile de compter le nombre de plants dans chacune des parcelles, puisque plusieurs espèces s'étaient considérablement multipliées. Chez certaines espèces, le taux de survie était de 100 %, mais plusieurs des plants paraissaient néanmoins moribonds. Pour tenir compte de ces observations, une évaluation de la santé et de la mortalité a été effectuée dans chacune des parcelles.

SANTÉ : Une cote de 0 à 4 a été attribuée à chaque parcelle, en faisant une moyenne de l'état des végétaux ou encore, en décrivant l'ensemble des plants. 0 : MORT, 1 : moribonds... 4 : 100 % en santé.

MORTALITÉ : Une cote de 0 à 4 a été attribuée, estimant le nombre de plants morts. 0 : 0 % morts, 1 : 1-25 %, 2 : 25-50 %, 3 : 50-75 %, 4 : 75-100 %.

HUMIDITÉ DU SOL : En 2014, des données de taux d'humidité du sol ont été collectées le 27 juin (3 jours après la pluie), 30 juin (6 jours après la pluie) et 3 juillet (9 jours après la pluie). Les données ont été prises aléatoirement à 10 endroits à l'intérieur de chacune des parcelles à l'aide d'un appareil WET Sensor de *Delta-T Devices*.

HUMIDITÉ RELATIVE ET TEMPÉRATURE DE L'AIR : En 2014, des données d'humidité relative et de température ont été récoltées à l'aide d'appareils enregistreurs HOBOS dans 9 parcelles (3 par secteur) dans le cadre d'une expérience sur l'effet des cypéracées sur l'établissement des mousses (Protocole 5.1.2. D).

Tableau 1 : Localisation des capteurs d'humidité relative et température en 2014 (parcelles suivies) pour l'expérience sur le suivi de la survie des plantations à BSF

No de parcelle de plantation 2010	No. de parcelle d'introduction (EXP cypéracées)	Localisation	Espèces
24	1	Secteur A	<i>Trichophorum alpinum</i>
44	2	Secteur A	<i>Carex flava</i>
39	3	Secteur A	<i>Carex aquatilis</i>
3	4	Secteur B	<i>Carex aquatilis</i>
4	5	Secteur B	<i>Trichophorum alpinum</i>
22	6	Secteur B	<i>Carex flava</i>
55	7	Secteur C	<i>Carex aquatilis</i>
60	8	Secteur C	<i>Trichophorum alpinum</i>
59	9	Secteur C	<i>Carex flava</i>

PH ET CONDUCTIVITÉ DE LA TOURBE : Dans chacun des secteurs, un échantillon composite de tourbe a été récolté à deux reprises en 2014 (26 juin + 7 août) afin de leur attribuer une valeur de pH et de conductivité. L'analyse a été réalisée en laboratoire (GRET) à l'automne 2014.

5.1.2 C) Protocole d'expérience de compétition entre les espèces et biodiversité

Objectifs : Évaluer si la plantation de végétaux dans les secteurs où la végétation s'est établie spontanément permet :

- d'augmenter la biodiversité (retour des espèces de fens)
- de diminuer l'effet des plantes non désirables/envahissantes (densité et occupation de l'espace).

Contexte : La tourbière de Bic–Saint-Fabien a été restaurée en décembre 2009. Lors des travaux de restauration, la surface de certains secteurs de la tourbière a été rafraîchie (reprofilée) tandis que certains autres n'ont subi aucune modification. La hausse du niveau d'eau qui a suivi le remouillage du site a toutefois affecté l'ensemble de la tourbière. Par endroits, la végétation qui s'est réintroduit spontanément comprend une bonne part d'espèces non désirables ou envahissantes qui couvrent des superficies considérables, en formant parfois des colonies monospécifiques. Ces espèces sont, entre autres, l'*Equisetum arvense*, le *Scirpus cyperinus* (*/atrocintus*) et le *Typha latifolia*.

Des plantations d'espèces indigènes ont été réalisées en 2011 de façon à évaluer l'effet de l'introduction d'espèces « voulues » (typiques des fens) sur : 1) la biodiversité (retour des différentes espèces) et 2) sur la densité des espèces envahissantes.

Les plants introduits proviennent de productions en serre réalisées à l'Université Laval, chez Biopterre et Québec Multiplants à partir de graines d'espèces typiques de fens récoltées pendant l'été et l'automne 2010. D'autres plants ont aussi été achetés chez Horticulture Indigo. Les rhizomes de *Scirpus validus* ont été récoltés à la tourbière Frali, à Saint-Simon, non loin de Saint-Fabien.

Design expérimental :

- Les parcelles ont été mises en place de juin à août 2011. Au total, 32 parcelles de 2 m x 2 m ont été délimitées (voir Figure 3 à la fin de cette section) dans des secteurs de végétation homogène et où peu d'espèces étaient présentes, outre les espèces envahissantes visées par l'expérience (*Equisetum arvense*, *Scirpus cyperinus* et *Typha latifolia*).

- Trois densités d'espèces envahissantes sont testées : dense, moyenne et absente (pratiquement absente). La densité est déterminée selon le nombre de tiges par quadrat de 25 cm x 25 cm :

<i>Equisetum</i> ABSENT :	Moins de 5 tiges
<i>Equisetum</i> MOYEN :	Entre 10 et 20 tiges
<i>Equisetum</i> DENSE :	Plus de 20 tiges
<i>Scirpus cyperinus</i> MOYEN :	Moins de 50 % de couverture
<i>Scirpus cyperinus</i> DENSE :	Plus de 50 % de couverture ⁴

⁴ 50 % de couverture correspond à environ 3 touradons de scirpe de 30 cm de diamètre / m²

- Une moitié (choisie aléatoirement) des parcelles a été végétalisée et l'autre moitié a été laissée intacte (Figure 1), formant ainsi les deux types de traitements. Des végétaux ont été plantés à ± 20 cm les uns des autres, en ajoutant une bande de végétation sur le pourtour de la portion plantée pour contrer l'effet de bordure. Le nombre de plants introduits dans la moitié végétalisée de la parcelle varie entre 96 et 100. Voir Figure 1.

- Chacune des parcelles est installée de façon à ce que l'étiquette soit à droite de l'observateur lorsque la moitié témoin (sans introduction) est à sa droite.

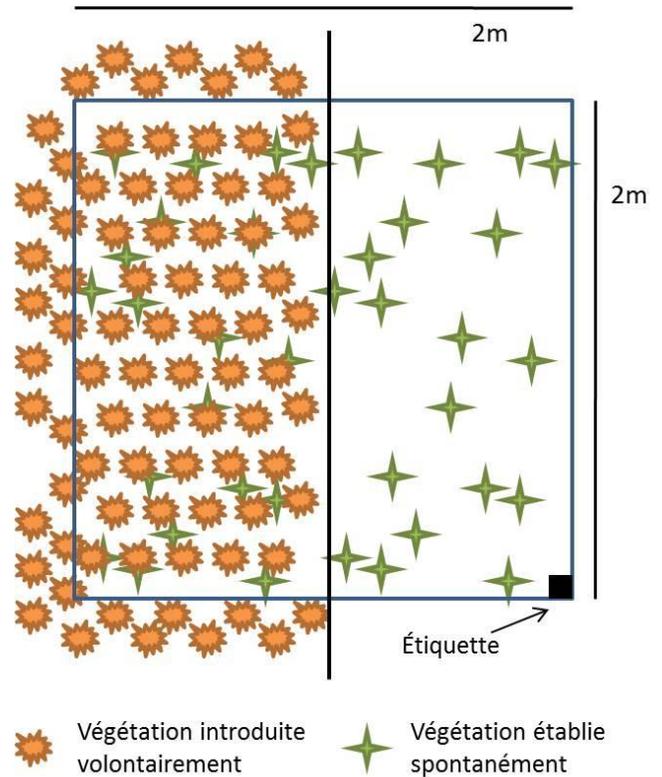


Figure 1: Installation des parcelles pour l'expérience de compétition entre les espèces et biodiversité

Suivi de la végétation 2011-2014

- **Recouvrement végétal** : Évaluation du couvert (% recouvrement) de chaque espèce, une fois par année au début août.

Voir le fichier *BSF_COMPETITION_MASTER 2011-2014_Suivi recouvrement.xls*.

L'évaluation est réalisée dans des quadrats de 50 cm x 150 cm (un quadrat par traitement, donc 2 par parcelle). Voir Figure 2. La méthode d'inventaire de la végétation est inspirée de celle du suivi des tourbières à grande échelle : consultez le document *Protocole pour les relevés de végétation dans les parcelles permanentes* pour plus de détails sur les inventaires de végétation. Le % de recouvrement de toutes les espèces est évalué, ainsi que le % total de toutes les espèces et le sous-total par classe (vasculaire et muscinale). La hauteur moyenne de l'espèce introduite et de l'espèce envahissante (une mesure par espèce, par parcelle) est aussi mesurée.

Une feuille de prise de données est disponible dans le fichier *BSF_COMPETITION_MASTER 2011-2014_Suivi données 2014*.

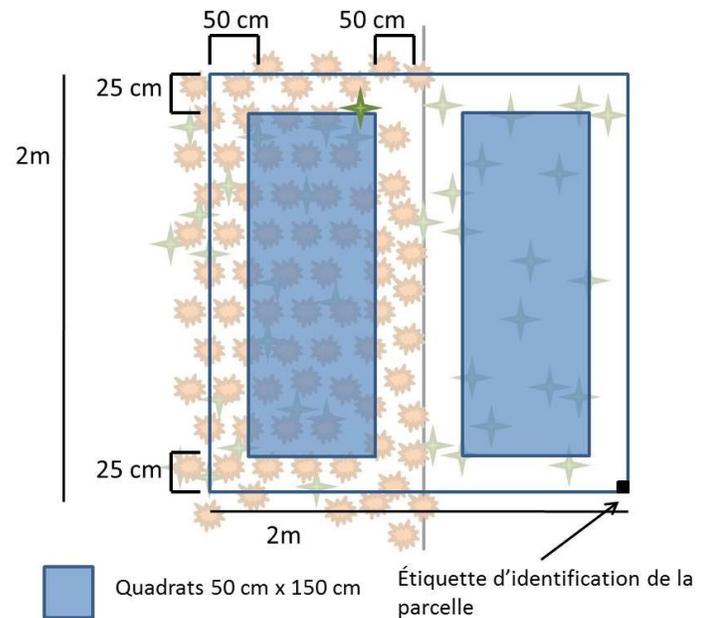


Figure 2: Positionnement des quadrats d'inventaire de recouvrement dans les parcelles de compétition

Le recouvrement des espèces est évalué en suivant la précision suivante :

- Recouvrement < 1 % : présence, indiquer +
- Recouvrement entre 1 – 10 % : au 1 % près
- Recouvrement entre 10 – 20 % : 10, 12, 15, 17, 20 %
- Recouvrement entre 20 – 80 % : au 5 % près
- Recouvrement entre 80 – 90 % : 80, 82, 85, 87, 90 %
- Recouvrement entre 90 – 100 % : au 1 % près

Si des espèces inconnues sont présentes sur moins de 1 % du quadrat, il est inutile de les récolter pour les identifier.

- **Biomasse** : En 2014, la biomasse aérienne (tout ce qui pousse sur le sol, jusqu'à la tourbe) a été récoltée dans 2 quadrats de 40 cm x 40 cm disposés aléatoirement dans chacun des traitements (donc 4 échantillons/parcelle). Les échantillons ont ensuite été placés dans des sacs de plastique de type *Ziploc*, puis réfrigérés le plus rapidement possible. Il est possible d'utiliser des sacs *Ziploc* usagés, si on s'assure que l'identification de chacun des échantillons est bien visible. De retour au laboratoire, les échantillons peuvent être congelés à -4 °C jusqu'au séchage. La pesée de la biomasse permettra de comparer les parcelles avec et sans introduction (y a-t-il synergie?) et pourra être liée aux flux de carbone.

Voir la feuille de collecte de données.

Suivi des conditions abiotiques 2011-2014

- **Indice du degré d'inondation** : Une estimation du % de la superficie couverte par l'eau (au-dessus de la surface) lors d'évènements de pluie ou d'accumulation d'eau a été réalisée le 28 juin 2013. Il s'agit d'une mesure ponctuelle qui servira à comparer les parcelles entre elles. Cette information avait été prise à la demande de M. Chaeho Byun. Voir le fichier *EXP1_Flooding Index Juin2013.xls* pour les résultats.

- **Humidité du sol** : Trois mesures d'humidité du sol ont été réalisées en 2014 à l'aide d'un appareil Wet Sensor à différentes périodes correspondant à des degrés divers d'humidité du sol : 1^{er} juillet (7 jours après la pluie), 3 juillet (9 jours après la pluie), 11 juillet (2,5 jours après la pluie). Cinq (5) mesures ont été prises dans chacun des traitements (introduction + végétation spontanée) des parcelles (dans les 4 coins + le milieu de la parcelle).

- **Rayonnement solaire** : Des mesures de *Leaf Area Index* seront réalisées dans chacune des parcelles à l'aide d'un photomètre SunScan : pour chaque traitement, quatre mesures ont été prises sous ciel clair (1^{er} août 2014). Une deuxième tournée de prise de données sous ciel nuageux était prévue, mais à cause d'un bris, l'appareil n'était pas fonctionnel.

- **Suivi hydrologique** : Chacune des parcelles est associée à un puits (Figure 1). Un échantillonnage des puits pour analyse de la chimie des éléments est réalisé chaque année en mai, juin, juillet et

septembre (voir protocole de Chimie de l'eau BSF) et la hauteur de la nappe phréatique est mesurée chaque semaine à l'aide d'un bulleur.

Tableau 1 : Parcelles et puits hydrologiques associés d'expérience de compétition entre les espèces et biodiversité

No parcelle	Puits associé
24-25-26-27	13B
6	13A
1-11-21	11A
28-29-30	15B
4-5-7-8-9-10-14-15-18-19-22-31	11C
12-16-17-32	7B
23	6D/6E
2	6C

Historique et correctifs :

2011

- Installation des parcelles à partir de juin 2011 (voir Figure 3).
- Suivi (année 0) d'évaluation du couvert (% recouvrement) par Maryse Gendron et Eugénie Marchand-Deshaies, le 10 août 2011. Les estimations ont été réalisées pour l'ensemble de la parcelle (2 m x 2 m).

2012

- Évaluation Présence/absence (suivi ABANDONNÉ; voir protocole version Fév 2013 pour détails) : 11 juin 2012
- Suivi d'évaluation du couvert (% recouvrement; année 1) : 1^{er} août. Les évaluations du couvert végétal des espèces introduites, envahissantes et autres ont été réalisées dans 4 petits quadrats disposés dans chacun des traitements.

2013

- À la suite d'une rencontre entre Chaeho Byun (étudiant au doctorat à l'U. McGill) et Line Rochefort (21 mai), il a été décidé que le suivi d'évaluation du couvert (% recouvrement) se ferait à l'espèce. Dans chacune des parcelles, l'évaluation a été réalisée dans deux quadrats de 50 cm x 150 cm (donc un quadrat pour chaque traitement). De cette façon, les quadrats de 2012 étaient inclus dans le suivi de 2013. Ce changement s'explique qu'en raison de la croissance des plantes, il est nécessaire d'avoir recourt à des quadrats plus grands (par rapport aux plus petites plantes des années suivant l'implantation).
- Inventaire réalisé les 5 et 6 août 2013 par Kim Charron Charbonneau et Mélina Guéné-Nanchen.
- Le 11 juin 2013, le *Typha* a été retiré des parcelles où il entraînait en compétition avec les autres espèces (sauf celles où l'espèce envahissante testée était le *Typha*) pour ne pas nuire au déroulement de l'expérience.

2014

- Végétation (en suivant la méthode déterminée en 2013) au début août 2014.
- Des données additionnelles ont été récoltées (décision du 17 avril 2014) :
 - hauteur moyenne des espèces introduites et envahissantes (une mesure par type d'espèce, par quadrat);
 - mesure du rayonnement solaire au sol (avec appareil SunScan) sous ciel dégagé + nuageux (2 fois durant l'été, juin ou juillet);
 - mesure de l'humidité du sol : 3 ou 4 fois durant l'été, sous différentes conditions de sécheresse.
- La parcelle 18 a été abandonnée (et retirée des bases de données) puisqu'une coulée de tourbe printanière l'a enseveli!

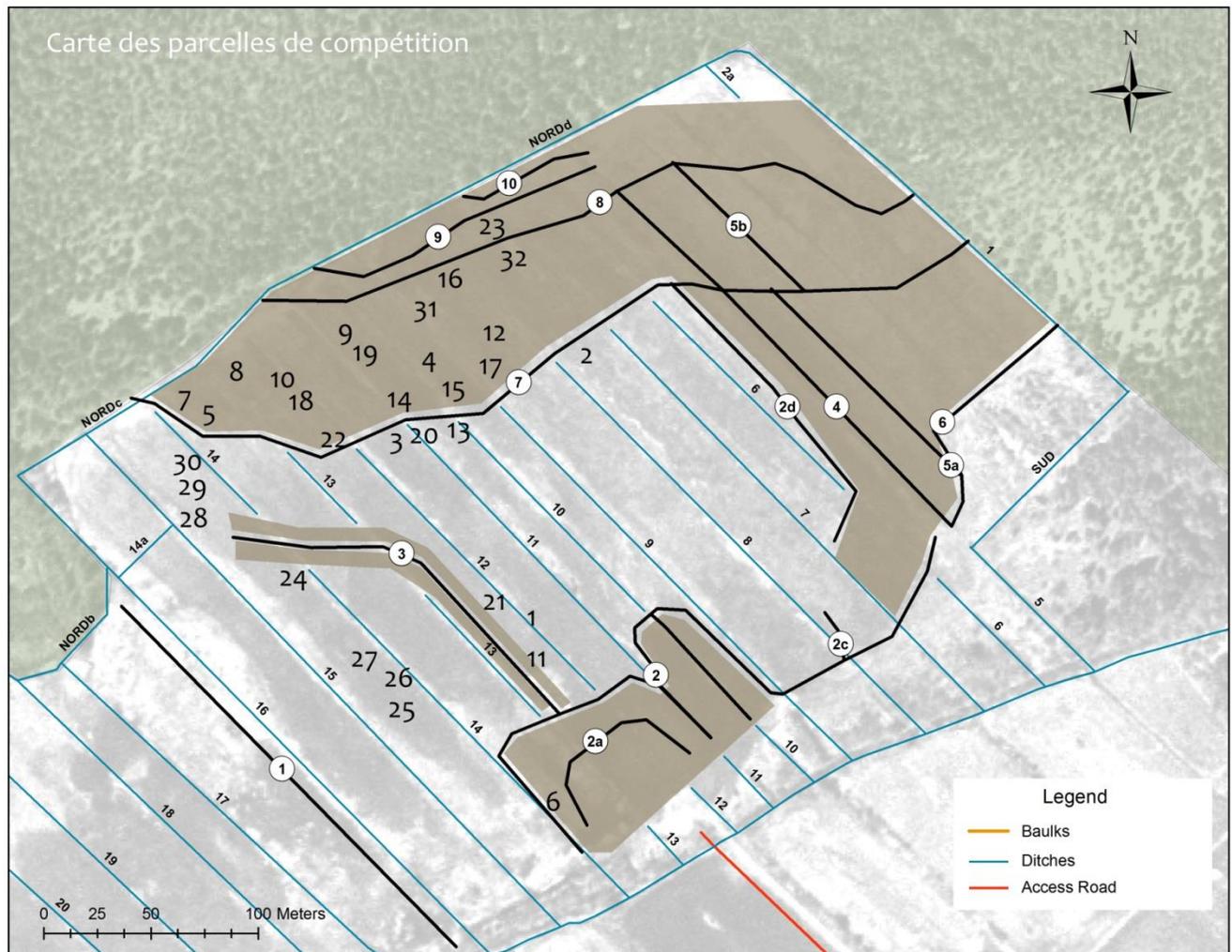


Figure 3: Positionnement des parcelles de l'expérience de compétition entre les espèces et biodiversité à Bic-Saint-Fabien

5.1.2 D) Protocole d'expérience sur l'influence des cypéracées sur l'implantation et la survie des mousses

Objectifs : Évaluer l'influence de la végétation herbacée (cypéracées) sur l'établissement et la survie des mousses.

Contexte : La tourbière de Bic-Saint-Fabien a été restaurée pendant l'hiver 2009. Lors des travaux de restauration, la surface de certains secteurs de la tourbière a été rafraîchie (« reprofilée ») tandis que d'autres n'ont subi aucune modification. En 2010, des plantations monospécifiques de plantes typiques des fens ont été réalisées dans les secteurs reprofilés de la tourbière afin d'entreprendre la revégétalisation de ces secteurs et d'évaluer la capacité de survie des plants en colonies pures. Les plantations ont été réalisées en 3 blocs, situés au nord des planches 12, 9 et 4. En 2012, une expérience a été mise en place dans certaines parcelles bien implantées de ces blocs, afin d'évaluer si la présence des cypéracées influence l'établissement et la survie des mousses.

Design expérimental : L'expérience a été mise en place de la mi-juin au début juillet 2012. Un mélange de 4 espèces muscinales (*Tomentypnum nitens*, *Campylium stellatum*, *Scorpidium cossonii* et *Sphagnum warnstorffii*, en quantités égales) a été introduit sous les couverts bien établis d'herbacées (*Carex flava*, *C. aquatilis* et *Trichophorum alpinum*) des plantations. Les mousses ont été récoltées dans la zone naturelle située à l'est de la tourbière de Bic-Saint-Fabien. La moitié d'entre elles environ ont été récoltées en mai 2012 puis placées au réfrigérateur (température entre 0 et 4 °C). L'autre moitié a été récoltée juste avant la mise en place de l'expérience. Les deux récoltes ont ensuite été mélangées.

Les aires d'introduction de mousses avaient une taille d'environ 1,5 m x 3,5 m (Figure 1). La moitié d'entre elles étaient situées dans des parcelles de plantations et l'autre moitié dans un secteur sans végétation à proximité, de façon à former des paires de parcelles. Avant l'introduction, la surface du sol a été rafraîchie légèrement à la main ou avec un petit râteau, en conservant la biomasse sur place dans le cas des parcelles avec plantations (feuilles mortes, etc.). Le ratio d'introduction des mousses dans les plantations et les zones témoins était de 1:5. Dans les parcelles où la végétation était déjà établie, les mousses ont été déposées sur la tourbe, sous la biomasse. Dans le cas des

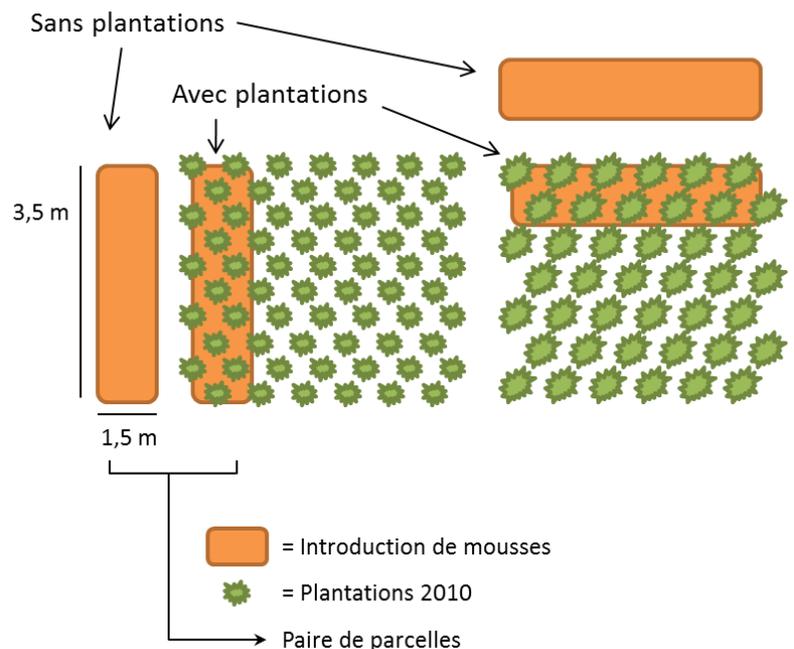


Figure 1 : Plan d'installation des parcelles de l'expérience sur l'influence des cypéracées sur l'implantation et la survie des mousses à Bic-Saint-Fabien

parcelles sans plantation, les mousses ont été mises directement sur la tourbe nue. Dans tous les cas, les mousses ont été recouvertes de paille. Un filet photodégradable a été utilisé dans les secteurs sans végétation pour s'assurer de la stabilité du matériel. Une fois les mousses récoltées, il fallait compter environ 1 heure pour l'installation d'une paire de parcelles (Figure 2).



Figure 2 : Photos de l'installation des parcelles expérimentales à Bic-Saint-Fabien en 2012. À gauche : travaux d'installation. À droite : Parcelle 1, une fois installée.

Localisation: Trois parcelles de plantation ont été choisies dans chacun des blocs de plantations (voir plus loin la Figure 4 et le Tableau 1). Une parcelle supplémentaire a été installée dans une plantation de *Carex flava* située près du trottoir de la planche 11.

Suivi :

VÉGÉTATION : En 2014, des inventaires comparant le recouvrement de la végétation ont été réalisés. Dans chacune des parcelles, 8 quadrats de 25 cm x 25 cm ont été localisés selon le plan de la Figure 3. La distance entre les quadrats était variable, mais un contour de 30 cm (zone tampon) devait être respecté pour contrer l'effet de bordure.

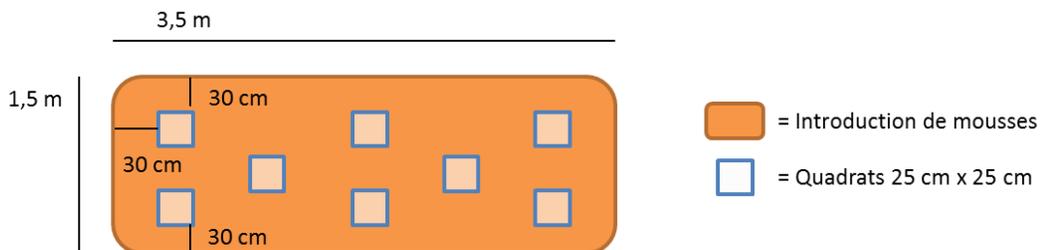


Figure 3 : Localisation des quadrats d'inventaire de l'expérience sur l'influence des cypéracées sur l'implantation et la survie des mousses

Dans chacune des parcelles, le % de recouvrement des catégories suivantes a été évalué :

- Végétation totale
- Végétation vasculaire introduite
- Végétation établie spontanément
- Végétation muscinale
- Chacune des espèces réintroduites : *Toментypnum nitens*
Campylium stellatum
Scorpidium cossonii
Sphagnum warnstorffii
- Autres espèces muscinales spontanément établies (p. ex. : *Bryum*).
- % de la superficie « disponible » au sol : on soustrait de la superficie totale (100 %) l'espace occupé par la base des plantes, le bois mort, etc. On calcule l'espace réellement colonisable par les mousses

HUMIDITÉ RELATIVE ET TEMPÉRATURE : Afin de connaître les conditions de température et d'humidité dans les secteurs de plantations, des capteurs automatiques d'humidité et de température (appareils HOBO U23) ont été placés à la surface du tapis de mousses pour des périodes plus ou moins longues en : 2012 (de la fin juin au 26 septembre), 2013 (28 mai au 10 octobre) et 2014 (de mai à septembre, pour des périodes de 8 à 15 jours en alternance). Comme il manquait de HOBO pour couvrir toutes les parcelles en 2014, une rotation a été établie : 4 appareils HOBO ont été déplacés d'une parcelle à l'autre toutes les 2 semaines. Les appareils capteurs étaient installés par paire (parcelles avec ou sans cypéracées) et la prise de mesure débutait et se terminait au même moment pour chaque parcelle, avec une prise de données toutes les demi-heures.

HUMIDITÉ DU SOL : Des mesures d'humidité des 10 premiers centimètres à la surface du sol ont été prises (à l'aide d'un appareil WET Sensor de *Delta_T Devices*) après 8 jours (24 juin) et 5,5 jours de pluie (31 juillet). Dix (10) mesures ont été prises dans chacune des parcelles. Voir le fichier « *EXP 3_Wetsensor 2014.xls* » pour les données.

Design expérimental et analyses statistiques : Plan en tiroirs (*split-plot*) avec les espèces de cypéracées en parcelles principales (*C. aquatilis*, *C. flava* et *T. alpinum*) et leur présence ou non en sous-parcelles. L'expérience a été répétée dans trois blocs différents. Les analyses ont été réalisées par Rémy Pouliot, novembre 2014.

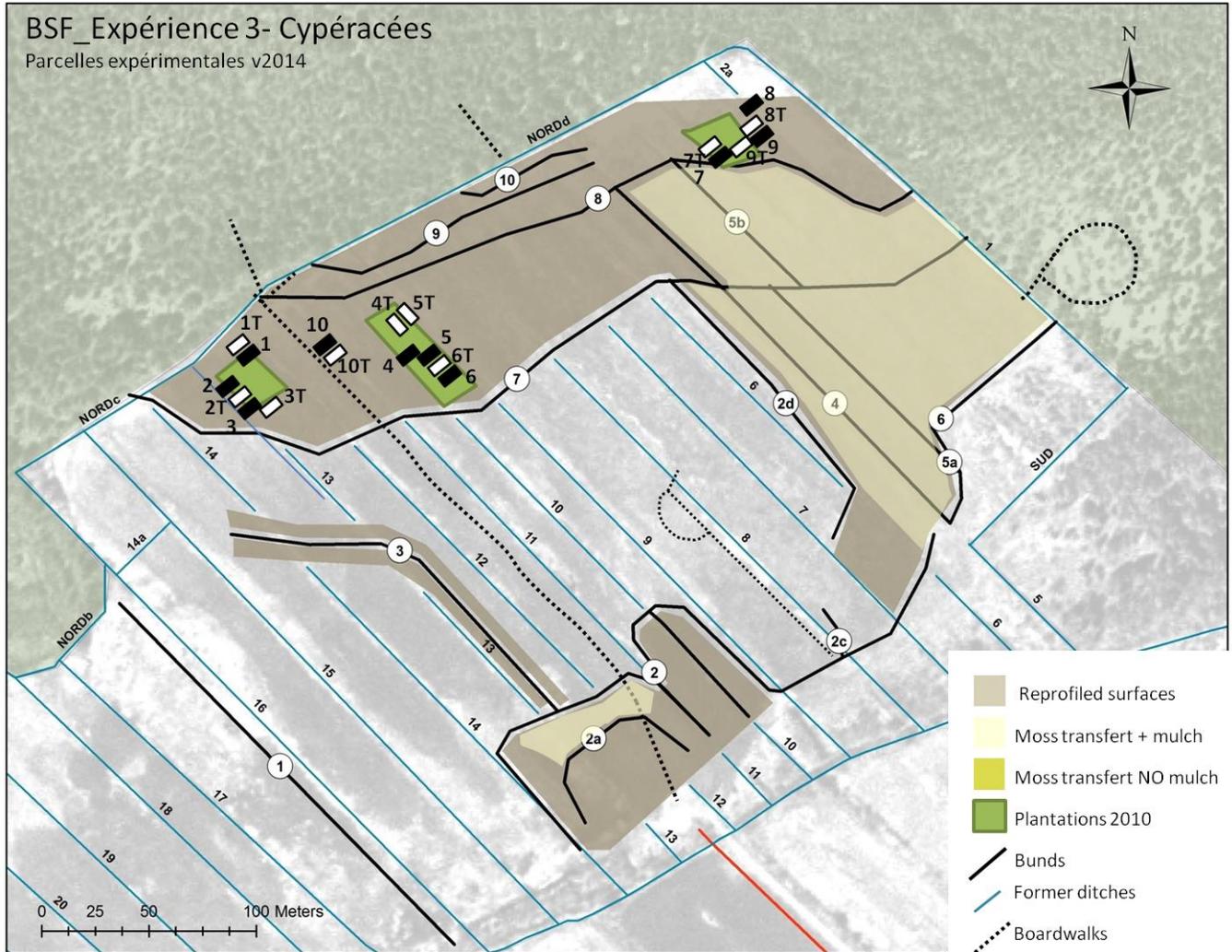


Figure 4 : Localisation des parcelles expérimentales de l'expérience sur l'influence des cypéracées sur l'implantation et la survie des mousses à Bic-Saint-Fabien

Tableau 1 : Description des parcelles expérimentales de l'expérience sur l'influence des cypéracées sur l'implantation et la survie des mousses à Bic-Saint-Fabien

No de parcelle d'introduction	Localisation	No de parcelle de plantation 2010	Espèce	Étiquette	Coordonnées GPS
1	Bloc A – Nord	24	<i>Trichophorum alpinum</i>	CYP1 – TRI ALP – TR CYP1 – TRI ALP – T	N48, 32165 W068, 83813 N48, 32165 W068, 83810
2	Bloc A – Milieu	44	<i>Carex flava</i>	CYP2 – CAR FLA – TR CYP2 – CAR FLA – T	N48, 32153 W068, 83803 N48, 32154 W068, 83804
3	Bloc A – Sud	39	<i>Carex aquatilis</i>	CYP3 – CAR AQU – TR CYP3 – CAR AQU – T	N48, 32146 W068, 83800 N48, 32145 W068, 83801
4	Bloc B –Nord	3	<i>Carex aquatilis</i>	CYP4 – CAR AQU – TR CYP4 – CAR AQU – T	N48, 32177 W068, 83707 N48, 32175 W068, 83708
5	Bloc B –Milieu	4	<i>Trichophorum alpinum</i>	CYP5 – TRI ALP – TR CYP5 – TRI ALP – T	N48, 32174 W068, 83699 N48, 32176 W068, 83699
6	Bloc B – Sud	22	<i>Carex flava</i>	CYP6 – CAR FLA – TR CYP6 – CAR FLA – T	N48, 32154 W068, 83671 N48, 32157 W068, 83674
7	Bloc C – Secteur Ouest	55	<i>Carex aquatilis</i>	CYP7 – CAR AQU – TR CYP – CAR AQU – T	N48, 32251 W068, 83527 N48, 32251 W068, 83525
8	Bloc C – Secteur Est-Nord	60	<i>Trichophorum alpinum</i>	CYP8 – TRI ALP – TR CYP8 – TRI ALP – T	N48, 32256 W068, 83483 N48, 32256 W068, 83483
9	Bloc C – Secteur Est-Sud	59	<i>Carex flava</i>	CYP9 – CAR FLA – TR CYP9 – CAR FLA – T	N48, 32252 W068, 83485 N48, 32251 W068, 83485
10	Long du trottoir – Planche 11	-	<i>Carex flava</i>	CYP10 - CAR FLA –TR CYP10 - CAR FLA – T	N48, 32156 W068, 83754 N48, 32155 W068, 83752

5.1.2 E) Protocole d'expérience sur la fertilisation et le chaulage des zones restaurées

Objectif : Déterminer si la fertilisation ou le chaulage des secteurs restaurés à Bic-Saint-Fabien contribue à l'établissement des mousses et des plantes vasculaires.

Contexte : La tourbière de Bic-Saint-Fabien a été restaurée en décembre 2009. Deux méthodes de restauration ont été testées : l'épandage de matériel avec paille et sans paille (sur une plus petite surface). Un secteur a aussi été restauré à la main en mai 2010, avec paille. Aucune fertilisation n'a eu lieu sur le site. Les résultats de la restauration se sont avérés hétérogènes et la végétation est inégale par endroits.

Nous posons l'hypothèse que la fertilisation des secteurs où la restauration est moins réussie serait bénéfique à l'établissement des espèces muscinales et vasculaires de fen. Certains secteurs sont entre autres affectés par le soulèvement gélocal, ce qui diminue le succès de recolonisation des plantes. La fertilisation pourrait contribuer à former rapidement une couche de végétation stabilisant le substrat et permettant ensuite à d'autres espèces de les coloniser.

Design expérimental : Trois blocs expérimentaux ont été installés dans chaque type de secteur restauré (à la main, mécaniquement avec paille ou mécaniquement sans paille; voir Figure 2 et Tableau 1 plus loin). L'installation a été réalisée par Félix Leclerc, stagiaire en technique en Bioécologie au CÉGEP de Sherbrooke pendant l'été 2012. Chaque bloc expérimental était composé de trois bandes de 2 m x 10 m (délimitées par des piquets rouges) auxquelles ont été attribué un traitement : fertilisation, chaulage ou témoin (sans traitement). Les secteurs choisis pour installer les blocs étaient semblables (mais pas nécessairement homogènes à l'intérieur d'une même bande en raison du succès de restauration variable par endroit) et présentaient parfois des problèmes de soulèvement gélocal. Chaque bande était séparée de la suivante par un couloir d'un mètre de largeur (Figure 1). Pour chacun des traitements, l'application de l'amendement a été faite en surface, en tentant de laisser intacts le substrat et la végétation en place.

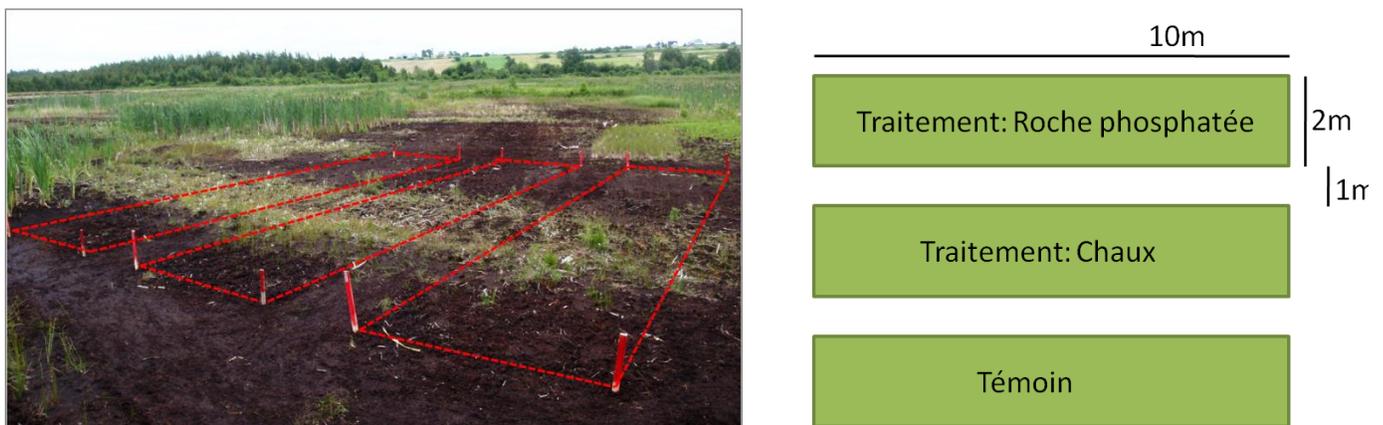


Figure 1 : Photo et plan des blocs expérimentaux (bloc 4) de l'expérience sur la fertilisation et le chaulage des zones restaurées à Bic-Saint-Fabien.

Fertilisation : La roche phosphatée (0-13-0) a été appliquée à 25 g/m², soit la dose recommandée dans les expériences de Sottocornola, Boudreau et Rochefort (2007)⁵. La fertilisation a été réalisée dans la semaine du 3 juillet 2012, à la main.

Chaulage : La chaux (chaux granulaire de la marque *Plus-Vert*, 6 % de magnésium) a été appliquée à 15 g/m², comme recommandé par le fabricant. L'application s'est faite à la main pendant la semaine du 23 juillet 2012.

Témoin : Les bandes témoins n'ont reçu aucun traitement.

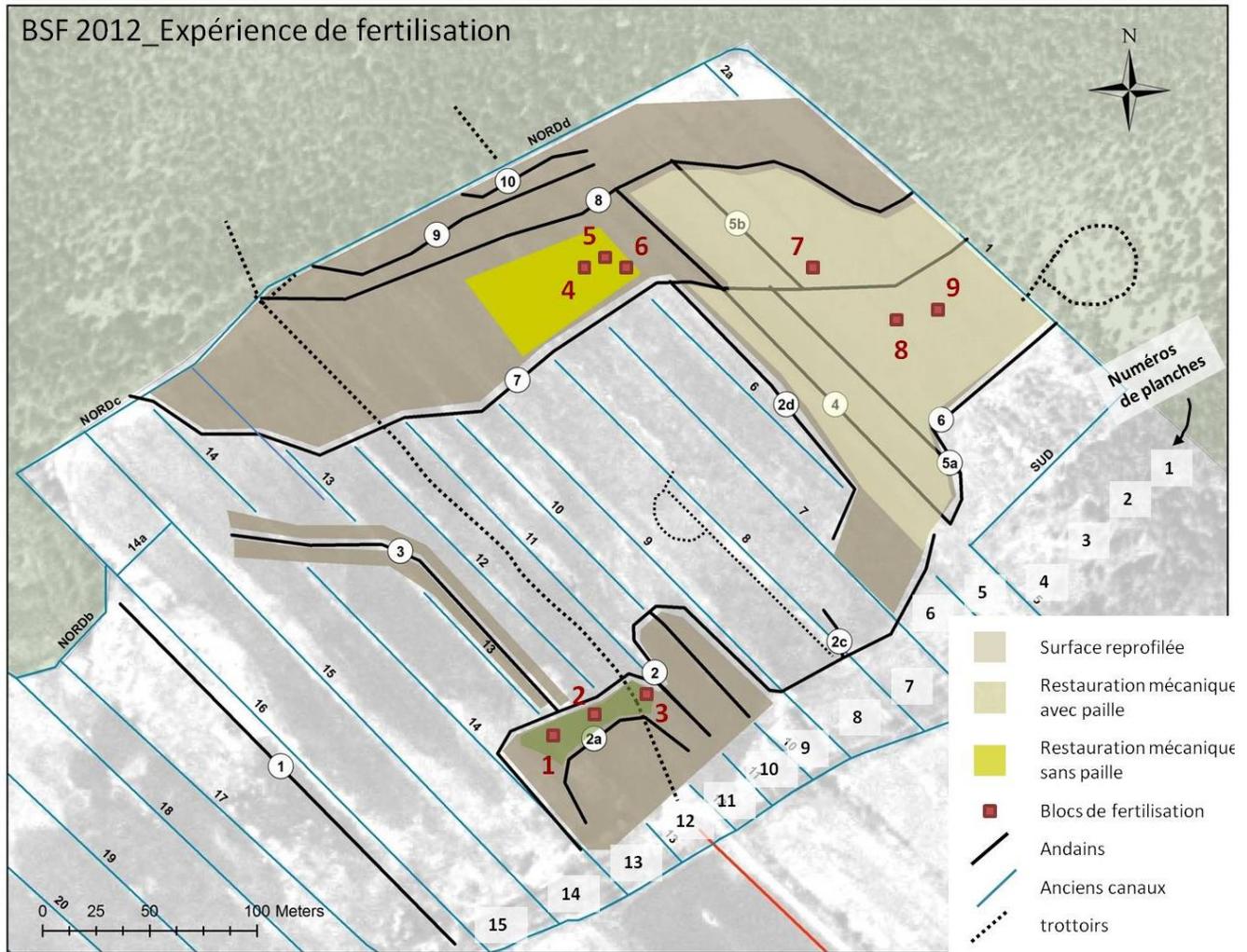


Figure 2 : Plan de l'expérience sur la fertilisation et le chaulage des zones restaurées à Bic-Saint-Fabien

⁵ SOTTOCORNOLA, M., BOUDREAU, S., ROCHEFORT, L. 2007. Peat bog restoration: Effects of phosphorus on plant establishment. *Ecological Engineering* 31: 29-40.

Tableau 1 : Localisation des blocs dans l'expérience sur la fertilisation et le chaulage des zones restaurées à Bic–Saint-Fabien

No. bloc	Secteur de restauration	Localisation
1	Restauré à la main	À l'ouest du trottoir, planche 12
2	Restauré à la main	À l'ouest du trottoir, planche 11
3	Restauré à la main	À l'est du trottoir, planche 11
4	Mécaniquement sans paille	Planche 6, sud de l'andain 8
5	Mécaniquement sans paille	Planche 6, sud de l'andain 8
6	Mécaniquement sans paille	Planche 6, sud de l'andain 8, sud de la parcelle 6, mais tout près!
7	Mécaniquement avec paille	Planche 4, entre andains 7 et 8
8	Mécaniquement avec paille	Planche 3, nord de l'andain 7, bcp de mousses et de paille.
9	Mécaniquement avec paille	Planche 2, au nord de la mare 4

Suivi :

Caractéristiques de la tourbe : Afin de comparer l'effet de l'application du fertilisant et de la chaux vs les parcelles témoin, des échantillons composites de tourbe ont été prélevés à proximité de chacune des bandes de chaque bloc avant l'application des traitements (2012), puis deux fois par année en 2013 et 2014. Les échantillons ont été analysés pour connaître le pH et la conductivité de la tourbe. L'échantillonnage consistait à prélever une petite quantité de tourbe à plusieurs endroits dans chacune des bandes. Il fallait toutefois perturber le moins possible la végétation et idéalement, ne pas récolter la tourbe directement à la surface. En 2012, la récolte d'échantillons a été réalisée le 5 juillet, en 2013 le 12 juin et le 15 août, en 2014 le 27 juin et le 12 août. Voir le fichier « *EXP & MASTER inventaire 2013-14.xls* » pour les résultats.

Végétation : Des inventaires de végétation (% de recouvrement de toutes les espèces) ont été menés le 15 août 2013 et le 12 août 2014 afin de comparer l'évolution de la végétation et de comparer les traitements (Figure 2). Dans chacune des bandes, la végétation vasculaire était évaluée dans trois quadrats de 1 m x 1 m, selon la technique de suivi de la végétation développée par le GRET. Consultez le document *Protocole pour les relevés de végétation dans les parcelles permanentes* pour plus de détails sur les inventaires de végétation, avant de commencer l'évaluation. Le % de recouvrement de toutes les espèces était déterminé, ainsi que le % total de végétation vasculaire et muscinale. La végétation muscinale était évaluée de la même façon, dans des quadrats de 50 cm x 50 cm placés dans le coin nord-est des parcelles de végétation vasculaire. Les quadrats ont été identifiés Q1, Q2 et Q3 en débutant par celui le plus près de l'étiquette d'identification de la parcelle. Voir la Figure 2 pour les détails sur la localisation des parcelles.

Note : Lors de la restauration du site en 2010, l'introduction du matériel végétal avait été réalisée en décembre, alors qu'il neigeait. Comme il était parfois impossible de voir d'une bande à l'autre où la précédente avait été appliquée, chacune des bandes de matériel s'est avérée parfois considérablement séparée de la suivante. Ceci était particulièrement le cas dans le secteur restauré mécaniquement sans paille. Il fallait donc noter si du matériel végétal semblait avoir été introduit dans les zones de bandes inventoriées (surtout visible dans la section restaurée mécaniquement sans paille) ou non.

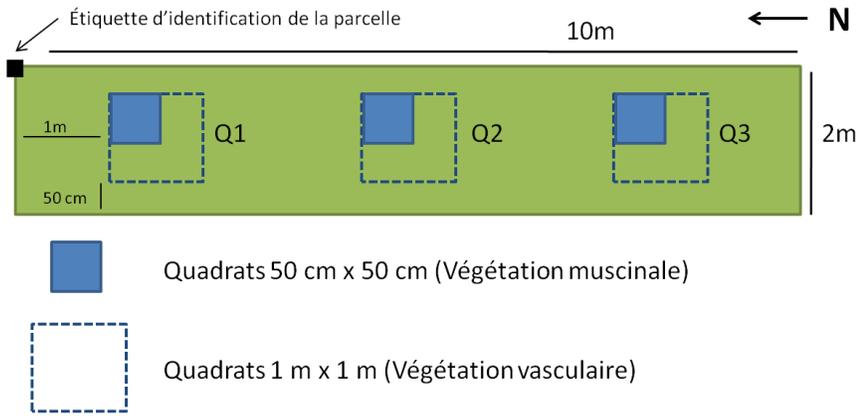


Figure 2 : Localisation des 3 quadrats à inventorier à l'intérieur de chacune des bandes de l'expérience sur la fertilisation et le chaulage des zones restaurées à Bic-Saint-Fabien. Chaque bloc expérimental (9 au total) compte 3 bandes.

5.1.6 A) Protocole de récolte, conservation, préparation et analyse des échantillons d'eau de la tourbière de Bic – Saint-Fabien (chimie de l'eau)

Objectif : Récolter, conserver et préparer les échantillons d'eau sur le terrain en vue de réaliser des analyses physicochimiques (pH, conductivité, éléments chimiques) pour caractériser la tourbière de Bic-Saint-Fabien (BSF).

Dates d'échantillonnage : Les périodes d'échantillonnage sont inspirées de celles de la tourbière de Bois-des-Bel (BDB), un autre site d'étude du GRET situé près de Cacouna. Il faut tenter de les respecter, tout en tenant compte des autres contraintes du terrain (précipitations, équipes, etc.).

- Début mai (après la fonte des neiges)
- Début juin (pour avoir une bonne idée des conditions estivales avant les grosses chaleurs)
- Mi- juillet
- Mi-septembre
- Mi-octobre (important : avant les premières neiges, avant le 25 octobre si possible).

En 2010, 2011, 2012, 2013 et 2014, les dates d'échantillonnage ont été les suivantes :

2010 ¹	2011	2012	2013	2014
10 juin	19 mai	28 mai	15 mai	29 mai
22 septembre	14 juin	4 juillet	25 juin	25 juin
29 octobre	13 juillet	26 juillet	1 ^{er} août	27 juillet
	14 septembre	24 septembre	23 septembre	25 septembre
	18 octobre		30 octobre	30 octobre

¹ La saison très sèche a empêché la prise de mesure pendant les mois d'été 2010 (puits asséchés).

Contexte : L'analyse des échantillons permet de dresser un portrait physicochimique de l'eau contenue dans la tourbière. Avant la restauration (2008-2009), plusieurs puits ont été installés afin de connaître les conditions initiales du site. Après les travaux de restauration, des puits ont été réinstallés afin de poursuivre la cueillette de données.

En 2010, le site comptait 46 stations d'échantillonnage (Figure 1). En 2011 et 2012, il était nécessaire de réduire le nombre d'échantillons récoltés pour diminuer le temps d'échantillonnage et les coûts associés aux analyses : 12 stations ont donc été retirées du plan d'échantillonnage. Ces dernières stations ne sont plus échantillonnées pour les analyses chimiques, mais leurs mesures de pH, conductivité et température sont toujours notées. Il y a donc deux types de stations à visiter pendant la tournée de chimie de l'eau :

- Les puits où le **pH et la conductivité** doivent être notés et où un **échantillon d'eau** doit être prélevé pour une analyse chimique plus complète;
- Les **puits où le pH, la conductivité et la température seulement** doivent être notés.

Stations d'échantillonnage : Les prélèvements d'eau sont faits dans les canaux hydrologiques, les mars et les puits hydrologiques de la tourbière. Ces derniers sont identifiés par une étiquette de métal où est écrit WCHEM ULAVAL (*Water Chemistry Université Laval*) ainsi que le numéro du puits. Les puits sont parfois placés dans des « nids de mesure hydrologiques », où sont aussi installés des piézomètres. Le site compte 46 stations, dont 34 doivent être échantillonnées (Figures 1 et 2).

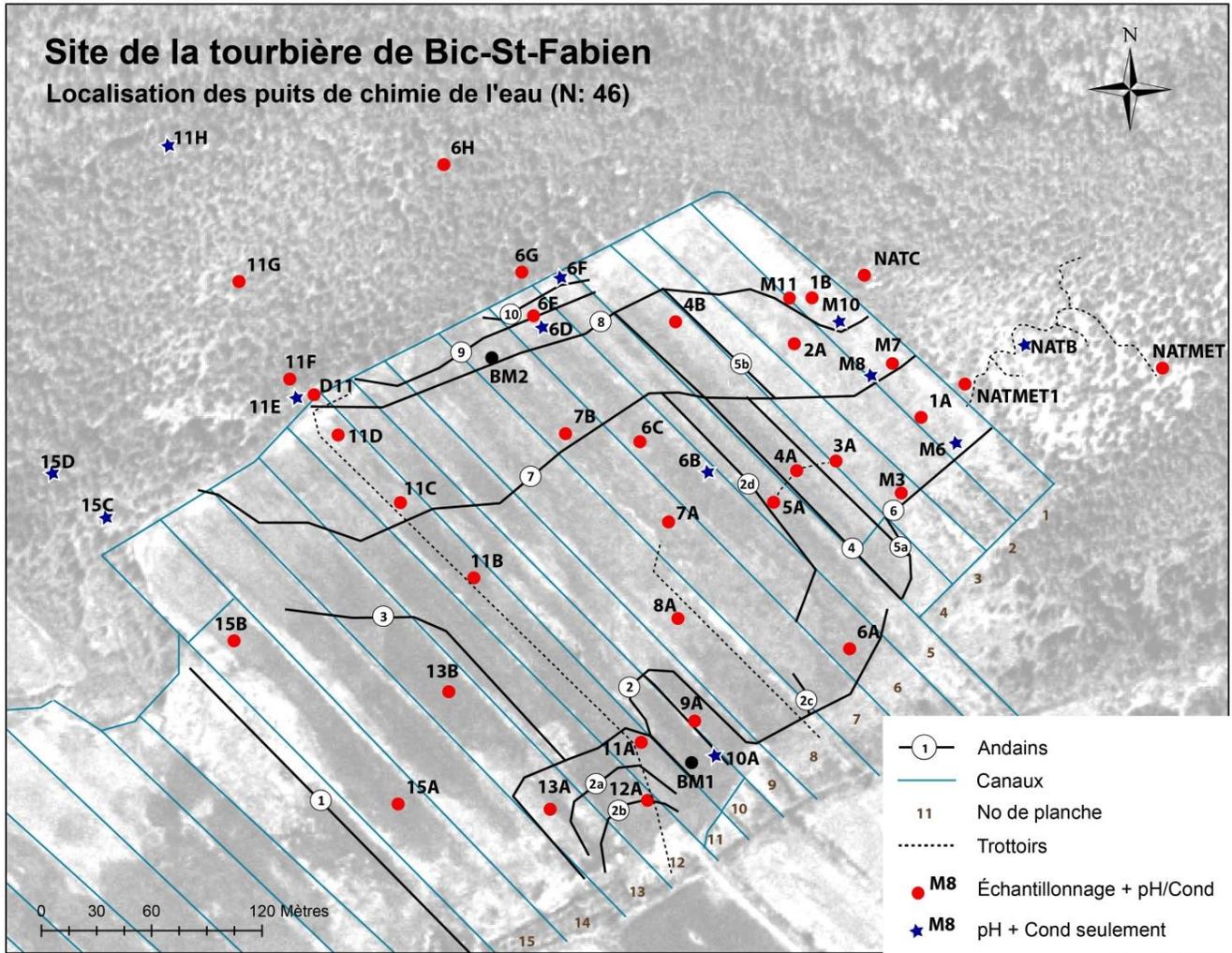


Figure 1 : Localisation des puits d'échantillonnage de l'eau à Bic-Saint-Fabien.



Figure 2 : Stations d'échantillonnage 15C et 15D (au milieu de « nids de mesures hydrologiques »).

Équipe et durée : Seul(e), il faut compter un peu plus d'une journée de travail pour échantillonner tous les puits, ou encore une journée à deux.

Si l'échantillonnage de l'eau est combiné à d'autres échantillonnages effectués sur le site, planifier l'échantillonnage de l'eau une journée avant le retour à Québec, car les échantillons doivent être analysés ou congelés si possible dans les 24 à 48 heures après l'échantillonnage.

Procédure d'échantillonnage sur le terrain :

NOTES : Avant de commencer la prise de données, il faut calibrer le pH-mètre/conductimètre, tel qu'expliqué dans le dépliant de l'appareil. Si la prise de données s'étale sur plus d'une journée, calibrer le pH-mètre/conductimètre chaque jour. S'assurer d'avoir lu les instructions de l'appareil avant de l'utiliser. S'assurer également que la pile de l'appareil est chargée (le % d'utilisation de la pile s'affiche en ouvrant l'appareil) et qu'il a été calibré.

Il est important d'aviser l'équipe d'hydrologie de l'Université de Waterloo s'il y a lieu pour coordonner l'échantillonnage avec leurs propres mesures sur le terrain. Il faut aussi laisser au moins 2 jours entre la mesure du niveau d'eau (à l'aide du bulleur) et la récolte d'échantillons, puisque le bulleur brouille les données de chimie lorsqu'on souffle dans la colonne d'eau. Enfin, il faut aussi attendre 2 jours après une grosse pluie pour ne pas avoir une version « diluée » des échantillons.

Attention! Pour certains puits, des échantillons pour des analyses chimiques complètes n'ont pas à être prélevés; seules les mesures de pH, conductivité et température doivent être prises et notées. Voir la carte et le tableau des stations pour les détails.

- À chaque station d'échantillonnage est associé un ensemble de matériel de collecte de l'eau qui lui est propre (Figure 3). Les ensembles sont entreposés dans des sacs de plastique de type *Ziploc* portant le numéro du puits (un sac par puits). Ils comprennent une seringue et un tube de PVC. Les ensembles ne doivent être utilisés que pour les puits auxquels ils sont associés. S'assurer d'utiliser le bon ensemble pour chaque puits ou station afin d'éviter la contamination.



Figure 3 : Ensembles de collecte d'eau pour les puits hydrologiques

- Rinçage du matériel de prélèvement : pour chaque puits, à l'aide de la seringue associée au puits, prélever de l'eau dans le puits et rincer 3 fois la bouteille qui contiendra l'échantillon d'eau et son bouchon (remplir la bouteille, la fermer, agiter et vider : 3 fois de suite). Rincer aussi l'embout du pH-mètre/conductimètre portatif et la fiole (ex. pilulier ou petit bécher) qui servira à mesurer les valeurs de pH et de conductivité sur le terrain.
- Pour prendre les mesures de pH et de conductivité électrique : remplir la fiole et y plonger le pH-mètre/conductimètre portatif. Une fois l'appareil stabilisé, noter les données de pH, de conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) et de température (en $^{\circ}\text{C}$) de chaque échantillon. On peut utiliser la feuille de prise de données déjà préparée ou inscrire les données dans un carnet de terrain. Dans tous les cas, LA FEUILLE DE DONNÉES ORIGINALE DOIT ÊTRE CONSERVÉE et transmise à M.-C. LeBlanc, même une fois les résultats saisis dans le fichier de données.
- Rincer la fiole ou le bécher avec de l'eau déionisée entre chaque mesure de pH et de conductivité.
- S'il s'agit d'une station où la récolte d'un échantillon d'eau est nécessaire, remplir une bouteille *Nalgene* (125 ml) à ras bord (on évite ainsi les bulles d'air, qui peuvent modifier les concentrations des éléments chimiques).
- Si jamais le pH-mètre/conductimètre portatif ne fonctionne pas (bien) sur le terrain, remplir une seconde bouteille d'eau (*Nalgene*) par station pour qu'on puisse faire l'analyse du pH et de la conductivité au laboratoire de Line Rochefort au retour (NE PAS CONGELER!). Au labo, faire les mesures en suivant les protocoles d'utilisation du pH-mètre et du conductimètre situés dans le tiroir sous le pH-mètre. Les échantillons doivent être à la température de la pièce avant les analyses.
- Dans le cas des mares et des canaux de drainage, prendre l'échantillon d'eau directement dans ceux-ci (ne pas utiliser de seringue) : il faut plonger la bouteille pour que le goulot soit complètement sous la surface de l'eau (pas trop profond, mais de façon à ce que la première couche de surface ne soit pas

collectée).

- Bien identifier chaque bouteille contenant un échantillon d'eau avec la date et le nom du site et la station d'échantillonnage (p. ex. BSF 11A, 24/10/2012).
- Mettre les échantillons (bouteilles *Nalgene*) au frais (glacière ou réfrigérateur) dès leur récolte. Toujours garder la glacière (avec des « Ice paks ») à proximité sur le terrain (p. ex., près de l'auto) pour garder les échantillons au frais.
- Noter les conditions météorologiques précédant et pendant la prise des échantillons (p. ex. : il a fait beau toute la semaine avant l'échantillonnage; il pleut depuis deux jours...). Cette information peut nous aider à interpréter les résultats.
- Si vous n'avez pas pu prendre certains échantillons, indiquez dans vos notes pour quelles raisons (p. ex. : il n'y avait pas assez d'eau).

Note importante : Changer l'ordre de récolte des stations à chaque date d'échantillonnage (ceci afin d'éviter de récolter dans la partie naturelle toujours en fin de tournée alors que la température journalière a grimpé).

Au retour du terrain : On peut congeler les échantillons. Toutefois, avant de les mettre au congélateur, il faut retirer un petit peu d'eau de chaque bouteille (un tout petit peu plus que l'équivalent d'un bouchon), car en gelant, l'eau prend de l'expansion, ce qui déforme et brise les bouteilles. Si les échantillons ne sont pas congelés, ils doivent être analysés si possible dans les 24 à 48 heures après l'échantillonnage.

Analyses chimiques : Les mesures de pH et de conductivité sont réalisées au laboratoire du GRET lorsqu'elles n'ont pas pu être faites sur le terrain. Les analyses chimiques supplémentaires sont faites au département de foresterie de l'Université Laval. Les **analyses demandées** pour chaque échantillon d'eau sont :

P, Ca, Mg, Fe, Mn, K, Na, N/NH₄⁺, N/NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ et P/PO₄³⁻.

Protocole de suivi pancanadien des tourbières restaurées

Caractérisation et relevés de végétation dans les parcelles permanentes

Contexte : Afin de faire le suivi de l'établissement de la végétation après la restauration dans tous les sites restaurés selon la méthode développée par le GRET à travers le Canada, le groupe de recherche installe et inventorie annuellement des parcelles permanentes dans les secteurs restaurés. Les inventaires sont réalisés après la 3^{ème} saison de croissance suivant la restauration, puis 5, 7, 10, 15 et 20 ans post-restauration.

Dénomination : Site : un lieu de récolte de tourbe, exploité par une seule industrie. Par exemple, l'ensemble de Maisonnette représente un site.

Secteur : à l'intérieur d'un site, une portion de tourbière où la restauration est uniforme : travaux réalisés en même temps, hydrologie et drainage semblables (pas divisé par des canaux de drainage principaux).

Parcelle : à l'intérieur d'une parcelle, 5 parcelles sont installées (nombre établi en 2012).

Quadrat : à l'intérieur des parcelles, la végétation vasculaire est inventoriée dans douze quatre quadrats de 1 m x vasculaire et la végétation muscinale dans douze quadrats de 25 cm x 25 cm.

1- Mise en place des parcelles

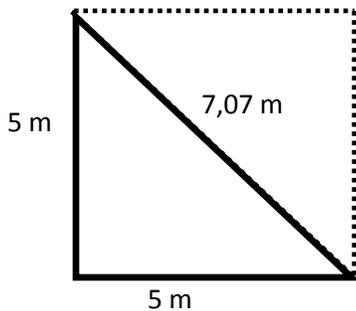
Nombre de parcelles : Depuis 2012, il a été décidé que 5 parcelles seraient installées dans chaque secteur restauré, sauf dans des situations exceptionnelles (secteurs trop petits et très hétérogènes, ex : Ste-Marguerite-Marie). Cette décision fait suite aux analyses de la base de données dans le cadre du stage post-doctoral d'Eduardo González et visait à rationaliser l'effort d'échantillonnage.

Installation: Les parcelles sont installées dans chacun des secteurs restaurés après la 3^{ème} saison de croissance suivant la restauration. Les parcelles doivent être installées de façon à représenter l'ensemble des conditions présentes dans les secteurs restaurés, dans les proportions dans lesquelles elles apparaissent sur le terrain. Il est donc important de parcourir d'abord l'ensemble du secteur et de noter les particularités (communautés végétales, humidité, densité de reprise végétale, présence d'amas de paille...) avant de placer les parcelles. Par exemple, dans un secteur où 80% de la surface est couverte de sphaignes et 20% où seul le *Polytrichum* pousse, on installera 4 parcelles dans la zone de sphaignes et 1 parcelle dans la zone de *Polytrichum*. Dans le cas d'un site très hétérogène, on répartira plutôt les parcelles dans l'espace (par exemple, une parcelle sur chacune des planches, en alternant le début, le milieu et la fin des planches...).

Le but des inventaires est de caractériser l'état général des secteurs restaurés : les données obtenues pourront être comparées aux spécificités de la méthode utilisée ou encore des conditions initiales pour expliquer l'évolution de la restauration. Il ne faut donc pas installer de parcelles dans les zones où des

perturbations ont empêché la restauration de se dérouler normalement (ex : un secteur où tout le matériel aurait été érodé par le ruissellement, l'extrémité des planches où la machinerie n'a pas transféré de matériel végétal ou s'est enlisée... etc.) ni dans les canaux de drainage. Toutefois, il ne faut pas non plus éviter les secteurs où la restauration n'a simplement pas fonctionné puisque ces secteurs fournissent des informations importantes sur les « échecs » de restauration.

Les nouvelles parcelles auront toutes, sauf indication contraire, une taille de 5 m x 5 m. Afin de s'assurer que les parcelles sont bien carrées (et non en forme de parallélogramme), mesurer l'hypoténuse du carré (7,07 m) en installant la parcelle. Marquer la limite des parcelles avec quatre



piquets de bois (idéalement, peindre l'extrémité des piquets avec une peinture voyante, ou y attacher du ruban forestier, afin de bien le repérer dans les prochaines années). Apposer une étiquette d'identification métallique sur l'un des piquets. La numérotation des parcelles doit se faire en débutant à 1 pour chaque site (et non pas chaque secteur!); chaque parcelle a donc un identifiant unique dans chaque site. Afin de faciliter la localisation des parcelles les années suivantes, des cartes indiquant l'emplacement des parcelles sur chaque site doit être produite. La position de la parcelle doit être notée à l'aide d'un GPS.

2- Caractérisation post-récolte : Collecte de données et d'échantillons de tourbe

Lors de l'installation de nouvelles parcelles permanentes une série de variables doit être mesurée afin de caractériser la tourbière post-restauration et la tourbe résiduelle. Certaines mesures peuvent être mesurées directement sur le terrain tandis que d'autres nécessitent la récolte d'échantillons (eau, tourbe) qui seront ensuite analysés en laboratoire.

Pour la prise de tous les échantillons de tourbe, récolter la tourbe à proximité des parcelles, dans des conditions (humidité, végétation, état de la restauration) similaires. Il est important d'enlever (gratter) la couche superficielle de tourbe (végétation + croûte biologique : environ le premier centimètre) pour exposer la tourbe. Sauf avis contraire, utiliser des gants et ne pas toucher l'échantillon pour éviter la contamination et récolter l'échantillon dans un sac Ziploc propre. Une fois les échantillons récoltés, les conserver au frais (dans une glacière avec des *Ice packs*) pour le transport, puis entreposer au réfrigérateur ou au congélateur (selon les analyses à réaliser; voir plus bas). Pour plus de détails sur la marche à suivre une fois de retour au laboratoire, voir le document « Protocole Tourbe général ».

2.1 Collecte de données et échantillons de tourbe dans chacune des parcelles (1 par parcelle)

a) Bulk density (densité apparente, en g/cm^3) : Afin de calculer la masse volumique de la tourbe résiduelle (après exploitation), un échantillon de volume connu doit être prélevé puis pesé une fois sec. Utiliser une boîte de conserve de 880 cm^3 (boîte de tomates en dés, par exemple, avec des trous d'aération percés au fond de la boîte) pour la récolte. L'utilisation de sacs usagés et la manipulation avec les mains est permise. Pour prélever la tourbe, enfoncer la boîte de conserve dans le sol, puis à l'aide d'un couteau, couper la matière organique de façon à pouvoir récupérer la boîte pleine de tourbe. Il est important de ne pas trop compresser le matériel, ce qui donnerait l'impression d'une densité plus élevée qu'elle ne l'est en réalité. La boîte de conserve doit toutefois être totalement

remplie. Mettre le contenu de la boîte de conserve dans un sac Ziploc identifié, puis garder au frais (ne pas congeler). Une fois de retour au laboratoire, peser les échantillons humides puis les sécher à 105 °C, dans des assiettes d'aluminium, pendant 24 heures. Peser à nouveau une fois l'échantillon sec.

$$\text{Densité} = (\text{poids sec (g)} - \text{poids de l'assiette d'aluminium (g)}) / \text{volume de la boîte (cm}^3\text{)}$$

b) Taux de décomposition : Afin de connaître le taux de décomposition de la tourbe, référer à l'échelle de décomposition Von Post. Il est possible de réaliser les mesures de Von Post directement sur le terrain ou une fois de retour en laboratoire ou à la maison de terrain pour limiter le nombre d'échantillons à transporter. Dans ce cas, prélever un échantillon de la taille d'un demi sac Ziploc de petite taille, puis garder au frais jusqu'à l'analyse. L'utilisation de sacs usagés et la manipulation avec les mains est permise.

c) Profondeur de tourbe : Afin de déterminer la profondeur du dépôt de tourbe, enfoncer une tige de métal dans la tourbe, jusqu'à sentir le dépôt sous la tourbe (normalement, du roc ou de l'argile). Mesurer la profondeur atteinte. Prendre 3 mesures autour de la parcelle puis calculer la moyenne. Porter une attention spéciale aux morceaux de bois enfouis dans la tourbe, qui donnent l'impression d'avoir atteint le substrat basal et faussent les données!

2.2 Collecte de données et échantillons de tourbe dans chacun des secteurs (1 échantillon composite par secteur restauré : récolter une petite quantité de tourbe à plusieurs endroits dans le secteur restauré, puis mélanger).

a) Chimie des éléments totaux : Avec des gants, prélever un échantillon de la taille de la moitié d'un petit sac Ziploc. Utiliser obligatoirement un sac neuf. Garder au frais puis congeler dès que possible. Une fois de retour au laboratoire, faire sécher les échantillons en suivant les indications du fichier « Protocole Tourbe Général ». Référer à ce document pour préparer l'envoi des échantillons à Alain Brousseau pour l'analyse.

b) Analyse du pH et de la conductivité : Procéder comme pour la chimie des éléments totaux. Nous faisons ensuite l'analyse une fois de retour au laboratoire du GRET, selon le protocole habituel.

3- Inventaires de végétation

3.1 Calibration

Il est essentiel de procéder à la calibration en équipe au début de la saison, ainsi que très régulièrement (chaque matin, ou avant chaque site). Procédure :

- 1- examiner les modèles et abaques; examiner aussi quelques pour déterminer la méthode d'évaluation. Par exemple, s'entraîner à visualiser le *Polytrichum strictum* une fois « ouvert » s'il est sec, ou encore examiner les touradons d'*Eriophorum vaginatum*.
- 2- évaluer en groupe le recouvrement des espèces dans un ou plusieurs quadrats de végétation vasculaire, puis muscinale, en référant régulièrement aux abaques;
- 3- Évaluer individuellement un ou plusieurs quadrats puis comparer les résultats. Ces feuilles de

calibration peuvent être conservées afin d'évaluer l'erreur due aux observateurs.

3.2 Vérification des parcelles sur le site

- Localiser la parcelle et vérifier la justesse des plans et cartes ;
- Procéder à l'installation des nouvelles parcelles si nécessaire (dans un nouveau secteur restauré, ou pour en ajuster le nombre par secteur). Voir la section 1 de ce document concernant l'installation des parcelles.
- Vérifier si tous les piquets sont présents et bien positionnés et si des étiquettes d'identification doivent être ajoutées ou changées. Repeindre les piquets avec de la peinture fluorescente au besoin.
- Noter tout commentaire pertinent (par exemple : météo, perturbations apparentes...).

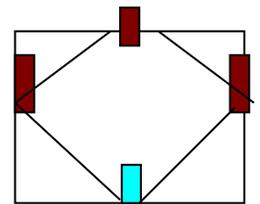
3.3 Identification des parcelles permanentes (PP)

- Compléter l'en-tête de la feuille de données d'inventaire des plantes vasculaires (site, no de parcelle, date, représentativité, observateurs, photo, position GPS).

- Représentativité : Est-ce que la végétation dans la parcelle est représentative de la végétation aux alentours ? Sinon, expliquer en quoi c'est différent en commentaire.
- Observateurs : inscrire le nom des membres de l'équipe qui participent à l'inventaire sur cette parcelle. Sur la première feuille de chaque site, inscrire les noms au complet avec l'abréviation qui y réfère dans les feuilles subséquentes.

- Prendre une photo de la parcelle et d'un quadrat :

- La photo est prise avec le piquet étiqueté en premier plan et doit montrer une vue d'ensemble de la parcelle ; Photographier aussi le premier quadrat d'inventaire vasculaire (1 m x 1 m);
- Noter le numéro de la photo dans la section « Commentaires » de la feuille. De retour au laboratoire, renuméroter les fichiers de photos selon le numéro de parcelle.



- Dérouler un galon à mesurer autour des piquets d'identification afin de bien circonscrire la parcelle. Il est ainsi plus facile de positionner les quadrats et de mieux visualiser la parcelle et la végétation qu'elle contient.

3.4 Description des strates de végétation par classe de recouvrement

Pour chacune des parcelles permanentes (PP). Les informations à remplir sont celles du côté gauche de la feuille de données d'inventaire des plantes vasculaires. Cet inventaire devrait idéalement être réalisé en premier, en groupe.

Les strates permettent de caractériser la structure de la végétation. Elles sont définies selon la forme de croissance : ligneuse, herbacées et muscinale; on distingue les aussi éricacées des autres strates ligneuses (arbres/arbustes) étant donné leur importance dans les tourbières boréales. Consulter la liste des espèces potentielles par strate pour confirmer quelles espèces sont incluses dans chacune des strates.

3.4.1 Recouvrement par classe : Pour chaque strate, estimer le % de recouvrement dans l'ensemble de la parcelle (5 m x 5 m). Chaque strate est évaluée indépendamment des autres.

0	= 0% de recouvrement
+	= présence
1	= 1 à 10% de recouvrement
2	= 11 à 25% de recouvrement
3	= 26 à 50% de recouvrement
4	= 51 à 75% de recouvrement
5	= 76 à 100% de recouvrement

Note sur inventaires des années précédentes⁶ : De 1998 à 2002, il n'y avait que 4 classes plutôt que 5. La définition des strates a aussi été raffinée à partir de 2003.

- ❖ Arbres/arbustes (A) : Peu importe la hauteur, tout ce qui est ligneux mais n'est pas une éricacée ;
- ❖ Ericacées (E) : inclus le genre Empetrum et Vaccinium oxycoccus ;
- ❖ Herbacées (H) : inclus aussi les Sarracenia et Drosera ;
- ❖ Muscinal (M) : Sphaignes, autres mousses, lichens et hépatiques ;
- ❖ Total (T) : Tout ce qui est vivant, en projection « aérienne ». N'est donc pas la somme des autres strates mais est certainement égal ou supérieur à la classe la plus élevée d'une des strates précédentes.
- ❖ Tourbe et litière (TL) : Matériel végétal mort + bois + Tourbe à nue + substrat perturbé au niveau du sol + litière ; Exclut la paille ; Étant donné que la litière peut couvrir la végétation vivante, on ne peut donc pas se dire que TL = 100 – M.
- ❖ Substrat perturbé (PERT) : Superficie présentant une perturbation récente. Si une ancienne piste d'original est maintenant recouverte de mousse, ce n'est plus une perturbation. Noter le type de perturbation, ainsi que « l'âge » de la perturbation :
 - Sg : soulèvement gélocal
 - Pist : Pistes d'original ou de d'autres animaux
 - Ero : Érosion eau ou vent
 - Dep : Déposition eau ou vent
 - Or : Ornières (roues)
 - OLD : Vieille perturbation
 - NEW : Nouvelle perturbation
- ❖ Paille (PAIL) : Superficie encore recouverte par la paille. Il est possible que des sections recouvertes de pailles soient inclut dans la catégorie substrat perturbé.

⁶ Note sur modification au protocole : Toutes les modifications au protocole sont répertoriées dans un document à part (*Discussion_monitoring_2006.doc*). Par contre, quelques points essentiels sont relatés ici pour une meilleure compréhension lors du traitement des données.

3.4.2 Mesure de la hauteur moyenne de chaque strate

- Mesurer la hauteur moyenne des espèces dominantes de chaque strate (en cm). Si il y a plusieurs cohortes établies (comme dans le cas des arbres) on utilise la plus ancienne.
- Point de référence pour la hauteur: la tourbe résiduelle. Par contre, si le tapis muscinal est bien formé et que c'est difficile de mesurer jusqu'à la tourbe, on peut prendre une mesure jusqu'au-dessus du tapis – MAIS IMPORTANT DE LE NOTER : on ajoutera la hauteur du tapis dans le fichier de données.
- Précision : 1 cm pour les petites espèces; 5 cm pour les grandes
 - ❖ Arbres/arbustes (A)
 - ❖ Ericacées (E) : exclut *Vaccinium oxycoccos*, *V. vitis-idae* et *Empetrum nigrum* ;
 - ❖ Herbacées (H) : exclut les *Drosera* ;
 - ❖ Muscinal (M) : on ne considère que les mousses dites « hautes » et les lichens, i.e. *Sphagnum*, *Polytrichum*, *Dicranum*, *Cladina*, etc... mais pas les *Dicranella*, hépatiques... On mesure la hauteur du tapis muscinal jusqu'à l'ancienne tourbe résiduelle.

3.5 Estimation du recouvrement des vasculaires (par sp)

Les quadrats d'inventaire des espèces vasculaires (1 m x 1 m) sont nommés Qv A, B, C et D. Voir le schéma plus bas. Voir aussi la section « L'art d'évaluer les pourcentages de recouvrement » plus bas.

- Pour les espèces de la strate Arbres/arbustes (A), le Vasculaire Total et le Total (T) :
 - Si la hauteur moyenne de A est > 1 m, le pourcentage de recouvrement est estimé à l'intérieur de la PP (5 x 5 m)
 - Sinon, le pourcentage de recouvrement est estimé dans 4 quadrats (1 x 1 m), disposés à au moins à 25 cm à l'intérieur des PP (Qv);
 - Pour les espèces des autres strates (E et H) : Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce est estimé dans 4 quadrats (1 x 1 m), disposés à l'intérieur des PP (Qv);
- Localisation des Qv : Le quadrat A est celui le plus près du piquet avec étiquette et la position des autres suit le sens horaire (Voir schéma) ;
- Pour les spécimens récoltés pour identification, indiquer R suivi du no de récolte ;
- Si une espèce n'est pas dans les quadrats mais ailleurs dans la parcelle, on ne la recense pas;
- Degré de précision de l'identification : à l'espèce autant que possible, surtout pour les espèces abondantes. Il est toutefois possible de simplifier les espèces difficiles (par exemple les bouleaux hybrides en *Bet* sp.) lorsque peu abondantes. Consulter la liste potentielle d'espèces pour avoir une idée de la précision des identifications.

Note sur inventaires des années précédentes : Le % par espèce n'était pas estimé en 1998 et 1999. De 2000 à 2005, le recouvrement des sp vasculaire était estimé sur la parcelle permanente (5 m x 5 m) plutôt que sur des quadrat de 1 m x 1m (Qv). Les Qv ont été « introduit » en 2006.

3.6 Estimation du recouvrement de la strate muscinale (par regroupement et par sp)

Les quadrats d'inventaire des espèces muscinales (25 cm x 25 cm) sont nommés Qm 1, 2, 3... Voir le schéma plus bas. Voir aussi la section « L'art d'évaluer les pourcentages de recouvrement » plus bas.

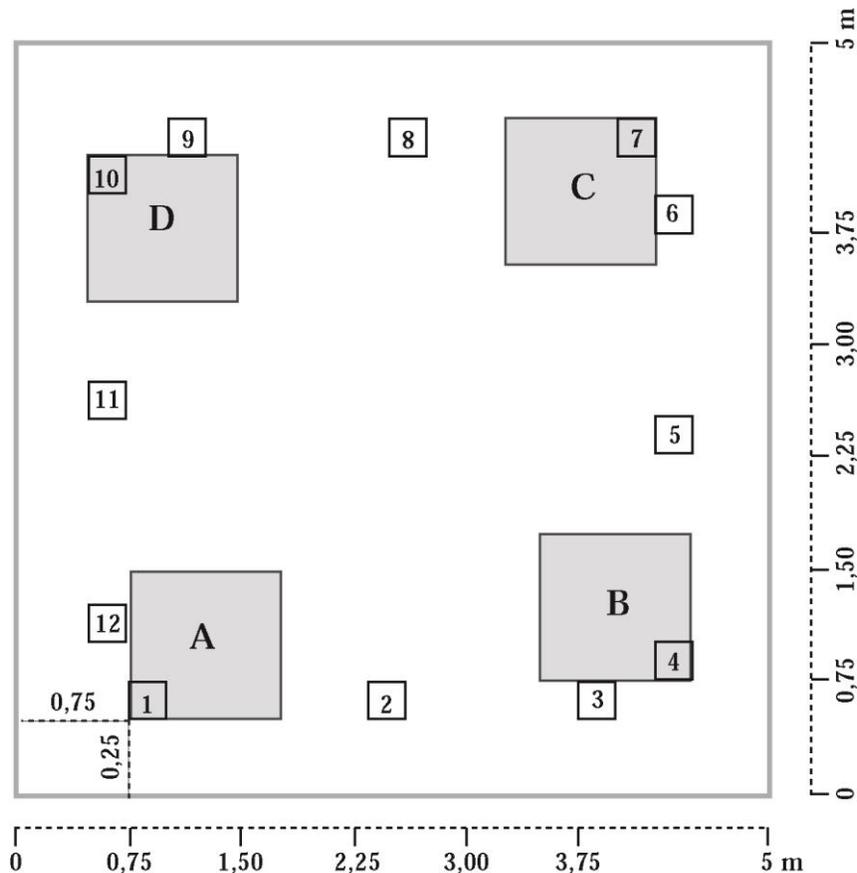
- 12 quadrats de 25 x 25 cm, disposés à 25 cm à l'intérieur des PP (Qm) ;
- Localisation : Le quadrat 1 est le plus près du piquet avec étiquette et la position des autres suit le sens horaire (Voir schéma) ;
- Enlever la paille pour la mesure et la remettre ensuite ;
- Commencer par estimer le pourcentage de recouvrement TOTAL, puis de la strate muscinale, puis des groupes. Ensuite, passer à l'identification des espèces ;
- Pour les spécimens récoltés pour identification, indiquer R suivi du no de récolte ;
- Si une espèce n'est pas dans les quadrats mais ailleurs dans la parcelle, on ne la recense pas ;
- Degré de précision de l'identification : à l'espèce autant que possible, surtout pour les espèces abondantes. Simplifier les espèces difficiles. Consulter la liste potentielle d'espèces ;
- Pour les sphaignes : on ne considère que les capitules, pas les tiges ;
- Pour les petites mousses ou hépatiques, on estime le couvert en tenant compte de ce qui est visible au-dessus du sol. Par exemple, *Pohlia nutans* nécessite un examen en profondeur du tapis muscinal. Comme on ne veut pas perturber la parcelle, on évite de trop fouiller et on estime le couvert qu'avec ce qu'on voit.
- Pour *Polytrichum strictum* (pol_str) : on doit considérer le couvert de cette espèce comme s'il était dans des conditions humides, i.e. ouvert. Si besoin, faire des tests de calibration au préalable avec un vaporisateur d'eau pour permettre à la mousse de s'ouvrir.
- Si les sphaignes sont attaquées par un champignon, on ne les inclut dans le % que si elles sont toujours vivantes. Les sphaignes sont attaquées par des champignons lorsque leur capitulum est absent ou en décomposition ou que la tige et les capitula sont recouverts d'une couche brunâtre visqueuse. Les sphaignes qui portent des taches noires sur leur capitulum ou qui présentent un capitulum complètement desséché (noire et croûté) sont incluses dans l'inventaire si le reste de la tige semble encore vivant. Les conditions de sécheresse peuvent rendre les sphaignes plus pâles (blanchâtres). Elles sont également incluses dans l'inventaire car elles sont toujours vivantes.

Note sur inventaires des années précédentes : Le % par espèce n'était pas estimé en 1998 et 1999, on n'estimait alors que des groupes prédéfinis (Sph, muscinal haut, muscinal bas). De 2000 à 2002, les espèces étaient estimées sur la parcelle permanente seulement (juste pour nous donner une idée des dominances). À partir de 2003, les recouvrements de la strate muscinale ont aussi été faits par espèce (autant que possible !) dans des quadrat de 25 x 25 cm. A partir de 2012, le nombre de Qm a été réduit à 12 par parcelles permanentes au lieu de 20 (voir document Optimize efforts d'Eduardo Gonzalez pour la logique derrière cette décision). Aussi, note retirée en 2015 : « Si le centre de la parcelle est assez différent des endroits observés à l'aide des quadrats, rajouter un transect médian (voir schéma en gris).

Quelques cas problématiques :

- Compte tenu que les inventaires ont lieu à l'automne, il est possible que certaines espèces présentent des signes de sénescence. On doit inclure dans le % de recouvrement des parties en sénescence, comme si elles étaient encore vivantes. Par exemple, on inclut les bouts des tiges d'*Eriophorum angustifolium* ou les feuilles des *Betula*, même si elles sont déjà tombées au sol. Pour les *Eriophorum vaginatum*, bien distinguer les parties sénescentes de l'année de celles des années précédentes. Par contre, comme les inventaires sont toujours faits aux mêmes dates environs, il ne faut pas non plus trop surestimer le couvert qu'on voit.
- Touradons d'*Eriophorum vaginatum* : on inclut dans la strate herbacée et dans le % de l'espèce l'ensemble de la base des touradons (buttes), même s'ils sont recouverts de litière.
- Les algues : sont incluses dans la classe TOTAL (pour les PP) et dans la catégorie VEG TOT (Qm)

Disposition des quadrats pour l'inventaire de la végétation dans les parcelles permanentes (PP). Les PP ont une superficie de 25 m² (5 m x 5 m). Les quadrats pour les plantes vasculaires (1 m x 1 m) sont identifiés de A à D. Les quadrats pour les plantes muscinales (25 cm x 25 cm) sont identifiés de 1 à 12.

**3.7 Mesure de la biomasse**

- À l'extérieur de chacune des parcelles permanentes, sélectionner un secteur qui est représentatif de l'intérieur de la parcelle.
- Dans un quadrat de 25 cm x 25 cm, noter le % de recouvrement de toutes les strates

(végétation totale, vasculaires, muscinal, sphaigne, autres mousses) et le recouvrement de toutes les espèces présentes dans le quadrat (vasculaires et muscinales) (Qb)

- A l'aide d'un couteau ou d'une truelle à dents, prélever toute la végétation qui s'est formée depuis la restauration (jusqu'à la tourbe résiduelle).
- Déposer le matériel végétal dans un (ou des) sacs ziplocs préalablement identifié avec la date de récolte, l'identification de la PP, le site, l'année de restauration et les initiales du manipulateur (et nombre total de sacs, si plus d'un sac est nécessaire).
- Garder les échantillons de biomasse au frais et les congeler au besoin si le délai entre la récolte et le séchage est de plus de 3 à 4 jours.
- Au laboratoire, s'assurer d'enlever la tourbe résiduelle des échantillons pour ne conserver que la végétation.
- Sécher la biomasse à 70°C durant 2-3 jours (ou jusqu'à sec)
- Noter le poids sec de la biomasse et la remettre ces données à Sandrine.

Note sur inventaires des années précédentes : les quadrats de biomasse ont été ajoutés au protocole à partir de 2013.

3.8 « L'après-inventaire »

3.8.1 Récolte de spécimens pour identification en laboratoire

- Bien indiquer sur le sac : site, no de parcelle, no de quadrat, Date, récolteur, no de récolte
- Une fois identifié : inscrire le nom de l'espèce sur les sacs de récolte et sur les feuilles de données, avec un crayon d'une couleur différente.

3.8.2 Vérifications et saisie des inventaires

- Vérifier que toutes les parcelles ont été inventoriées, que l'écriture est lisible ;
- Mettre les feuilles dans un enveloppe identifiée au nom du site ; Si vous prévoyez avoir du temps de saisie, gardez les enveloppe, sinon, les acheminer au responsable (Sandrine Hogue-Hugron);
- Pour la saisie, demandez un fichier modèle à Sandrine. Pour plus d'info concernant les fichiers Excel et les analyses, consulter le document : *Discussion monitoring Juillet2006.doc*

L'art d'évaluer les pourcentages de recouvrement : Le pourcentage de recouvrement est évalué par projection verticale, i.e. que l'œil de l'observation se place au-dessus du quadrat et estime le pourcentage occupé à l'intérieur du quadrat par l'espèce à mesurer. Pour chaque espèce (ou catégorie mesurée), on peut donc se poser la question « selon mon évaluation, l'espèce X occupe-t-elle 20% de la superficie ; donc, est-ce que 80% de la superficie de mon quadrat n'est pas occupé par cette espèce ? ».

Par contre, il est important d'estimer chaque variable indépendamment, sans essayer d'additionner ou de soustraire. De plus, il est normal que l'addition des différentes strates donne un résultat plus grand que 100%, puisque les strates sont superposées les unes au-dessus des autres.

Cette méthode pouvant devenir subjective, il est **très important de se calibrer** en équipe au début de la saison, ainsi que très régulièrement (chaque matin, ou avant chaque site).

La bordure de la parcelle ou du quadrat délimite la superficie échantillonnée. Tout ce qui est à l'intérieur est évalué, tout ce qui est à l'extérieur n'est pas évalué. Si un arbre est enraciné dans le sol à l'extérieur du quadrat mais que sa couronne recouvre le quadrat, on inclut le pourcentage de la superficie du quadrat qui est couvert par la couronne de l'arbre.

Précision de l'estimé :

- Couvert < 1 : indiquer un + (présence)
- Couvert entre 1 – 10% : Au 1 % près
- Couvert entre 10 – 20% : 10, 12, 15, 17, 20 %
- Couvert entre 20 – 80% : Au 5 % près
- Couvert entre 80 – 90% : 80, 82, 85, 87, 90 %
- Couvert entre 90 – 100% : Au 1 % près

NOTE : Ne pas piétiner ou circuler dans les parcelles permanentes. Ces parcelles ont été conçues afin d'éviter les perturbations et permettre le suivi de l'évolution de la végétation dans le temps...

Matériel pour une équipe de 4 personnes :

- Carnet de terrain (1)
- Feuilles de données
- Crayons de plomb
- Aiguise-crayon, efface
- Marqueurs noirs
- Tablettes de prise de notes (4)
- Feuilles imperméables
- Gallons à mesurer 30 m (4)
- Règle ou petit gallon pour hauteur
- Ruban forestier de différentes couleurs
- Appareil photo
- Quadrats 25 x 25 cm (4)
- Quadrats 1 x 1 m (2)
- GPS
- Vaporisateur
- Matériel de récolte : Papier journal, sacs de papier, enveloppes de papier
- Presse à plantes
- Sacs Ziplocs
- Carte des sites avec localisation des PP
- Liste d'espèces
- Abaques
- Étiquettes de métal
- Agrafeuse et agrafes
- Masse (pour installer les piquets)
- Quelques piquets de rechange ou plus selon besoin
- Loupes (4)
- Livres d'identification

Site : _____		Coordonnées GPS
Parcelle _____	Représentativité: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Lat: _____
Date _____	Observateur(s) _____	Long: _____

<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Recouvrement (par classe)</td> <td style="text-align: center;">Hauteur moyenne (cm)</td> </tr> <tr> <td>0 = 0</td> <td>3 = 26 - 50%</td> </tr> <tr> <td>+ = <1%</td> <td>4 = 51 - 75%</td> </tr> <tr> <td>1 = 1 - 10%</td> <td>5 = 76 - 100%</td> </tr> <tr> <td>2 = 11 - 25%</td> <td></td> </tr> </table> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 70%;">Arbustes/arbres (A) _____</td> <td style="width: 30%;">_____</td> </tr> <tr> <td>Ericacées (E) _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Herbacées (H) _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Muscinal (M) _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>TOTAL (T) _____</td> <td>Sg <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pist <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Ero <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tourbe + litière _____</td> <td>Dep <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Orn <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Substrat perturbé _____</td> <td>Old <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>New <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Paille _____</td> <td></td> </tr> </table>	Recouvrement (par classe)	Hauteur moyenne (cm)	0 = 0	3 = 26 - 50%	+ = <1%	4 = 51 - 75%	1 = 1 - 10%	5 = 76 - 100%	2 = 11 - 25%		Arbustes/arbres (A) _____	_____	Ericacées (E) _____	_____	Herbacées (H) _____	_____	Muscinal (M) _____	_____	TOTAL (T) _____	Sg <input type="checkbox"/>		Pist <input type="checkbox"/>		Ero <input type="checkbox"/>	Tourbe + litière _____	Dep <input type="checkbox"/>		Orn <input type="checkbox"/>	Substrat perturbé _____	Old <input type="checkbox"/>		New <input type="checkbox"/>	Paille _____		<p style="text-align: center;">Recouvrement vasculaires (%) - espèces Pour les spécimens récoltés, noter R suivi du no de récolte</p> <p><i>Total, Vasc tot et sp. strate A: si Hauteur A > 1m: estimés dans PP (5x5m; 1 mesure); sinon estimé dans 4 quadrats (1x1m) (4 mesures)</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #cccccc;"> <td style="text-align: center;">TOTAL</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr style="background-color: #cccccc;"> <td style="text-align: center;">Vasculaire Total</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>(A) _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>(E) _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>(H) _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table>	TOTAL					Vasculaire Total					(A) _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	(E) _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	(H) _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Recouvrement (par classe)	Hauteur moyenne (cm)																																																																																																																																																																														
0 = 0	3 = 26 - 50%																																																																																																																																																																														
+ = <1%	4 = 51 - 75%																																																																																																																																																																														
1 = 1 - 10%	5 = 76 - 100%																																																																																																																																																																														
2 = 11 - 25%																																																																																																																																																																															
Arbustes/arbres (A) _____	_____																																																																																																																																																																														
Ericacées (E) _____	_____																																																																																																																																																																														
Herbacées (H) _____	_____																																																																																																																																																																														
Muscinal (M) _____	_____																																																																																																																																																																														
TOTAL (T) _____	Sg <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																														
	Pist <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																														
	Ero <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																														
Tourbe + litière _____	Dep <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																														
	Orn <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																														
Substrat perturbé _____	Old <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																														
	New <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																														
Paille _____																																																																																																																																																																															
TOTAL																																																																																																																																																																															
Vasculaire Total																																																																																																																																																																															
(A) _____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
(E) _____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
(H) _____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
_____	_____	_____	_____	_____																																																																																																																																																																											
Photos																																																																																																																																																																															

Commentaires																																																																																																																																																																															

Annexe 2
Tourbières minérotrophes de la région de Rimouski – Sainte-Fabien

TOURBIÈRES MINÉROTROPHES NATURELLES DE LA RÉGION DE RIMOUSKI – SAINT-FABIEN

(Annexe 2 du rapport final « Restauration écologique des tourbières
de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer
dans le Bas-Saint-Laurent » - R719.1)

Groupe de recherche en écologie des tourbières

Université Laval

Groupe de rédaction : Vicky Bérubé, André-Philippe Drapeau Picard,
Marie-Claire LeBlanc, Claire Boismenu et Line Rochefort

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec

17 mars 2015

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
2.	TOURBIÈRE PLOURDE	2-1
2.1	Localisation	2-1
2.2	Description générale	2-2
2.3	Inventaires	2-3
2.4	Données chimiques	2-6
2.5	Perturbations	2-7
3.	TOURBIÈRE DE L'AQUEDUC SAINT-NARCISSE	3-1
3.1	Localisation	3-1
3.2	Description générale	3-2
3.3	Inventaire de végétation	3-3
3.4	Données chimiques	3-5
3.5	Perturbations	3-5
4.	TOURBIÈRE DES IRIS	4-1
4.1	Localisation	4-1
4.2	Description générale	4-2
4.3	Inventaires	4-3
4.4	Données chimiques	4-8
4.5	Perturbations	4-9
5.	TOURBIÈRE MINÉROTROPHE DU LAC DES JONCS	5-1
5.1	Localisation	5-1
5.2	Description générale	5-2
5.3	Inventaires	5-5
5.4	Données chimiques	5-8
5.5	Perturbations	5-8
6.	TOURBIÈRE FRALI	6-1
6.1	Localisation	6-1
6.2	Description générale	5-2
6.3	Inventaires	5-5
6.4	Données chimiques	5-8
6.5	Perturbations	5-8
7.	TOURBIÈRE DE BIC – SAINT-FABIEN	7-1
7.1	Localisation	7-1

7.2	Description générale	7-2
7.3	Inventaires	7-4
7.4	Données chimiques	7-9
7.5	Perturbations	7-10
8.	TOURBIÈRE OUELLET	8-1
8.1	Localisation	8-1
8.2	Description générale	8-1
8.3	Inventaires	8-4
8.4	Données chimiques	8-7
8.5	Perturbations	8-8
9.	RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	9-1
10.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	10-1

1. INTRODUCTION

Les tourbières sont des écosystèmes ayant la capacité à accumuler de la matière organique, formant ainsi un sol organique appelé tourbe. En effet, la productivité végétale du système est supérieure à sa vitesse de décomposition. Le développement des tourbières dans le paysage est généralement favorisé par des climats frais et humides et dans des lieux possédant un mauvais drainage. Malgré leurs particularités, la délimitation des tourbières des autres milieux humides n'est pas toujours simple. Pour la compréhension générale, nous adoptons ici les définitions suivantes :

Tourbe : matériel accumulé in situ comprenant au moins 30 % (masse sèche) de matière organique morte et partiellement décomposée;

Tourbière : un milieu avec ou sans végétation possédant une couche de tourbe accumulée de 30 cm ou plus à sa surface.

L'accumulation de tourbe peut atteindre des profondeurs considérables, jusqu'à 11 ou 15 m, mais habituellement comprises entre 2 et 6 m dans les régions boréales. Une profondeur minimale de 30 cm est souvent considérée comme un seuil quelque peu arbitraire pour l'épaisseur de la tourbe. Bien sûr, ce point de coupure fait partie d'un continuum, mais il est utile à des fins de classification, notamment pour la collecte de statistiques entre les différents pays ou pour la modélisation du cycle mondial du carbone (voir notamment les travaux du GIEC¹). Néanmoins, Étienne Paradis (U. Laval, données non encore publiées) qui a étudié les marges de tourbières dans l'est du Canada, a trouvé qu'une profondeur de tourbe de 30 cm est souvent révélatrice de la limite entre le lagg (zone de transition bordant la tourbière) et les forêts des hautes terres avoisinantes.

Deux principaux types de tourbières sont généralement reconnus au Québec et dans l'hémisphère Nord : les tourbières ombrotrophes et minérotrophes. Les tourbières ombrotrophes (bogs) sont des systèmes essentiellement alimentés en eau par les précipitations atmosphériques. Les sphaignes (*Sphagnum* spp.) sont de loin la composante végétale la plus commune et abondante dans ces tourbières. La linaigrette (*Eriophorum vaginatum*), les éricacées et les conifères y croissent en association avec le tapis de sphaignes. En Amérique du Nord, les éricacées des bogs sont composées d'un mélange d'espèces comme *Kalmia*, *Ledum*, *Chamaedaphne*, *Vaccinium* et *Gaylussacia*. L'épinette noire (*Picea mariana*) est souvent présente, alors que le mélèze (*Larix laricina*) se retrouve également régulièrement dans les sites plus humides et plus riches (Montague et Givnish 1996).

Les tourbières minérotrophes (fens) sont des systèmes influencés par un drainage à écoulement continu, où l'eau enrichie provenant du bassin hydrographique fournit un ensemble d'éléments minéraux alimentant une communauté végétale diversifiée. Cette eau s'écoulant apporte un certain degré d'oxygénation au substrat organique, ce qui accélère la décomposition de la tourbe. Ainsi, les dépôts de tourbe de fens ne sont généralement pas aussi épais que ceux des bogs. Les différents types de végétation des fens coïncident relativement bien avec le degré de minérotrophie (richesse en espèces) du milieu. La végétation des fens est le plus souvent dominée par les plantes

¹ GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

graminoïdes (comme les *Carex* spp. et d'autres genres de Cyperaceae) et les mousses brunes (des bryophytes de la famille des Amblystegiaceae), quelques arbustes (des saules, des aulnes ou des bouleaux nains) et des arbres (p. ex. les mélèzes), alors que les sphaignes sont rares ou absentes lorsque le pH est élevé (Amon et coll. 2002, Bedford et Godwin, 2003).

Les tourbières ombrotrophes sont en général étendues et abondantes dans la région du Bas-Saint-Laurent (Buteau 1989), alors que les grands fens tourbeux sont beaucoup plus rares, si on compare le Bas-Saint-Laurent avec les régions de la Minganie-Basse-Côte-Nord ou des basses terres de la Baie James. Par conséquent, il n'a pas été aisé de trouver des sites donneurs pour récolter des graines de cypéracées ou des propagules de mousses dans cette région pour restaurer la tourbière de Bic–Saint-Fabien, située non loin de Rimouski. En effet, une bonne partie du matériel végétal devant servir à la restauration des mares et des dépressions de cette tourbière a dû être récolté dans la région de Havre-Saint-Pierre.

Tout de même, avec l'aide du bryologue Jean Faubert (de la Société québécoise de bryologie), sept fens ont été inventoriés pour nous aider à définir l'écosystème de fen de référence de la région de Rimouski, planifier la restauration de la tourbière de Bic–Saint-Fabien et posséder des modèles vers lesquels les actions de restauration devaient être orientées. Voir la Figure 1.1 à la page suivante pour la localisation de ces tourbières.

Ces fens sont réellement de petits bijoux de biodiversité, que ce soit au niveau local ou régional et même pour le Sud de la province. Nous jugeons que ces sites mériteraient tous d'être conservés (chacun ayant sa particularité géomorphologique, historique, floristique, etc.) et c'est pourquoi nous trouvons important de vous les présenter dans l'espoir qu'un niveau de gouvernance (organisme à but non lucratif, municipal, ou ministériel) puisse entreprendre des démarches de conservation à long terme au profit des générations futures.

Ce document, qui constitue l'Annexe 2 du rapport « Rapport final - Restauration écologique des tourbières de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer dans le Bas-Saint-Laurent », fournit donc une description détaillée des sept fens inventoriés qui ont aidé le Groupe de recherche en écologie des tourbières à développer des modèles de restauration de fens. Le lecteur trouvera également à la fin du document un résumé et des conclusions concernant les principales particularités à retenir sur les tourbières présentées.

Nous espérons que ce document puisse contribuer à la conservation de ces sites précieux.

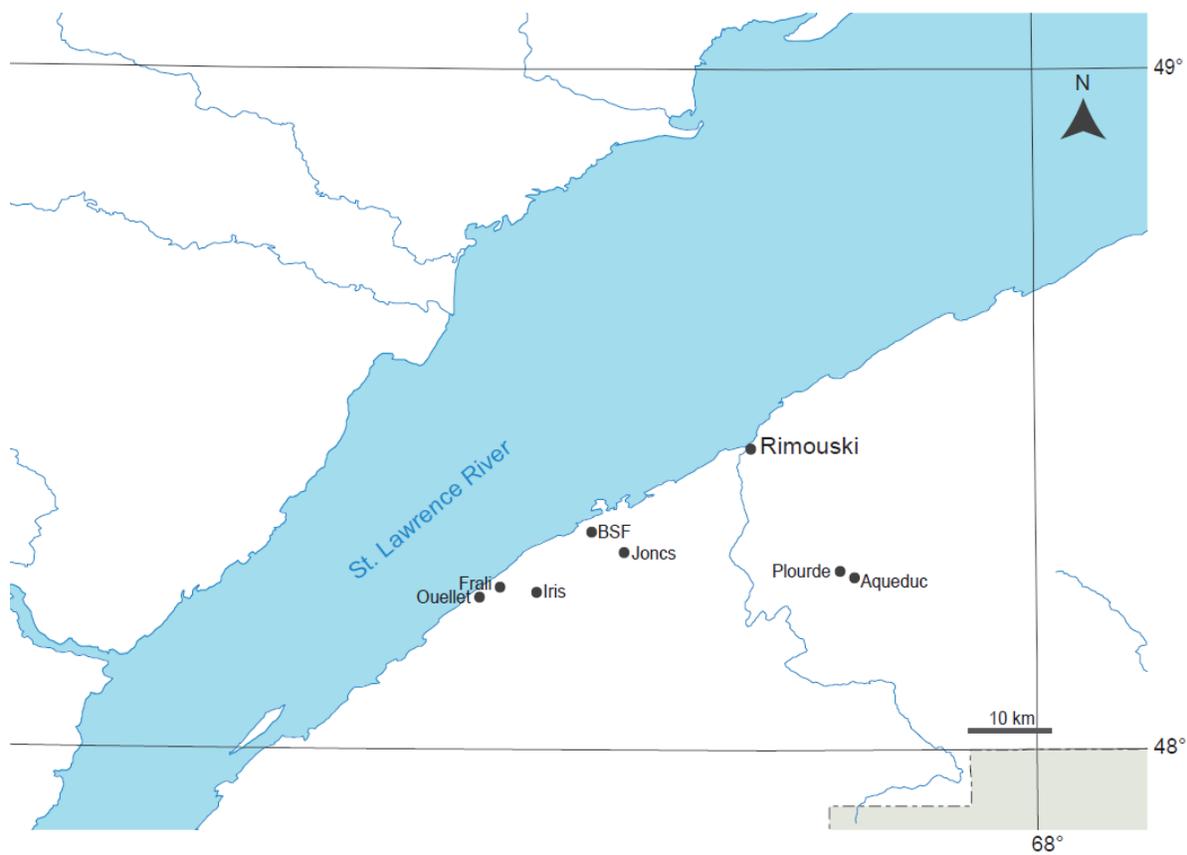


Figure 1.1 : Localisation des fens naturels de la région de Rimouski – Saint-Fabien (n = 7).

2. TOURBIÈRE PLOURDE

2.1 Localisation

W 68° 27' 1", N 48° 17' 19"

La tourbière Plourde est située dans la localité de Saint-Narcisse de Rimouski, plus précisément au sud-est du lac Plourde (Figure 2.1). On y accède par le chemin Montée des Huards.

En 2010, le propriétaire était Gilbert Proulx (559, chemin Duchénier, Saint-Narcisse-de-Rimouski, G0K 1S0) pour la division 3449, section 46 et l'emplacement 5070.



Figure 2.2 : Vue aérienne de la tourbière Plourde. La partie ouverte est délimitée par le polygone blanc. La cédrière est située autour de la partie ouverte. Image satellitaire provenant de *Google Earth* prise en 2004.

2.2 Description générale

La tourbière Plourde est de type minérotrophe riche à régime riparien et de forme lacustrine. Elle est classée comme fen de rivage (GTNTH, 1997). Un lac, localisé au milieu, s'est refermé tranquillement sous l'expansion de la tourbière, laissant actuellement un petit plan d'eau (Figure 2.2). Quelques mares, reliques de ce lac, sont situées au pourtour. Le processus de comblement est toujours actif.



Figure 2.2 : Photos de la partie ouverte de la tourbière Plourde. Vue vers le nord-est (photo du haut) et vers le sud-ouest (photo du bas).

La partie ouverte couvre moins de 1 ha. Une partie boisée est aussi présente aux extrémités nord-est et sud-ouest. Une délimitation plus exhaustive des limites de la tourbière, surtout dans la partie boisée, devra être réalisée.

En juillet 2008 et 2012, le niveau d'eau était sous la surface du sol, soit en moyenne, -5 cm.

La profondeur de tourbe près du centre de la tourbière est de plus de 6 m. La tourbe est mésique à humique, soit supérieure à H5 sur l'échelle de Von Post. Elle contient beaucoup d'eau, surtout près des plans d'eau. La masse volumique apparente prise en dessous de la strate muscinale est de 0,04 g/cm³. La perte au feu indique un pourcentage de 90 % de matière organique dans le sol de la tourbière.

2.3 Inventaires

2.3.1 Végétation

Un inventaire de végétation a été fait le 18 juillet 2008. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce présente dans douze quadrats circulaires de 70 cm de diamètre a été estimé (Tableau 2.1). Ces quadrats étaient répartis de façon équidistante le long d'un transect. L'emplacement final du relevé était cependant mis au hasard.

La végétation de la partie ouverte est de type graminioïde. Les cypéracées (*Trichophorum cespitosum*, *Carex lasiocarpa*), les bryophytes (*Sphagnum warnstorffii*, *Campylium stellatum*) et les arbustes (*Myrica gale*) dominent la végétation. La présence de *S. warnstorffii*, des mousses brunes *Campylium stellatum* et *Scorpidium cossonii*, du *Triglochin maritima* et de la *Parnassia glauca* indiquent un apport en eau riche en minéraux. Il y a présence de buttes de *Spaghnum fuscum* dans la partie supérieure et de *Sphagnum angustifolium* dans la partie inférieure du pourtour de la partie ouverte et dans la portion sud-ouest du fen. Ces buttes ombrotrophes sont des îlots isolés de la nappe phréatique et sont communes dans les fens riches. Dans le fen Plourde, elles ne sont pas indicatrices d'un basculement vers un système ombrogène.

La partie fermée n'a pas été inventoriée. Une cédrière tourbeuse, incluant le *Thuja occidentalis*, le *Larix laricina* et le *Picea marianna* comme espèces d'arbres dominantes, a été observée.

Tableau 2.1 : Pourcentage moyen de recouvrement des espèces présentes lors d'un inventaire de la tourbière Plourde. La nomenclature suit l'*Integrated Taxonomic Information System* (ITIS; Government of Canada, 2009) pour les plantes vasculaires (= V) et Faubert (2012, 2013, 2014) pour les invasculaires (= I).

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement
		Plourde (n = 12)
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i>	V	1,1
<i>Calamagrostis canadensis</i>	V	0,2
<i>Carex aquatilis</i>	V	0,3
<i>Carex exilis</i>	V	0,3
<i>Carex lasiocarpa</i>	V	1,1
<i>Carex limosa</i>	V	0,4
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	V	0,4
<i>Drosera rotundifolia</i>	V	0,9
<i>Galium labradoricum</i>	V	0,1
<i>Gaultheria hispidula</i>	V	0,6
<i>Gaylussaccia baccata</i>	V	0,1
<i>Larix laricina</i>	V	0,4
<i>Linnaea borealis</i>	V	0,1
<i>Maianthemum trifolium</i>	V	2,0
<i>Malaxia uniflora</i>	V	0,2
<i>Menyanthes trifoliata</i>	V	2,2
<i>Myrica gale</i>	V	14,3
<i>Nuphar variegatum</i>	V	3,3
<i>Parnassia glauca</i>	V	1,0
<i>Platanthera dilatata</i>	V	0,2
<i>Pyrola asarifolia</i>	V	0,1
<i>Rhododendron groenlandicum</i>	V	4,2
<i>Rhynchospora alba</i>	V	0,3
<i>Sarracenia purpurea</i>	V	1,0
<i>Thuja occidentalis</i>	V	0,1
<i>Trichophorum alpinum</i>	V	1,1
<i>Trichophorum cespitosum</i>	V	16,0
<i>Triglochin maritima</i>	V	0,2
<i>Utricularia intermedia</i>	V	1,4
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	V	0,8
<i>Calliergon</i> s.l. sp.	I	0,1
<i>Campylium stellatum</i>	I	16,3
<i>Hamatocaulis vernicosus</i>	I	9,6
Hépatiques spp.	I	0,2
<i>Mnium punctatum</i> var. <i>punctatum</i>	I	0,7
<i>Pleurozium schreberi</i>	I	0,1
<i>Scorpidium cossonii</i>	I	1,4
<i>Sphagnum angustifolium</i>	I	3,6
<i>Sphagnum fuscum</i>	I	11,8
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	I	47,6

2.3.2 Biomasse végétale

Le 31 juillet 2012, la biomasse des plantes vasculaires a été prélevée à l'intérieur de deux quadrats carrés de 50 cm x 50 cm disposés au hasard dans un secteur uniforme de la tourbière, puis elle a été séchée et pesée. Le total de la biomasse se situe dans la moyenne observée pour les fens du Bas-Saint-Laurent, qui est de 247 (± 159) g/m² (Vicky Bérubé, données non publiées). D'autres études réalisées dans les fens du Canada présentent des résultats semblables (Campbell et coll., 2000). Les résultats montrent la dominance de la strate des cypéracées (voir Tableau 2.2).

Tableau 2.2 : Biomasse aérienne moyenne des plantes vasculaires selon les principaux groupes de végétation, récoltée le 31 juillet 2012 à la tourbière Plourde (n = 2). La biomasse totale n'inclut pas les bryophytes ni les arbres.

Biomasse moyenne selon la strate de végétation (g/m ²)				Biomasse moyenne totale (g/m ²)
Cypéracées	Graminées	Autres herbacées	Arbustes	
142	3	64	84	294

2.3.3 Arthropodes

Dans le cadre d'un projet de maîtrise, un échantillonnage des araignées et des dytiques (coléoptères aquatiques) a été réalisé par André-Philippe Drapeau Picard (Tableau 2.3). Des pièges fosses ont été installés à la surface du sol dans la zone ouverte entre juin et juillet 2013. Des nasses ont été plongées au fond des mares en juillet 2013 et août 2014. Parmi les espèces présentes, l'une d'entre elles est associée aux tourbières, trois aux milieux humides et une autre est envahissante.

Tableau 2.3 : Espèces d'araignées et de dytiques identifiées à la tourbière Plourde. Les arthropodes ont été récoltés dans des pièges fosses et des nasses et identifiés par André-Philippe Drapeau Picard. La nomenclature suit Dondale et Redner (1978, 1980), Platnick et Dondale (1992) et Larson et coll. (2009).

Araignées	Lycosidae <i>Arctosa raptor</i> , <i>A. rubicunda</i> <i>Pardosa fuscula</i> ¹ <i>P. moesta</i> <i>Pirata cantralli</i> , <i>P. insularis</i> ² <i>P. piraticus</i> ¹ <i>P. zelotes</i> ¹ <i>Trochosa ruricola</i> ³	Tetragnathidae <i>Tetragnatha extensa</i>
Gnaphosidae <i>Gnaphosa parvula</i> <i>Zelotes fratris</i>		Thomisidae <i>Xysticus emertoni X</i> <i>obscurus</i>
Hahniidae <i>Neoantistea magna</i>		Dytiques
Linyphiidae <i>Bathyphantes brevis</i> <i>Centromerus nr furcatus</i> <i>Ceratinella parvula</i> <i>Eperigone undulata</i> <i>Erigone atra</i> <i>Floricomus rostratus</i> <i>Grammonota gigas</i> <i>Islandiana flaveola</i> <i>Oedothorax trilobatus</i> <i>Walckenaeria digitata</i> , <i>W. pallida</i> , <i>W. spiralis</i>	Pisauridae <i>Dolomedes striatus</i> , <i>D. triton</i>	<i>Acilius semisulcatus</i> <i>Colymbetes sculptilis</i> <i>Hydaticus aruspex</i>
	Salticidae <i>Sitticus floricola palustris</i>	

¹ Espèce associée aux milieux humides, ² espèces associées aux tourbières, ³ espèce envahissante.

2.4 Données chimiques

Un échantillon d'eau a été prélevé le 18 juillet 2008 sous la surface du sol et analysé l'automne suivant au laboratoire du Centre d'étude de la forêt à l'Université Laval. Les résultats (Tableau 2.4) confirment un apport en eau d'origine minérogène riche en minéraux. Les données sont similaires aux moyennes provinciales (Andersen et coll., 2011), à l'exception du calcium et du magnésium qui se trouvent en forte concentration. L'absence de phosphore peut être expliquée par la présence élevée de ces deux cations.

Tableau 2.4 : Résultats d'analyse des principaux éléments chimiques de l'eau à la tourbière Plourde. Échantillon récolté le 18 juillet 2008.

pH	Conductivité électrique corrigée (µS/cm)	Concentration en éléments chimiques (mg/L)								
		NH ₄	NO ₃	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Na	Fe
6,9	109,0	1,71	0,04	0,00	0,39	20,13	45,75	6,08	1,82	0,02

2.5 Perturbations

Il n'y a aucune perturbation dans la partie ouverte de la tourbière. Un sentier pédestre est présent dans la partie fermée, mais son incidence semble mineure. À proximité, le long du chemin Montée des Huards, vis-à-vis la tourbière, un terrain a été déboisé pour une construction domiciliaire en 2012. La perturbation du bassin versant et de la tourbière par les activités forestières ou le drainage pour un essor résidentiel semble être la plus sérieuse menace au maintien de l'intégrité du site.

3. TOURBIÈRE DE L'AQUEDUC SAINT-NARCISSE

3.1 Localisation

W 68° 26' 02", N 48° 13' 19"

La tourbière est située au sud du village de Saint-Narcisse-de-Rimouski. On y accède en empruntant la rue du Pavillon (Figure 3.1). En 2010, le terrain était la propriété de la municipalité de Saint-Narcisse (7 rue du Pavillon, Saint-Narcisse-de-Rimouski, QC, G0K 1S0). Le lac qui se trouve dans la tourbière fournit l'approvisionnement en eau potable du village. L'accès au site est donc restreint.

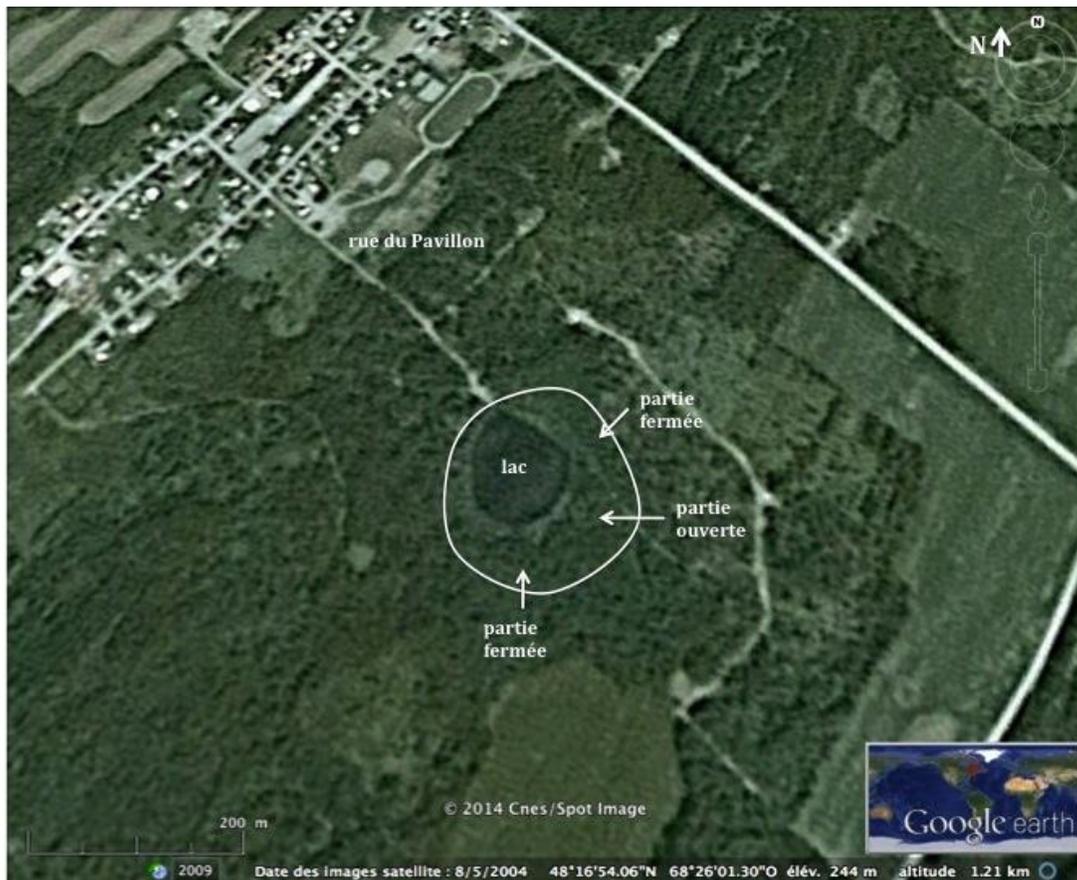


Figure 3.1 : Vue aérienne du site de la tourbière de l'aqueduc Saint-Narcisse. Les parties ouverte et fermée sont mises en évidence de façon générale par les flèches. Image satellitaire provenant de *Google Earth* prise en 2004.

3.2 Description générale

La tourbière de l'aqueduc Saint-Narcisse est de type minérotrophe riche. Un lac de moins d'un hectare est présent dans la partie nord-ouest de la tourbière. Autour de ce lac, une zone ouverte est sous l'influence d'un régime riparien et de forme lacustrienne (GTNTH, 1997). Plus précisément, cette zone est classée fen de rivage. Une autre zone ouverte située au sud-est (Figure 3.2) s'apparente plutôt à un régime de déversement d'eau souterraine, plus exactement à un fen de bassin (GTNTH, 1997). La majeure partie de cette zone est constituée d'une cédrière tourbeuse semi-fermée à fermée, à l'exception d'un petit secteur ouvert situé au sud du lac. Ce dernier est riche en diversité floristique. Une mesure de niveau d'eau faite dans cette zone en juillet 2008 indique 15 cm sous la surface. La superficie de la tourbière n'a pas été mesurée de façon exhaustive. Dans la partie ouverte, l'épaisseur de tourbe est de 4,9 m. La tourbe, très décomposée dans l'horizon situé sous la mousse, varie entre H4 et H5 sur l'échelle de Von Post. La masse volumique apparente de cette tourbe est de $0,07 \text{ g/cm}^3$ et contient 87 % de matière organique.



Figure 3.2 : Photo de la partie ouverte de la tourbière de l'aqueduc Saint-Narcisse, située au sud-est du lac et à une quinzaine de mètres de la berge.

3.3 Inventaire de végétation

Un inventaire de végétation a été mené le 18 juillet 2008. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce présente dans dix quadrats circulaires de 70 cm de diamètre a été estimé (Tableau 3.1). Ces quadrats étaient répartis de façon équidistante le long d'un transect allant de la partie ouverte vers le bord du lac. L'emplacement final du relevé était cependant mis au hasard.

La végétation est de type graminoïde. Un gradient d'humidité, qui est associé au niveau d'eau, s'étend entre la partie ouverte (niveau d'eau sous la surface) et le bord du lac (niveau d'eau près de la surface) et se reflète dans les communautés végétales. Le *Trichophorum cespitosum* et le *Sphagnum warnstorffii* sont dominants dans la partie ouverte située au sud-est du lac. Ils font place aux *Carex aquatilis* et *C. lasiocarpa* et au *Scorpidium cossonii* près du lac.

La *Valeriana uliginosa*, une espèce placée sur la liste des plantes vasculaires vulnérables du Québec (CDPNQ, 2008), est présente sur le site. Elle a été observée avec le *Carex interior*, la *Parnassia glauca*, le *Campylium stellatum*, le *Sphagnum warnstorffii* et le *Scorpidium cossonii*. Ces espèces indiquent une eau riche en minéraux.

La biomasse végétale de l'année des plantes vasculaires a été prélevée à l'intérieur de deux quadrats de 50 cm x 50 cm disposés au hasard dans deux secteurs uniformes de la tourbière, puis elle a été séchée et pesée. La biomasse végétale est généralement très variable dans les fens, puisqu'elle dépend de la végétation (Campbell et coll., 2000). Pour la région de Rimouski, la moyenne pour ce type de fen est de $247 \pm 159 \text{ g/m}^2$ (Vicky Bérubé; données non publiées). Les résultats montrent la dominance de la strate des cypéracées (voir Tableau 3.2).

Tableau 3.1 : Pourcentage moyen de recouvrement des espèces présentes lors de l'inventaire de la tourbière de l'aqueduc Saint-Narcisse. La nomenclature suit l'*Integrated Taxonomic Information System* (ITIS; Government of Canada, 2009) pour les plantes vasculaires (= V) et Faubert (2012, 2013, 2014) pour les invasculaires (= I).

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement
		Aqueduc St-Narcisse (n = 10)
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i>	V	6,6
<i>Aster</i> s.l. sp.	V	0,4
<i>Calamagrostis canadensis</i>	V	0,5
<i>Carex aquatilis</i>	V	1,9
<i>Carex exilis</i>	V	0,7
<i>Carex gynocrates</i>	V	0,2
<i>Carex interior</i>	V	0,1
<i>Carex lasiocarpa</i>	V	1,2

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement
		Aqueduc St-Narcisse (n = 10)
<i>Carex limosa</i>	V	1,2
<i>Carex</i> sp.	V	0,3
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	V	2,5
<i>Drosera rotundifolia</i>	V	0,2
<i>Eriophorum viridi-carinatum</i>	V	0,1
<i>Galium labradoricum</i>	V	0,2
<i>Larix laricina</i>	V	0,9
<i>Linnaea borealis</i>	V	0,3
<i>Lobelia kalmii</i>	V	0,3
<i>Maianthemum trifolium</i>	V	2,1
<i>Menyanthes trifoliata</i>	V	4,7
<i>Myrica gale</i>	V	23
<i>Parnassia glauca</i>	V	1,9
<i>Platanthera dilatata</i>	V	0,2
<i>Potentilla fruticosa</i>	V	2,4
<i>Rhododendron groenlandicum</i>	V	1
<i>Rubus pubescens</i>	V	0,3
<i>Sarracenia purpurea</i>	V	0,5
<i>Selaginella selaginoides</i>	V	0,2
<i>Solidago uliginosa</i>	V	0,2
<i>Thuja occidentalis</i>	V	0,6
<i>Trichophorum cespitosum</i>	V	5,5
<i>Triglochin maritima</i>	V	0,5
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	V	1,1
<i>Valeriana uliginosa</i>	V	0,1
<i>Viola</i> sp.	V	0,1
<i>Aulacomnium palustre</i>	I	0,2
<i>Campylium stellatum</i>	I	6,6
<i>Pleurozium schreberi</i>	I	3
<i>Scorpidium cossonii</i>	I	57,6
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	I	27
<i>Thuidium delicatulum</i>	I	1,5
<i>Tomenthypnum nitens</i>	I	0,4

Tableau 3.2 : Biomasse aérienne moyenne des plantes vasculaires selon les principaux groupes de végétation, récoltée le 31 juillet 2012 à la tourbière de l'aqueduc Saint-Narcisse (n = 2). La biomasse totale n'inclut pas les bryophytes ni les arbres.

Biomasse moyenne selon la strate de végétation (g/m ²)				Biomasse moyenne totale (g/m ²)
Cypéracées	Graminées	Autres herbacées	Arbustes	
134	2	35	11	182

3.4 Données chimiques

Un échantillon d'eau a été prélevé à l'été 2008 sous la surface du sol et analysé l'automne suivant au Centre d'étude de la forêt à l'Université Laval (voir Tableau 3.3). Le pH près de la neutralité, la conductivité électrique élevée et les valeurs élevées en calcium et magnésium confirment un apport en eau d'origine minérogène riche en minéraux (Vitt et coll., 1995).

Tableau 3.3 : Résultats d'analyse des principaux éléments chimiques de l'eau de la tourbière de l'aqueduc Saint-Narcisse. Échantillon récolté le 18 juillet 2008 (n = 1).

pH	Conductivité électrique corrigée ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Concentration en éléments chimiques (mg/L)								
		NH ₄	NO ₃	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Fe	Na
6,9	262	0,93	0,01	0,45	1,11	21,64	14,21	5,08	0,01	1,82

3.5 Perturbations

Aucune perturbation majeure n'a été observée sur le site. Un sentier anciennement aménagé passe près du lac, au nord-est, mais semble être rarement utilisé puisque la végétation le recouvre. Comme le lac est la source en eau potable de la municipalité, l'accès au site est clôturé et restreint, mais facilement contournable. Aucune coupe forestière dans la cédrière n'a été observée.

4. TOURBIÈRE DES IRIS

4.1 Localisation

W 68° 57' 36", N 48° 13' 19"

La tourbière des Iris est située dans la municipalité de Saint-Mathieu-de-Rioux. Elle est accessible par le chemin de la Fonderie (Figure 4.1). La MRC des Basques pourra fournir le nom du propriétaire du terrain. Elle a été nommée ainsi en raison de la présence d'une importante colonie d'*Iris versicolor*.



Figure 4.1 : Vue aérienne de la tourbière des Iris. Les flèches indiquent les différentes zones de la tourbière. La partie ouverte a une superficie de moins d'un hectare et la partie fermée de trois hectares. Image satellitaire provenant de *Google Earth* prise en 2004.

4.2 Description générale

La tourbière des Iris est située dans une vallée à l'extrémité nord-est d'un lac (Figure 4.1). Une partie ouverte d'environ un hectare borde le lac (Figure 4.2). Le niveau d'eau mesuré le 7 août 2012 était de dix centimètres sous la surface du sol. Cette partie est une tourbière minérotrophe riche à régime riparien de forme lacustrienne. Elle est classée fen de rivage selon le système de classification des terres humides du Canada (GTNTH, 1997). L'écoulement de l'eau provenant des falaises calcaires bordant chaque côté de la tourbière a aussi une influence terrigène sur l'hydrologie de la tourbière, soit un déversement d'eau de surface. Un petit ruisseau passant de la cédrière vers le lac est riche en marl, un dépôt riche en carbonate de calcium. De petites étendues d'eau sont aussi présentes autour de ce ruisseau.

Au-delà, une cédrière tourbeuse fermée est présente. Le niveau d'eau était de 5 cm sous la surface du sol le 7 août 2012. Cette partie peut être classée fen de bassin (GTNTH, 1997).



Figure 4.2 : Photo de la partie ouverte de la tourbière des Iris.

Pour cette étude, la tourbière a été divisée en deux parties : ouverte et fermée. L'analyse physique de la tourbe est semblable pour les deux parties (Tableau 4.1), sauf pour la profondeur de tourbe, car il y a moins de tourbe accumulée

dans la partie fermée, et ce, même si la mesure n'a pas été prise particulièrement près de la falaise. Cela peut être dû à la topographie de la vallée sur laquelle repose la tourbière. La tourbe de surface est généralement fibrique à mésique, soit entre H3 et H4 sur l'échelle Von Post. Elle contient un fort pourcentage de matière organique.

Tableau 4.1 : Résultats de l'analyse physique de la tourbe des deux parties de la tourbière des Iris. Échantillons prélevés en juillet 2012

Site	Profondeur de tourbe (cm)	Masse volumique apparente du sol (g/cm ³)	% de matière organique
Iris - ouvert	565	0,07	92
Iris - fermée	42	0,09	89

4.3 Inventaires

4.3.1 Végétation

Un inventaire de végétation a été fait en juillet 2009 dans la partie ouverte et en août 2012 dans la partie fermée. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce présente dans dix quadrats circulaires de 70 cm de diamètre a été estimé dans chacune des parties (Tableau 4.2). Ces quadrats étaient répartis de façon équidistante le long d'un transect, perpendiculaire au nord-est du lac. L'emplacement final du relevé était cependant mis au hasard.

Dans la partie ouverte, la végétation est de type graminéoïde (Figure 4.2). Un gradient de végétation entre le lac et la cédrière est observé. Il débute par de l'eau libre, puis devient une communauté de *Schoenoplectus tabernaemontani* / *S. acutus*, puis de *Carex lasiocarpa* (Figure 4.3). Les grandes cypéracées disparaissent pour laisser place au *Sphagnum teres* (Figure 4.4). S'érige ensuite une rangée de *Thuja occidentalis*, peut-être une relique d'un rehaussement du sol, juste avant une communauté à dominance de mousses brunes (*Scorpidium cossonii*, *Campylium stellatum*), de *Myrica gale* et de *Trichophorum alpinum*. Finalement, une cédrière tourbeuse fermée prend place.

La présence de *Scorpidium scorpioides* dans les endroits très humides est un bon indicateur de la richesse en minéraux de l'eau. De plus, la présence de *Rhytiadelphus triquetra* est associée aux vieilles cédrières. Des populations de *Carex prairea* et *Cypripedium reginae*, deux espèces susceptibles d'être désignées vulnérables ou menacées (CDPNQ, 2008), ont été observées dans la tourbière. Le *Cypripedium reginae* et l'*Arethusa bulbosa* sont aussi présents.

Tableau 4.2 : Pourcentage moyen de recouvrement des espèces présentes lors d'un inventaire de la tourbière des Iris. La nomenclature suit l'*Integrated Taxonomic Information System* (ITIS; Government of Canada, 2009) pour les plantes vasculaires (= V) et Faubert (2012, 2013, 2014) pour les invasculaires (= I).

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		Iris - ouvert (n = 10)	Iris - fermé (n=10)
<i>Abies balsamea</i>	V	0	0,1
<i>Acer rubrum</i>	V	0,1	2,5
<i>Alnus rugosa</i>	V	0	4,2
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i>	V	2,2	0,1
<i>Betula papyrifera</i>	V	0	0,1
<i>Calamagrostis canadensis</i>	V	0	0,2
<i>Carex disperma</i>	V	0	9,6
<i>Carex exilis</i>	V	0,4	0
<i>Carex gynocrates</i>	V	0,1	0
<i>Carex lasiocarpa</i>	V	0,7	0
<i>Carex leptalea</i>	V	0	1
<i>Carex magellanica</i>	V	0,1	0,9
<i>Carex prairea</i>	V	0,9	0
<i>Carex</i> sp.	V	0,1	0
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	V	0,8	0
<i>Clintonia borealis</i>	V	0	0,5
<i>Coptis trifolia</i>	V	0,1	0,1
<i>Cornus canadensis</i>	V	0	2
<i>Cornus sericea</i>	V	0	0,9
<i>Cypripedium parviflorum</i>	V	0	0,2
<i>Doellingeria umbellata</i>	V	0	0,4
<i>Drosera intermedia</i>	V	0,1	0
<i>Drosera rotundifolia</i>	V	0,8	0
<i>Eupatorium maculatum</i>	V	0	0,1
<i>Galium labradoricum</i>	V	0,5	0,2
<i>Gaultheria hispidula</i>	V	0	0,1
<i>Glyceria canadensis</i>	V	0	1,2
<i>Iris versicolor</i>	V	0	0,8
<i>Kalmia angustifolia</i>	V	0	0,5
<i>Larix laricina</i>	V	0,1	0
<i>Linnaea borealis</i>	V	0	0,1
<i>Lonicera villosa</i>	V	0,5	0,1
<i>Lycopus unifolia</i>	V	0,1	0,2
<i>Maianthemum canadense</i>	V	0	0,1
<i>Maianthemum trifolium</i>	V	0	2,2
<i>Menyanthes trifoliata</i>	V	0,2	1,6
<i>Mitella nuda</i>	V	0	0,5
<i>Mulhenbergia glomerata</i>	V	0,2	0

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		Iris - ouvert (n = 10)	Iris - fermé (n=10)
<i>Myrica gale</i>	V	14,4	0,5
<i>Picea mariana</i>	V	0	0,5
<i>Pogonia ophioglossoides</i>	V	0,3	0
<i>Potamogeton</i> sp.	V	0,1	0
<i>Potentilla palustris</i>	V	0,3	0,1
<i>Pyrola asarifolia</i>	V	0	0,1
<i>Rhododendron groenlandicum</i>	V	0	0,3
<i>Rhynchospora alba</i>	V	0,2	0
<i>Rosa palustris</i>	V	0,1	0,2
<i>Rubus pubescens</i>	V	0	2,1
<i>Salix</i> sp.	V	0	3
<i>Sarracenia purpurea</i>	V	1,5	0
<i>Schoenoplectus acutus</i>	V	2,4	0
<i>Symphyotrichum puniceum</i> var. <i>puniceum</i>	V	0	0,1
<i>Thelypteris palustris</i>	V	0	0,1
<i>Thuja occidentalis</i>	V	0,2	30,6
<i>Triadenum virginicum</i>	V	0,3	0
<i>Trichophorum alpinum</i>	V	1,3	0
<i>Trichophorum cespitosum</i>	V	0,2	0
<i>Trientalis borealis</i>	V	0	0,2
<i>Utricularia intermedia</i>	V	2	0
<i>Vaccinium angustifolium</i>	V	0	0,1
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	V	1	0,1
<i>Viola</i> sp.	V	0,1	0,1
<i>Aulacomnium palustre</i>	I	0	0,3
<i>Calliergon giganteum</i>	I	3,6	0
<i>Calliergon</i> sp.	I	0	7,7
<i>Campylium stellatum</i>	I	45,7	0,3
<i>Climacium dendroides</i>	I	0	0,5
<i>Drepanocladus</i> sp.	I	0	3,2
<i>Fissidens</i> sp.	I	0	0,1
<i>Helodium blandowii</i>	I	0	4,5
<i>Hylocomnium splendens</i>	I	0	0,2
<i>Mnium</i> sp.	I	0	1,3
<i>Pleurozium schreberi</i>	I	0	1,5
<i>Ptilium crista-critensis</i>	I	0	0,1
<i>Rhytiadelphus triquetrus</i>	I	0	2,8
<i>Scorpidium cossonii</i>	I	12,9	0
<i>Scorpidium scopoides</i>	I	8,9	0
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	I	0	0,6
<i>Sphagnum teres</i>	I	13,8	0
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	I	0,6	27



Figure 4.3 : Photo de la partie ouverte de la tourbière des Iris située en bordure du lac. On observe une communauté de grandes cypéracées, comme les *Schoenoplectus tabernaemontani* / *S. acutus* et le *Carex lasiocarpa*.



Figure 4.4 : Communauté de *Sphagnum teres*, une sphaigne orangée présente en grande colonie près du lac de la tourbière des Iris. Le *Myrica gale* et la *Sarracenia purpurea* sont les plantes vasculaires dominantes.

4.3.2 Biomasse végétale

La biomasse végétale des plantes vasculaires a été prélevée en août 2012 à l'intérieur de deux quadrats de 50 cm x 50 cm disposés au hasard dans un secteur uniforme de la tourbière, puis elle a été séchée et pesée. La biomasse végétale de la zone ouverte indique une codominance entre les cypéracées et les arbustes (Tableau 4.3). Ce fait avait aussi été observé dans les relevés de végétation. Pour cette partie, le total de la biomasse se situe dans la moyenne observée pour les fens du Bas-Saint-Laurent, qui est de $247 \pm 159 \text{ g/m}^2$ (Vicky Bérubé, données non publiées). La majeure partie de la biomasse de la partie fermée est constituée d'arbres. Pour cette raison, les résultats sont assez bas. Contrairement à la partie ouverte, les arbustes ne sont pas bien représentés et sont remplacés par une variété d'herbacées.

Tableau 4.3 : Biomasse aérienne moyenne des plantes vasculaires selon les principaux groupes de végétation, récoltée le 7 août 2012 à tourbière des Iris. La biomasse totale n'inclut pas les bryophytes ni les arbres.

Site	Biomasse moyenne selon la strate de végétation (g/m ²)				Biomasse moyenne totale (g/m ²)
	Cypéracées	Graminées	Autres herbacées	Arbustes	
Iris – ouvert (n = 3)	118	3	4	52	177
Iris - fermée (n = 2)	34	1	32	4	72

4.3.3 Arthropodes

Dans le cadre d'un projet de maîtrise, un échantillonnage des araignées et dytiques (coléoptères aquatiques) a été réalisé par André-Philippe Drapeau Picard (Tableau 4.4). Des pièges fosses ont été installés dans à la surface du sol dans la zone ouverte entre juin et juillet 2013. Des nasses ont été plongées au fond des mares en juillet 2013 et août 2014. Parmi les espèces présentes, deux sont associés aux tourbières et une aux milieux humides.

Tableau 4.4 : Espèces d'araignées et de dytiques identifiées à la tourbière des Iris. Les arthropodes ont été récoltés et identifiés par André-Philippe Drapeau Picard. La nomenclature suit Dondale et Redner (1978, 1980), Platnick et Dondale (1992) et Larson et coll. (2009).

Araignées		
Gnaphosidae <i>Gnaphosa parvula</i>	Linyphiidae <i>Grammonota gigas</i> <i>Halorates plumosus</i> <i>Horcotes quadricristatus</i> <i>Kaestneria rufula</i> <i>Neottiura bimaculata</i> <i>Oedothorax trilobatus</i> <i>Walckenaeria spiralis</i>	Tetragnathidae <i>Pachygnatha brevis</i>
Linyphiidae <i>Baryphyma gowerense</i> <i>Bathyphantes canadensis</i> <i>Ceratinella ornatula</i> <i>Cheniseo sphagnicultor</i> <i>Dicymbium elongatum</i> <i>Eperigone trilobata</i> <i>Eperigone undulata</i> <i>Erigone atra</i> <i>Floricomus rostratus</i>	Liocranidae <i>Phrurotimpus borealis</i>	Theridiidae <i>Theonoe stridula</i>
	Lycosidae <i>Arctosa raptor</i> <i>Pardosa fuscua</i> ¹ <i>Pardosa moesta</i> <i>Pirata cantralli</i> <i>Pirata insularis</i> ² <i>Trochosa terricola</i>	Thomisidae <i>Misumena vatia</i>
		Dytiques <i>Acilius semisulcatus</i> <i>Colymbetes paykullii</i> ² <i>Colymbetes sculptilis</i> <i>Dytiscus verticalis</i>

¹ Espèce associée aux milieux humides, ² espèces associées aux tourbières

4.4 Données chimiques

Un échantillon d'eau a été prélevé dans chaque partie du fen à l'été 2012 sous la surface du sol et analysé l'automne suivant au laboratoire du Centre d'étude de la forêt à l'Université Laval. Les résultats indiquent que l'eau alimentant la tourbière est d'origine minérogène riche en cations de calcium et magnésium (Tableau 4.4). La concentration élevée de sodium est due à la proximité du fleuve.

Tableau 4.4 : Résultats d'analyse des principaux éléments chimiques de l'eau de la tourbière des Iris. Échantillons récoltés le 7 août 2012.

Site	pH	Conductivité électrique corrigée (µS/cm)	Concentration en éléments chimiques (mg/L)								
			NH ₄	NO ₃	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Fe	Na
Iris – ouvert (n = 1)	7,2	110	0,13	0,12	0,12	0,21	2,93	14,70	0,83	0,03	3,34
Iris – fermée (n = 1)	6,0	94	0,33	0,02	0,65	1,84	2,46	9,24	0,85	0,17	4,44

4.5 Perturbations

Aucune perturbation n'a été observée. Le propriétaire utilise le site comme terrain de chasse. Un chemin de véhicule tout-terrain est présent le long de la falaise dans la partie fermée. Dans ce cas, les sentiers peu utilisés comme ce dernier ont un impact plutôt positif sur la végétation. En effet, les cédrières denses sont peu diversifiées en espèces végétales en raison de l'abondance de litière et de la faible luminosité au sol. L'ouverture de la canopée, une conséquence directe de la présence du sentier, amène plus de lumière au sol. En conclusion, il y a une plus grande diversité végétale et un couvert plus soutenu dans les sentiers peu utilisés que dans la cédrière elle-même.

5. TOURBIÈRE MINÉROTROPHE DU LAC DES JONCS

5.1 Localisation

W 68° 46' 59", N 48° 17' 32"

La tourbière du lac des Joncs est située dans les limites de la municipalité de Saint-Eugène-de-Ladrière. On y accède, soit par le lac, car la tourbière est adjacente au lac des Joncs, soit à pied en passant au bout du 3^e rang Est, par les champs agricoles ou par le terrain du dernier chalet. Le propriétaire de la partie fermée, située juste à l'ouest du chalet, est M. Bertrand Rousseau (269 Rang 2 Est, Saint-Fabien, QC, G0L 2Z0). Le propriétaire de la partie ouverte est Luc Roussel (162, route Centrale, Saint-Valérien, QC, G0L 4E0).



Figure 5.1 : Vue aérienne de la tourbière minérotrophe du lac des Joncs. Les flèches indiquent les différentes zones de façon générale. Les zones plus pâles et brunâtres autour du lac et sur les îles sont des tourbières ombrotrophes ouvertes. Image satellitaire provenant de *Google Earth* prise en 2004.

5.2 Description générale

La tourbière minérotrophe du lac des Joncs fait partie d'un complexe de tourbières parsemées autour du lac (Figure 5.1). Le lac des Joncs est un grand plan d'eau où le *Schoenoplectus tabernaemontani* et le *S. acutus* var. *acutus* abondent dans les parties peu profondes. Ces zones peu profondes sont surtout situées dans le centre et l'est du lac. Des populations de *Nymphaea leibergii*, une espèce retirée récemment de la liste des espèces désignées comme menacées ou vulnérables, sont aussi présentes à divers endroits. Plusieurs tourbières jouxtent le lac des Joncs, la très grande majorité étant ombrotrophes. La plupart des îles du lac sont aussi de nature ombrotrophe. La présence d'une tourbière minérotrophe riche à cet endroit est pourtant bien réelle.

Une partie de la tourbière d'une superficie d'un peu moins d'un hectare est une cédrière tourbeuse ouverte. L'autre partie, faisant un peu plus d'un hectare, est semi-fermée à fermée (Figure 5.2). Les deux parties ont été inventoriées séparément.



Figure 5.2 : Photos de la tourbière minérotrophe du lac des Joncs. Vues de la partie ouverte (a et b) et de la partie fermée (c et d).

5.2.1 Classement

Le classement de cette tourbière selon le système canadien de classification des terres humides laisse place à l'interprétation puisqu'il y a plusieurs types de tourbières regroupées au même endroit. La partie ouverte de la tourbière est fort probablement alimentée par une source d'eau souterraine, car l'eau du lac présente un pH légèrement plus acide que la tourbière. Cela correspond à un fen de bassin (GTNTH, 1997). De plus, comme pour la partie fermée, une zone de la tourbière est partiellement inondée par le débordement du lac au printemps et à l'automne, à la manière d'un marécage. Cette zone serait davantage soumise à un régime d'alimentation en eau de type riparien et de forme lacustrienne (GTNTH, 1997) et donc classée comme un fen de rivage. Finalement, à l'ouest du fen se trouve une tourbière ombrotrophe. En faisant un transect est-ouest, on monte littéralement dans la partie ombrotrophe. Le fen constitue aussi une portion du lagg, c'est-à-dire la marge de cette tourbière ombrotrophe.

5.2.2 Analyse stratigraphique

Un carottage a été fait dans la partie ouverte (Figure 5.3). La profondeur de tourbe est de 3,07 m, dont 1,70 m de tourbe mésique composée majoritairement de bryophytes, et de 1,30 de gyttja, un sédiment lacustre. Le gyttja est présent lorsqu'il y a une étendue d'eau qui se remplit peu à peu de débris organiques très décomposés provenant de microorganismes, de coquillages, de plantes et de minéraux. Lorsque la couleur est grise, il y a présence de calcium dans l'eau. C'est le cas dans cette tourbière. Ainsi, la présence de gyttja indique un développement par comblement. Une couche d'argile tapisse le fond de la tourbière.

La profondeur de tourbe de la partie fermée de la tourbière est de 1,52 m. Un carottage pourrait confirmer l'hypothèse de l'expansion de la tourbière par paludification si le gyttja est absent.



Figure 5.3 : Carottage de la partie ouverte de la tourbière minérotrophe du lac des Joncs. Chaque photo représente une section de 50 cm de hauteur du profil de la tourbière en commençant par la surface vers le fond. La tourbe est fibrique sous la surface, mais devient rapidement mésique. Deux mesures Von Post (photos *b* et *c*) indiquent une faible décomposition. Des morceaux de bois sont observés à quelques reprises (flèche de la photo *c*). Le gyttja débute à 165 cm (flèche sur la photo *d*). Le gyttja est brun grisâtre comparé à la tourbe d'une couleur brun chocolat. À la photo *g*, le gyttja s'arrête à 307 cm. Une mince couche de sable de 5 cm est montrée par la flèche suivie d'un horizon d'argile grise.

5.2.3 Sol

L'analyse physique de la tourbe montre des résultats similaires à l'analyse stratigraphique. Également, le niveau d'eau était pratiquement le même dans les parties ouverte et fermée le 14 août 2012, soient respectivement 17 cm et 16 cm sous la surface du sol.

Tableau 5.1 : Résultat de l'analyse physique de la tourbe de la tourbière minérotrophe du lac des Joncs. Échantillons prélevés en août 2012.

Site	Profondeur de tourbe (cm)	Masse volumique apparente du sol (g/cm ³)	% de matière organique
Joncs - ouvert	307	0,10	88
Joncs - fermée	152	0,09	90

5.3 Inventaires

5.3.1 Végétation

Un inventaire de végétation a été réalisé en juillet 2009 dans la partie ouverte et en septembre 2012 dans la partie fermée. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce présente dans dix quadrats circulaires de 70 cm de diamètre a été estimé dans chacune des parties (Tableau 5.2). Ces quadrats étaient répartis de façon équidistante le long d'un transect, parallèle au lac. L'emplacement final du relevé était cependant mis au hasard.

Dans la partie ouverte, la végétation est de type graminéoïde. Le *Trichophorum cespitosum* est la cypéracée dominante, tandis que le *Lonicera villosa* et le *Rhamnus alnifolius* dominent la strate arbustive. Les mousses brunes (*Campyllum stellatum*, *Limprichtia cossonii*, *Tomenthypnum nitens*) et le *Sphagnum warnstorffii* dominent la strate muscinale. L'abondance du *Thuja occidentalis* classe le site comme cédrière tourbeuse.

La partie fermée est aussi dominée par le *Thuja occidentalis*. Le couvert des arbres bloquant la lumière au sol, la strate muscinale et la diversité en espèces sont ainsi réduits. L'*Osmunda regalis* forme de grande colonie dans cette zone.

Ce site est caractérisé par une grande diversité végétale. Puisque l'abondance des espèces est souvent faible, plusieurs n'ont pas été trouvées dans les quadrats. On y trouve néanmoins le *Cypripedium reginae* dans la partie fermée, une espèce anciennement classée comme susceptible ou vulnérable, et le *Valeriana uliginosa*, une espèce sur la liste des espèces susceptibles (CDPNQ, 2008). La diversité en orchidées est aussi très grande.

La présence de *Sphagnum subsecundum*, une espèce de fen pauvre, a été notée dans la partie ouverte. Cette espèce est observée dans les fens intermédiaires, c'est-à-dire, la phase de transition d'un fen riche vers un fen pauvre. Dans le fen du lac des Joncs, le *S. subsecundum* semble confiné à un endroit précis, non loin du secteur ombrotrophe. Il ne serait pas un indicateur que le site au complet se transforme en tourbière ombrotrophe, mais il révèle qu'une partie de la tourbière est moins bien alimentée par les eaux souterraines.

Tableau 5.2 : Pourcentage de recouvrement moyen des espèces présentes lors de l'inventaire de la tourbière minérotrophe du lac des Joncs. La nomenclature suit l'*Integrated Taxonomic Information System* (ITIS; Government of Canada, 2009) pour les plantes vasculaires (= V) et Faubert (2012, 2013, 2014) pour les invasculaires (= I).

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		Joncs - ouvert (n = 10)	Joncs - fermé (n=10)
<i>Acer rubrum</i>	V	0,2	0
<i>Alnus rugosa</i>	V	0	5
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i>	V	0,8	0,3
<i>Calamagrostis canadensis</i>	V	0,1	1,5
<i>Carex aquatilis</i>	V	0,3	0,1
<i>Carex disperma</i>	V	0	0,9
<i>Carex echinata</i>	V	0	0,1
<i>Carex exilis</i>	V	0,7	0,3
<i>Carex leptalea</i>	V	0	3,4
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	V	0,3	0,9
<i>Coptis trifolia</i>	V	0	0,1
<i>Cornus canadensis</i>	V	0	0,4
<i>Cornus sericea</i>	V	0,5	2,5
<i>Drosera rotundifolia</i>	V	0,7	0,1
<i>Galium labradoricum</i>	V	0,3	0
<i>Iris versicolor</i>	V	0	0,2
<i>Kalmia angustifolia</i>	V	0,1	0,2
<i>Kalmia polifolia</i>	V	0,1	0
<i>Larix laricina</i>	V	0,9	0,1
<i>Lonicera villosa</i>	V	4	0
<i>Maianthemum trifolium</i>	V	0	0,1
<i>Menyanthes trifoliata</i>	V	0,1	0,5
<i>Mitella nuda</i>	V	0	0,1
<i>Mulhenbergia glomerata</i>	V	0,1	0
<i>Myrica gale</i>	V	2,1	2,5
Orchidacée sp.	V	0,5	0
<i>Osmunda regalis</i>	V	1	12,5
<i>Picea mariana</i>	V	0	0,5
<i>Platanthera dilatata</i>	V	0,3	0,2
<i>Pogonia ophioglossoides</i>	V	0,3	0
<i>Rhamnus alnifolia</i>	V	4,3	0
<i>Rhododendron groenlandicum</i>	V	0,2	1,4
<i>Rubus pubescens</i>	V	7,7	5,6
<i>Sarracenia purpurea</i>	V	3,3	1,2
<i>Solidago uliginosa</i>	V	0,5	0,6
<i>Symphyotrichum novi-belgii</i> var. <i>novi-belgii</i>	V	0,9	0

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		Joncs - ouvert (n = 10)	Joncs - fermé (n=10)
<i>Thuja occidentalis</i>	V	0,2	8,9
<i>Tofieldia glutinosa</i>	V	0,2	0
<i>Trichophorum alpinum</i>	V	0,5	0
<i>Trichophorum cespitosum</i>	V	8,6	0,8
<i>Triglochin maritima</i>	V	0,1	0
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	V	0,9	0,1
<i>Viola</i> sp.	V	0,2	0,1
<i>Calliergonella lindbergii</i>	I	0,2	0
<i>Campylium stellatum</i>	I	36,6	1,5
<i>Climacium dendroides</i>	I	0	1,6
<i>Dicranum polysetum</i>	I	0,1	0,3
<i>Drepanocladus s.l. sp.</i>	I	0	1,3
<i>Helodium blandowii</i>	I	0	0,1
Hépatiques spp.	I	0,2	0
<i>Hylocomnium splendens</i>	I	0	4,2
<i>Mnium</i> sp.	I	0	0,2
<i>Pleurozium schreberi</i>	I	0	2,6
<i>Rhytiadelphus triquetra</i>	I	0	17,1
<i>Scorpidium cossonii</i>	I	1,3	0
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	I	56,7	28
<i>Tomenthypnum nitens</i>	I	0,3	19,5

5.3.2 Biomasse végétale

La biomasse végétale des plantes vasculaires a été prélevée en août 2012. Pour la partie ouverte, elle a été récoltée dans des quadrats de 25 cm de côté à 12 endroits différents dans le cadre d'une autre étude sur la description des tourbières minérotrophes. La productivité du site y est très élevée (Tableau 5.3), si on la compare à la moyenne de la région du Bas-Saint-Laurent qui est de 247 (\pm 159) g/m² (V. Bérubé, données non publiées). Pour la partie fermée, les résultats de la biomasse récoltée dans deux quadrats de 50 cm de côté sont très bas comparés à ceux de la partie ouverte, en raison de l'absence de mesure de la strate arborescente. Ils concordent avec ceux d'autres études menées dans des milieux similaires (Szumigalski et Bayley 1996).

Une mesure de productivité souterraine est aussi disponible pour la partie ouverte. Elle est de 94,9 g/m²/an, toutes espèces vasculaires confondues.

Tableau 5.3 : Biomasse aérienne moyenne des plantes vasculaires selon les principaux groupes de végétation, récoltée le 14 août 2012 à la tourbière minérotrophe du lac des Joncs. La biomasse totale n'inclut pas les bryophytes ni les arbres.

Site	Biomasse moyenne selon la strate de végétation (g/m ²)				Biomasse moyenne totale (g/m ²)
	Cypéracées	Graminées	Autres herbacées	Arbustes	
Joncs - ouvert (n = 12)	262	0	95	75	432
Joncs - fermé (n = 2)	10	1	27	0	38

5.4 Données chimiques

Un échantillon d'eau a été prélevé sous la surface du sol et analysé l'automne suivant au laboratoire du Centre d'étude de la forêt à l'Université Laval (Tableau 5.4). L'eau, riche en minéraux, est d'origine minérogène. La haute teneur en sodium est due à la proximité du fleuve.

Tableau 5.4 : Résultats d'analyse des principaux éléments chimiques de l'eau de la tourbière minérotrophe du lac des Joncs. Échantillons récoltés le 6 août 2010 dans la partie ouverte et le 14 août 2012 dans la partie fermée.

Site	pH	Conductivité électrique corrigée (µS/cm)	Concentration en éléments chimiques (mg/L)								
			NH ₄	NO ₃	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Fe	Na
Joncs - ouvert (n = 1)	6,7	129	0,05	0,14	1,60	0,52	3,03	17,19	1,17	0,03	7,21
Joncs - fermée (n = 1).	6,1	122	0,21	0,03	0,51	1,24	7,32	14,98	1,50	0,04	5,37

5.5 Perturbations

Aucune perturbation n'a été observée dans la tourbière. Quelques cèdres ont été coupés dans la partie ouverte sans qu'il y ait eu d'impact sur le fonctionnement de la tourbière.

6. TOURBIÈRE FRALI

6.1 Localisation

W 69° 00' 03", N 48° 14' 14"

La tourbière Frali est située à Saint-Simon-de-Rimouski. Elle est accessible par un chemin agricole perpendiculaire à la route 132 et en face du 647, Rang 1 Est, GOL 4C0. Le terme Frali provient du nom de l'entreprise de Lise Théberge et Francis Beaulieu, les propriétaires de la tourbière jusqu'en 2012. Actuellement, la route d'accès traverse le terrain de M. Gaétan Rioux de Saint-Fabien, et la tourbière, à M. Jean-Pierre Théberge (résidant à Port-Cartier).

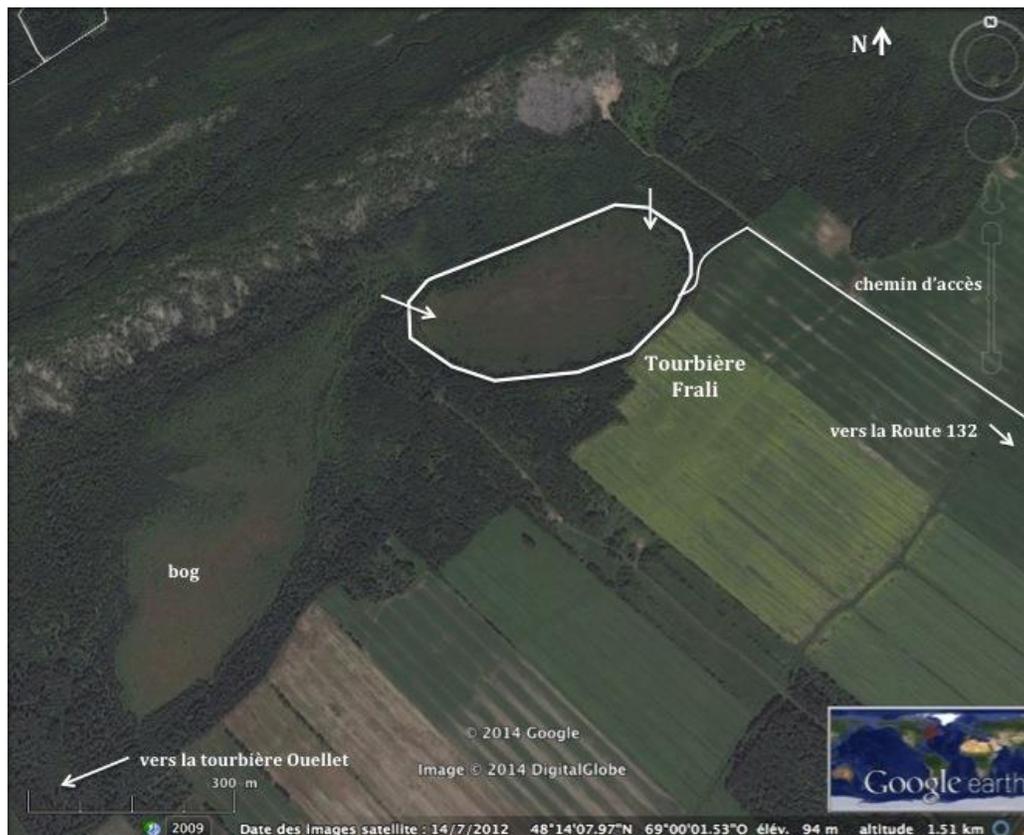


Figure 6.1 : Vue aérienne de la tourbière Frali entourée de blanc et qui couvre une superficie de près de 7 ha. Les deux flèches pointant vers la tourbière indiquent deux zones de tourbière minérotrophe riche, tandis que le centre est plutôt constitué d'un tapis flottant d'espèces végétales émergentes. La flèche de droite montre aussi la zone qui a servi de site d'emprunt pour la restauration de la tourbière de Bic – Saint-Fabien (voir chapitre 7). Une cédrière est présente à l'est et à l'ouest de la tourbière. Un peu plus à l'ouest se trouve une tourbière ombrotrophe (bog). La tourbière Ouellet (voir chapitre 8) se situe dans un

prolongement à l'ouest du bog et complète ce complexe tourbeux. Image satellitaire provenant de *Google Earth* prise en 2012

6.2 Description générale

6.2.1 Développement de la tourbière

La tourbière Frali, dans sa forme actuelle, est récente. Un lac s'y trouvait jusqu'au début des années 1960. Selon les résidents, on y pêchait. Les berges étaient considérées dangereuses puisque l'on pouvait passer au travers de la végétation et tomber dans l'eau. Des canaux de drainage ont été creusés au pourtour du lac pour assécher les terres agricoles situées au sud. Ces canaux ont eu pour effet d'abaisser considérablement le niveau d'eau. Une végétation émergente a rapidement colonisé l'ensemble du lac, maintenant peu profond. Il est actuellement possible de marcher sur toute la surface de ce nouveau tapis flottant malgré des endroits plus dangereux. Une tourbière minérotrophe riche ouverte s'est aussi développée sur les berges.

6.2.2 Classement

Dans l'ensemble, la tourbière Frali est un fen à régime riparien qui est maintenant de forme riveraine puisqu'un ruisseau est toujours présent et traverse le centre de l'ancien lac (GTNTH, 1997). Au nord, une rangée de crêtes à roches sédimentaires d'origine calcaire faisant partie des contreforts appalachiens alimente en eau de ruissellement la tourbière.

6.2.3 Sol

Le niveau d'eau dans le centre de la tourbière demeure constamment près de la surface puisque le tapis flottant suit les mouvements de l'eau. Les mesures présentées au Tableau 6.1 ont été prises dans la partie est où il n'y a pas de tapis flottant, mais un sol tourbeux plus ferme. À cet endroit, le niveau de l'eau en août 2012 était de 30 cm sous la surface.

Tableau 6.1 : Résultat de l'analyse physique de la tourbe de la tourbière Frali. Échantillons prélevés en août 2012.

Profondeur de tourbe (cm)	Masse volumique apparente du sol (g/cm ³)	% de matière organique
214	0,11	84

6.3 Inventaires

6.3.1 Végétation

Les résultats de deux inventaires réalisés en juillet et septembre 2009 sont présentés dans le Tableau 6.2. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce présente dans 24 quadrats circulaires de 70 cm de diamètre a été estimé. Ces quadrats étaient répartis de façon équidistante le long de deux transects, soit d'est en ouest en passant par le milieu du site et du nord au sud en demeurant dans la partie est. L'emplacement final du relevé était cependant mis au hasard.

La végétation est de type graminoïde. Elle est composée de *Schoenoplectus acutus*, *Rhynchospora alba* et *R. fusca* concentrés au centre de la tourbière, de *Carex lasiocarpa*, *Trichophorum alpinum*, *C. aquatilis* et *Sanguisorba canadensis* en pourtour (Figure 6.2). Le *Myrica gale* domine la strate arbustive. Le *Thuja occidentalis* est présent seulement en marge de la tourbière.

Peu de diversité est notée dans les communautés à dominances de *Schoenoplectus acutus*. Le *Warnstorfia exannulata* et les hépatiques sont présents à la base des *S. acutus* en couvert discontinu. La diversité augmente dans les communautés de *Carex* spp. et de *T. alpinum* situées surtout en pourtour, mais aussi à quelques endroits au centre de la tourbière. Elle est associée à un couvert continu de bryophytes, surtout composé de sphaignes et de *Campyllum stellatum*. La présence de *Tomenthypnum nitens* et de *Scorpidium cossonii* a aussi été notée à certains endroits à l'est et au nord-ouest. L'ensemble des espèces forme une communauté de tourbière minérotrophe riche.

Tableau 6.2 : Pourcentage de recouvrement moyen des espèces présentes dans les quadrats de la tourbière Frali. La nomenclature suit l'*Integrated Taxonomic Information System* (ITIS; Government of Canada, 2009) pour les plantes vasculaires (= V) et Faubert (2012, 2013, 2014) pour les invasculaires (= I).

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement
		Fraili (n = 24)
<i>Agrostis</i> sp.	V	0,1
<i>Alnus rugosa</i>	V	0,1
<i>Calamagrostis canadensis</i>	V	0,1
<i>Carex aquatilis</i>	V	0,6
<i>Carex flava</i>	V	3,1
<i>Carex lasiocarpa</i>	V	5,7
<i>Carex utriculata</i>	V	0,1
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	V	0,5
<i>Doellingeria umbellata</i>	V	1,1
<i>Drosera intermedia</i>	V	0,1
<i>Drosera rotundifolia</i>	V	0,5
<i>Epilobium palustris</i>	V	0,2

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement
		Frali (n = 24)
<i>Eriophorum angustifolium</i>	V	0,1
<i>Fragaria virginica</i>	V	0,1
<i>Gallium</i> sp.	V	0,1
<i>Lycopus unifolia</i>	V	0,3
<i>Malaxia unifolia</i>	V	0,2
<i>Myrica gale</i>	V	10,0
Orchidaceae sp.	V	0,1
<i>Rhynchospora alba</i>	V	0,5
<i>Rhynchospora fusca</i>	V	0,2
<i>Rubus pubescens</i>	V	0,5
<i>Sagittaria latifolia</i>	V	0,1
<i>Salix</i> sp.	V	0,1
<i>Sanguisorba canadensis</i>	V	4,7
<i>Sarracenia purpurea</i>	V	0,1
<i>Schoenoplectus acutus</i>	V	3,6
<i>Spirea latifolia</i>	V	0,3
<i>Symphytotrichum novi-belgii</i> var. <i>novi-belgii</i>	V	0,7
<i>Thalictrum pubescens</i>	V	0,1
<i>Thuja occidentalis</i>	V	0,7
<i>Triadenum virginicum</i>	V	0,3
<i>Trichophorum alpinum</i>	V	8,6
<i>Triglochin maritima</i>	V	0,1
<i>Utricularia intermedia</i>	V	0,3
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	V	0,1
<i>Viola</i> sp.	V	0,2
<i>Aulacomnium palustre</i>	I	1,0
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	I	0,1
<i>Calliergonella linbergii</i>	I	0,9
<i>Campylium stellatum</i>	I	23,5
<i>Climacium dendroides</i>	I	4,1
<i>Drepanocladus</i> s.l. sp.	I	9,3
Hépatiques spp.	I	1,2
<i>Polytricum strictum</i>	I	0,1
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	I	0,3
<i>Sphagnum palustre</i>	I	4,5
<i>Sphagnum russowii</i>	I	1,5
<i>Sphagnum squarrosa</i>	I	0,3
<i>Sphagnum subsecundum</i>	I	0,1
<i>Sphagnum teres</i>	I	6,0
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	I	4,9
<i>Warnstorffia exannulata</i>	I	9,9



Figure 6.2 : La tourbière Frali est un bon exemple de développement par comblement puisque trois grands types de communautés végétales sont observés. Au milieu de l'ancien lac se trouvent des plantes émergentes (*Schoenoplectus acutus*), puis des grandes et petites cypéracées (*Carex aquatilis*, *Trichophorum alpinum*; photo du haut) qui intègrent peu à peu un couvert plus dense de bryophytes (*Sphagnum* spp., *Campylium stellatum*, *Scorpidium cossonii*), puis une cédrière tourbeuse assez dense (photo du bas).

6.3.2 Biomasse végétale

La biomasse végétale des plantes vasculaires a été prélevée en août 2012 dans trois quadrats de 50 cm de côté. La biomasse moyenne du site (Tableau 6.3) est sous la moyenne régionale de 247 (± 159) g/m² (V. Bérubé, données non publiées). Les résultats concordent cependant avec d'autres études menées dans des milieux similaires (Szumigalski et Bayley, 1996).

Tableau 6.3 : Biomasse aérienne moyenne des plantes vasculaires selon les principaux groupes de végétation, récoltée le 14 août 2012 à la tourbière Frali (n = 3). La biomasse totale n'inclut pas les bryophytes ni les arbres.

Biomasse moyenne selon la strate de végétation (g/m ²)				Biomasse moyenne totale (g/m ²)
Cypéracées	Graminées	Autres herbacées	Arbustes	
91	0	41	65	197

6.3.3 Arthropodes

Dans le cadre d'un projet de maîtrise, un échantillonnage des araignées et dytiques (coléoptères aquatiques) a été fait par André-Philippe Drapeau Picard (Tableau 6.4). Des pièges fosses ont été installés à la surface du sol dans la zone ouverte entre juin et juillet 2013. Des nasses ont été plongées au fond des mares en juillet 2013 et août 2014. Parmi les espèces présentes, une espèce est associée aux tourbières, deux aux milieux humides et une autre est envahissante.

Tableau 6.4 : Espèces d'araignées et de dytiques identifiées à la tourbière Frali. Les arthropodes ont été récoltés dans des pièges fosses et des nasses et identifiés par André-Philippe Drapeau Picard. La nomenclature suit Dondale et Redner (1978, 1980), Platnick et Dondale (1992) et Larson et coll. (2009).

<p>Araignées</p> <p>Gnaphosidae <i>Gnaphosa parvula</i></p> <p>Hahniidae <i>Antistea brunnea</i> <i>Neoantiste magna</i></p> <p>Linyphiidae <i>Agyneta amersaxatilis</i> <i>Bathypantes pallidus</i> <i>Ceraticelus bulbosus</i> <i>Ceraticelus fissiceps</i> <i>Ceratinella brunnea</i> <i>Cheniseo sphagnicultor</i> <i>Grammonota gigas</i> <i>Kaestneriapullata</i> <i>Oedothorax trilobatus</i> <i>Walckenaeria arctica</i>, <i>Walckenaeria digitata</i>, <i>Walckenaeria fallax</i>, <i>Walckenaeria palustris</i></p>	<p>Lycosidae <i>Arctosa raptor</i> <i>Pardosa fuscula</i>¹ <i>Pardosa moesta</i> <i>Pirata insularis</i>² <i>Pirata piraticus</i>¹ <i>Trochosa ruricola</i>³</p> <p>Philodromidae <i>Thanatus striatus</i></p> <p>Tetragnathidae <i>Pachygnatha brevis</i></p> <p>Thomisidae <i>Ozyptila distans</i>, <i>Ozyptila gertschi</i></p> <p>Dytiques <i>Laccornis conoideus</i></p>
---	--

¹ Espèce associée aux milieux humides, ² espèces associées aux tourbières, ³ espèces envahissantes.

6.4 Données chimiques

Un échantillon d'eau a été prélevé sous la surface du sol et analysé l'automne suivant au laboratoire du Centre d'étude de la forêt à l'Université Laval (Tableau 6.5). La haute teneur en sodium est due à la proximité du fleuve. Le pH supérieur à 5,5 et la conductivité électrique au-dessus de 80 µS/cm confirment l'origine minérotrophe de l'eau (Vitt et coll., 1995). Par contre, les concentrations en calcium et en magnésium tendent plutôt vers un fen pauvre (Vitt et coll., 1995). Cela contredit le classement du site en fen riche émis selon les communautés végétales. Les concentrations en minéraux de l'eau sont soumises à une variation saisonnière et peuvent être différentes selon l'endroit du prélèvement. La tourbière Frali est donc toujours considérée comme un fen riche. Cependant, d'autres analyses chimiques sont requises afin de vérifier l'hypothèse du fen pauvre.

Tableau 6.5 : Résultats d'analyse des principaux éléments chimiques de l'eau de la tourbière Frali. Échantillon récolté le 14 août 2012 (n = 1).

pH	Conductivité électrique corrigée (µS/cm)	Concentration en éléments chimiques (mg/L)								
		NH ₄	NO ₃	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Fe	Na
7,1	115	0,06	0,14	0,14	0,55	5,18	7,20	1,18	0,17	4,43

6.5 Perturbations

La tourbière Frali est issue d'une perturbation, soit le drainage d'un lac. Cela a eu pour effet d'accélérer le développement de la tourbière par comblement puisque, d'après les résidents, il y avait déjà une tourbière avec un tapis flottant en pourtour du lac. La cédrière située à l'est de la tourbière est partiellement en exploitation. Jusqu'à présent, la coupe d'arbres ne semble pas avoir d'impact sur la tourbière.

En 2009, la tourbière Frali a été choisie comme site d'emprunt pour la restauration de la tourbière de Bic – Saint-Fabien. La restauration à grande échelle d'un fen selon la méthode de transfert de tapis muscinal qui est utilisée pour les tourbières ombrotrophes (bogs) était une première nord-américaine. Cette méthode exige le prélèvement de végétation sur une épaisseur de 10 cm dans un site naturel, appelé site d'emprunt, afin de l'épandre sur un site en restauration. Un ratio de 1 ha de végétation du site d'emprunt est nécessaire pour restaurer 15 ha. Le rétablissement des plantes du site d'emprunt se fait rapidement, soit entre un et trois ans.

Pour le prélèvement de la végétation, on priorise habituellement le rotoculteur. Par contre, dans le cas de la tourbière Frali, le sol était trop instable et une pince mécanisée a été utilisée (Figure 6.3). Aussi, comme dans la majorité des fens, l'acrotelme, ou l'horizon de sol oxygéné, mesure quelques centimètres d'épaisseur. En creusant, on atteint rapidement l'horizon très décomposé et anaérobique du sol, ce qui diminue la vitesse à laquelle la végétation se rétablit. Après quatre saisons de croissances, la végétation est en bonne voie de rétablissement (Figure 6.4). Les espèces retrouvées aux endroits où le matériel a été récolté sont différentes de celles qui s'y trouvaient initialement, mais demeurent des espèces de milieux humides. Le niveau d'eau près de la surface a permis une reprise des mousses. Les rhizomes, toujours enfouis dans le sol, ont aidé au rétablissement des plantes vasculaires. Par contre, les aller-retour de la machinerie ont laissé de profondes roulières dans le sol, surtout près du chemin d'accès (Figure 6.5).



Figure 6.3 : Pince mécanisée servant à prélever de la végétation en vue d'une restauration écologique.



Figure 6.4 : Rétablissement de la végétation l'été suivant le prélèvement de végétation (photo du haut) et deux ans après (photo du bas) à la tourbière Frali.



Figure 6.5 : Marques de roulières laissées par le passage répété de la machinerie à la tourbière Frali. Après quatre saisons de croissance, elles sont toujours visibles.

7. TOURBIÈRE DE BIC – SAINT-FABIEN

7.1 Localisation

W 68° 49' 52", N 48° 19' 22"

La tourbière de Bic – Saint-Fabien (BSF) est située au nord de la route 132 à une distance de 2,5 km à l'ouest du village de Saint-Fabien. On y accède par un chemin agricole face au 245 route 132 Est (Figure 7.1).



Figure 7.1 : Vue aérienne de la tourbière de Bic – Saint-Fabien. Les flèches indiquent les différentes zones de façon générale. Seul le fen de la partie est entouré de blanc est décrit dans cette section. Image satellitaire provenant de *Google Earth* prise en 2004.

Le site de Bic – Saint-Fabien est utilisé à des fins de recherche scientifique par le Groupe de recherche en écologie des tourbières. Il a été divisé en trois grands secteurs : 1) une partie restaurée, 2) un fen dans la partie nord, entre le secteur restauré et la montagne du Pic Champlain et 3) un fen dans la partie est (Figure 7.1). Les deux premières parties ont été achetées par le ministère

des Transports du Québec en 2009 (lot 4 145 971). Dans ce rapport, seul le fen de la partie est sera décrit. Ce terrain (lot 4 431 428, 4 146 062) appartient à M. Jean-Paul Gagnon (259 Rang 1 Est, Saint-Fabien).

7.2 Description générale

La tourbière de Bic – Saint-Fabien fait partie d'un large complexe tourbeux d'une longueur approximative de 7,25 km et d'une largeur moyenne de 500 m. Elle est située dans une vallée entre la montagne du Pic Champlain au nord et des terres agricoles au sud.

7.2.1 Développement de la tourbière

L'initiation de la tourbière s'est faite après le retrait des glaciers et des eaux de fonte il y a environ 8 000 ans. Une étendue d'eau a été peu à peu comblée par les débris organiques. Une grande partie du complexe tourbeux s'est développée en plusieurs tourbières ombrotrophes (bogs). Ces bogs ont presque tous été exploités par l'industrie de la tourbe horticole et sont à l'abandon aujourd'hui. Plusieurs ont été achetés par le MTQ en 2010. Un seul bog, situé à l'est de la Route de la Mer, a été restauré en 2011. Il appartenait à la compagnie Sun Gro Horticulture et est maintenant sous la gestion de l'Association des producteurs de tourbe horticole du Québec.

Un grand lac qui a été drainé dans les années 1950 pour l'exploitation de la tourbe était présent au milieu du complexe. Il est maintenant remplacé par une prairie humide et des arbustes (*Salix* spp., *Alnus incana*, *Cornus sericea*).

7.2.2 Classement

L'extrémité est du complexe est composée d'une tourbière minérotrophe riche très peu perturbée. La mauvaise qualité de la tourbe a fort probablement sauvé cette partie de perturbations majeures. La localisation de cette tourbière, en marge du complexe tourbeux ombrotrophe et le long de la falaise calcaire, est caractéristique d'un lagg. Le sous-système terrigène composé d'un régime de déversement en eau souterraine est renchéri par l'absence de plan d'eau et la remontée des eaux souterraines vers la surface. Plus exactement, on peut le classer en fen de bassin (GTNTH, 1997).

7.2.3 Analyse stratigraphique

La profondeur de tourbe est en moyenne de 4,2 m. Cette mesure inclut approximativement 1 m de gyttja, un sédiment lacustre indiquant l'initiation de la tourbière par comblement d'un plan d'eau. Le gyttja est présent lorsqu'il y a une étendue d'eau qui se remplit peu à peu de débris organiques très

décomposés provenant de microorganismes, de coquillages, de plantes et de minéraux. Lorsque la couleur est grise, il y a présence de calcium dans l'eau. C'est le cas dans cette tourbière. Ainsi, la présence de gyttja indique un développement par comblement. Une couche d'argile tapisse le fond de la tourbière.

L'analyse de carottes de tourbe (Figure 7.2) montre une tourbe très fibrique dans le premier mètre sous la surface. La tourbe située plus en profondeur est généralement très décomposée. Elle est constituée majoritairement de bryophytes et de morceaux de bois.

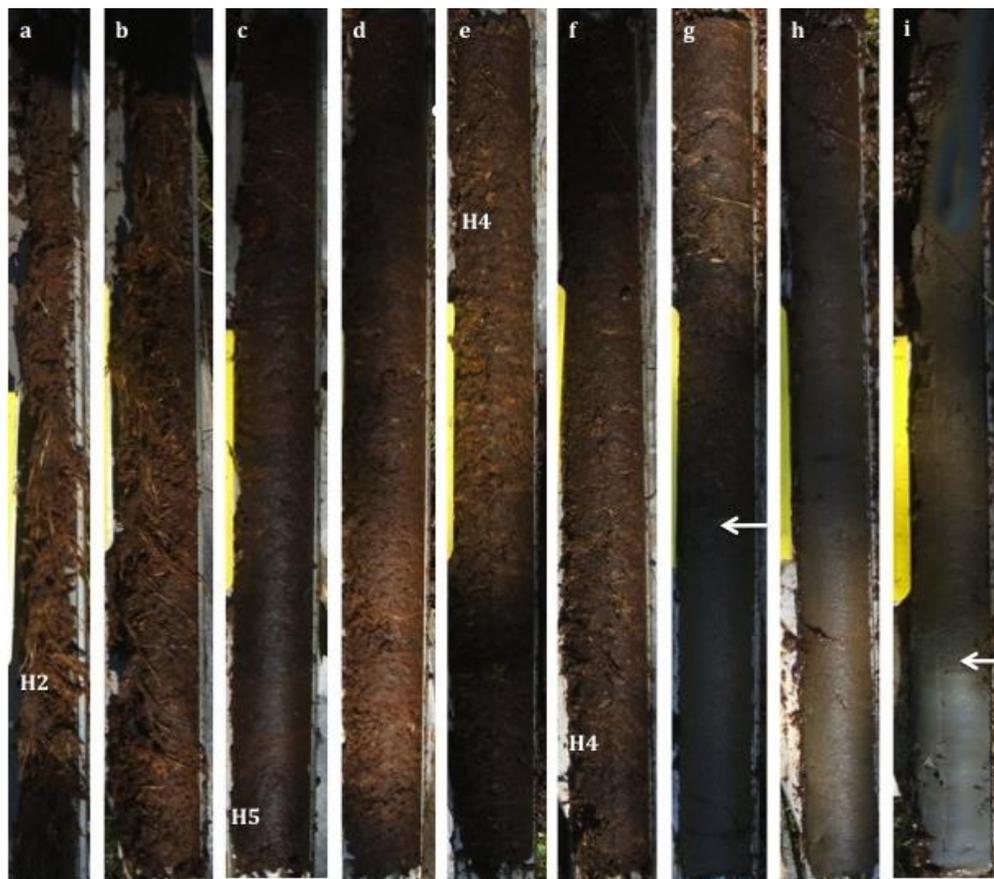


Figure 7.2 : Carottage de la partie ouverte de la tourbière de Bic – Saint-Fabien. Chaque photo représente une section de 50 cm de hauteur du profil de la tourbière, en commençant par la surface vers le fond. La tourbe est fibrique sous la surface. Elle devient rapidement mésique jusqu'à la base. Des mesures de décomposition Von Post sont indiquées sur les photos a, c, e et f). La transition vers le gyttja est indiquée par la flèche (photo g) à 3,30 m. Le gyttja est brun grisâtre comparé à la tourbe d'une couleur brun chocolat. L'interface d'argile est à 4,4 m (flèche de la photo i) et est précédée d'une couche de 2 cm de sable. Photos prises par Evie Sararas.

7.2.4 Sol

Le niveau d'eau varie selon les précipitations, la saison et la distance du canal de drainage. Depuis 2008, plusieurs mesures ont été prises dans des puits installés dans l'ensemble de la tourbière. En moyenne, en été, il est de 19 cm sous la surface du sol. Des mesures physiques de la tourbe sont présentées dans le tableau 7.1

Tableau 7.1 : Résultat de l'analyse physique de la tourbe de la tourbière de Bic – Saint-Fabien. Relevés de profondeur faits en juillet 2008 et échantillons prélevés en juillet 2012.

Profondeur de tourbe moyenne (cm)	Masse volumique apparente du sol (g/cm ³)	% de matière organique
419	0,10	86

7.3 Inventaires

7.3.1 Végétation

Un inventaire de végétation couvrant les parties est et nord de Bic – Saint-Fabien a été réalisé en 2007. Au total, 132 espèces vasculaires et 54 espèces invasculaires ont été recensées.

Le Tableau 7.2 expose les résultats d'une partie de cet inventaire. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce présente dans 20 quadrats circulaires de 70 cm de diamètre a été estimé. Ces quadrats étaient répartis de façon équidistante le long de deux transects, soit dix en zone ouverte et dix en zone fermée. L'emplacement final du relevé était cependant mis au hasard.

Tableau 7.2 : Pourcentage de recouvrement moyen des espèces présentes dans les quadrats de la partie est de la tourbière de Bic – Saint-Fabien. La nomenclature suit l'*Integrated Taxonomic Information System* (ITIS; Government of Canada, 2009) pour les plantes vasculaires (= V) et Faubert (2012, 2013, 2014) pour les invasculaires (= I).

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		BSF - ouvert (n = 10)	BSF - fermé (n=10)
<i>Abies balsamea</i>	V	0	2,5
<i>Acer spicatum</i>	V	0	2,5
<i>Alnus rugosa</i>	V	0	0,5
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i>	V	0,8	0,1
<i>Aralia nudicaulis</i>	V	0	0,9
<i>Arethusa bulbosa</i>	V	0,2	0
<i>Betula papyrifera</i>	V	0	0,1
<i>Carex aquatilis</i>	V	0,3	0
<i>Carex disperma</i>	V	0	0,1
<i>Carex exilis</i>	V	0,3	0
<i>Carex flava</i>	V	0,3	0
<i>Carex lasiocarpa</i>	V	0,1	0
<i>Carex leptalea</i>	V	0	0,3
<i>Carex pensylvanica</i>	V	0	0,2
<i>Conioselinum chinense</i>	V	0,2	0,1
<i>Coptis trifolia</i>	V	0	0,1
<i>Cornus canadensis</i>	V	0	0,2
<i>Drosera rotundifolia</i>	V	0,7	0
<i>Eriophorum viridi-carinatum</i>	V	0,1	0
<i>Gaultheria hispidula</i>	V	0	0,3
<i>Kalmia angustifolia</i>	V	0,2	0
<i>Larix laricina</i>	V	1,5	8,6
<i>Linnaea borealis</i>	V	1,6	0,6
<i>Listera convallarioides</i>	V	0	0,1
<i>Lycopodium lucidulum</i>	V	0	0,1
<i>Maianthemum stellatum</i>	V	0	0,1
<i>Maianthemum trifolium</i>	V	0,7	0,4
<i>Mitella nuda</i>	V	0	0,8
<i>Myrica gale</i>	V	3,5	0
<i>Parnassia glauca</i>	V	3,8	0
<i>Rhamnus alnifolia</i>	V	2,9	0,1
<i>Rhododendron groenlandicum</i>	V	2,2	0,1
<i>Rubus pubescens</i>	V	0,1	0,7
<i>Sanguisorba canadensis</i>	V	3,6	0,2
<i>Sarracenia purpurea</i>	V	0,4	0,2
<i>Solidago uliginosa</i>	V	0,2	0
<i>Symphyotrichum novi-belgii</i> var. <i>novi-belgii</i>	V	0,1	0
<i>Thalictrum pubescens</i>	V	0,9	0,1

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		BSF - ouvert (n = 10)	BSF - fermé (n=10)
<i>Thuja occidentalis</i>	V	5,6	46
<i>Tofieldia glutinosa</i>	V	0,6	0,1
<i>Triadenum virginicum</i>	V	0,2	0
<i>Trichophorum alpinum</i>	V	0,5	0,1
<i>Trichophorum cespitosum</i>	V	5,8	0,5
<i>Trientalis borealis</i>	V	0,2	0,1
<i>Triglochin maritima</i>	V	0,1	0
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	V	1	0,2
<i>Valeriana uliginosa</i>	V	1,2	1,2
<i>Aulacomnium palustre</i>	I	0,4	0
<i>Bryum s.l. pseudotriquetrum</i>	I	0,1	0
<i>Campylium stellatum</i>	I	27,7	5,3
<i>Dicranum montanum</i>	I	0	0,2
<i>Dicranum polysetum</i>	I	0,1	2,6
<i>Dicranum scoparium</i>	I	0	0,6
<i>Fissidens adantoides</i>	I	0	0,2
<i>Hylocomnium splendens</i>	I	0	7,1
<i>Mnium punctatum</i> var. <i>punctatum</i>	I	0	0,9
<i>Paludella squarrosa</i>	I	0,1	0
<i>Pleurozium schreberi</i>	I	0,1	4,1
<i>Polytricum strictum</i>	I	0,3	0
<i>Ptilium crista-critensis</i>	I	0	0,1
<i>Rhytiadelphus triquetrus</i>	I	0	7,2
<i>Scorpidium cossonii</i>	I	15,7	2,5
<i>Sphagnum fuscum</i>	I	10	0
<i>Sphagnum warnstorffii</i>	I	12,6	14,6
<i>Thuidium delicatulum</i>	I	1,8	3,2
<i>Tomenthypnum nitens</i>	I	19,7	0,1
<i>Trichocolea tomentella</i>	I	0	0,3

Deux grands types de communautés végétales sont observés, soit les communautés graminoides dans les zones ouvertes et les communautés forestières dans les zones fermées (Figure 7.3). Une diversité exceptionnelle est rencontrée en zone ouverte. On y trouve de grandes populations d'orchidées rares, comme le *Cypripedium reginae*, l'*Amerorchis rotundifolia* et l'*Arethusa bulbosa*. Le *Trichophorum cespitosum* est la cypéracée dominante en zone ouverte. La *Sanguisorba canadensis*, la *Parnassia glauca* et la *Valeriana uliginosa*, une espèce placée sur la liste des plantes vasculaires vulnérables du Québec (CDPNQ, 2008), sont les herbacées les plus abondantes. Ces deux dernières espèces sont des indicateurs de milieux riches en minéraux. La strate des bryophytes couvre une large proportion de la superficie, en moyenne 88 %. Elle est dominée par les mousses brunes (*Campylium stellatum*, *Scorpidium cossonii* et *Tomenthypnum nitens*) et le *Sphagnum warnstorffii*. Le *Thuja occidentalis* et le *Larix laricina* sont présents en moindre proportion qu'en zone fermée. Ces arbres poussent en groupe et

forment des bosquets denses. Le *Myrica gale*, le *Rhamnus alnifolia* et le *Rhododendron groenlandicum* se trouvent souvent autour de ces bosquets.



Figure 7.3 : Vues de la zone ouverte (photo du haut) et de la zone fermée (photo du bas) de la partie est de la tourbière de Bic – Saint-Fabien.

Dans la zone ouverte, il y a présence de buttes ombrotrophes, c'est-à-dire des monticules où poussent des espèces typiques de bog. Le *Sphagnum fuscum* colonise la partie supérieure et le *Sphagnum angustifolium*, la partie inférieure. Ces buttes sont des îlots isolés de la nappe phréatique et sont communes dans les fens riches. À Bic – Saint-Fabien, elles ne sont pas indicatrices d'un basculement vers un système ombrogène.

Dans la zone fermée, la diversité en espèces est moindre qu'en zone ouverte. Plusieurs espèces forestières sont présentes, comme le *Thuja occidentalis*, le *Larix laricina*, l'*Abies balsamea*, le *Coptis trifolia*, le *Carex disperma*, le *C. leptalea*, les *Dicranum* spp., le *Pleurozium schreberi* et le *Rhytiadelphus triquetrus*. Le *Sphagnum warnstorffii* est présent en tapis lâche. La litière abondante du *T. occidentalis* et la faible lumière au sol en sont la cause.

7.3.2 Biomasse végétale

La biomasse des plantes vasculaires a été prélevée en août 2012. Elle a été récoltée à l'intérieur de quadrats de 25 cm de côté à 12 endroits différents dans le cadre d'une autre étude sur la description des tourbières minérotophes. Dans la zone ouverte, la biomasse totale moyenne (Tableau 7.3) est au-dessus de la moyenne régionale de 247 (± 159) g/m² (V. Bérubé, données non publiées). La forte représentation des cypéracées en est responsable. Pour la partie fermée, le faible couvert de végétation engendre une biomasse totale bien en deçà de la moyenne régionale.

Une mesure de productivité souterraine est aussi disponible pour la partie sud de la tourbière de BSF. Un résultat moyen de 218,1 g/m²/an (n = 3) a été obtenu. Cela inclut les racines de toutes les espèces vasculaires.

Tableau 7.3 : Biomasse aérienne moyenne des plantes vasculaires selon les principaux groupes de végétation, récoltée le 14 août 2012 à la tourbière de Bic – Saint-Fabien. La biomasse totale n'inclut pas les bryophytes ni les arbres.

Site	Biomasse moyenne selon la strate de végétation (g/m ²)				Biomasse moyenne totale (g/m ²)
	Cypéracées	Graminées	Autres herbacées	Arbustes	
BSF – ouvert (n = 8)	215	0	46	91	352
BSF - fermé (n = 4)	10	1	93	6	111

7.3.3 Arthropodes

Dans le cadre d'un projet de maîtrise, un échantillonnage des araignées a été fait par André-Philippe Drapeau Picard (Tableau 7.4). Des pièges fosses ont été installés à la surface du sol dans la zone ouverte entre juin et juillet 2013. Parmi les espèces présentes, deux sont associées aux tourbières, une aux milieux humides et une autre est envahissante.

Tableau 7.4 : Espèces d'araignées identifiées à la tourbière de Bic – Saint-Fabien dans des pièges-fosses. Les arthropodes ont été récoltés et identifiés par André-Philippe Drapeau Picard. La nomenclature suit Dondale et Redner (1978, 1980) et Platnick et Dondale (1992).

<p>Amaurobiidae <i>Cybaeopsis euopla</i></p> <p>Gnaphosidae <i>Gnaphosa parvula</i> <i>Zelotes fratris</i></p> <p>Hahniidae <i>Antistea brunnea</i> <i>Hahnia cinerea</i> <i>Neoantistea agilis</i> <i>Neoantistea magna</i></p> <p>Linyphiidae <i>Agyneta amersaxatilis</i> <i>Agyneta fabra</i> <i>Allomengea dentisetis</i> <i>Bathyphantes canadensis</i>, <i>Bathyphantes pallidus</i> <i>Grammonota gigas</i> <i>Lepthyphantes alpinus</i> <i>Scironis tarsalis</i> <i>Walckenaeria atrotibialis</i> <i>Walckenaeria exigua</i> <i>Walckenaeria minuta</i></p>	<p>Lycosidae <i>Alopecosa aculeata</i> <i>Arctosa emertoni</i> <i>Hogna frondicola</i> <i>Pardosa hyperborea</i> <i>Pardosa moesta</i> <i>Pirata canadensis</i>² <i>Pirata cantralli</i>, <i>Pirata insularis</i>² <i>Pirata minutus</i>¹ <i>Trochosa ruricola</i>³ <i>Trochosa terricola</i></p> <p>Philodromidae <i>Tibellus oblongus</i></p> <p>Salticidae <i>Neon nellii</i></p> <p>Thomisidae <i>Xysticus emertoni</i></p>
--	---

¹ Espèce associée aux milieux humides, ² espèces associées aux tourbières, ³ espèce envahissantes.

7.4 Données chimiques

Un échantillon d'eau a été prélevé sous la surface du sol en juillet 2012 et analysé l'automne suivant au laboratoire du Centre d'étude de la forêt à l'Université Laval (Tableau 7.5). La haute teneur en sodium est due à la proximité du fleuve. Le pH supérieur à 5,5, la conductivité électrique au-dessus de 80 µS/cm et la concentration élevée en calcium (supérieure à 12 mg/L) sont parmi les facteurs principaux permettant de confirmer l'origine minérotrophe de

l'eau (Vitt et coll., 1995). Cependant, le magnésium est trouvé en faible concentration. Ce phénomène peut être lié à nature du substrat rocheux d'où provient l'eau. Dans le cas de BSF, les hypothèses de variations saisonnières ne sont pas en cause puisque plusieurs échantillons ont été récoltés au cours d'une même saison de croissance avec des résultats similaires (données non présentées). Quoi qu'il en soit, l'ensemble des facteurs chimiques, combinés aux relevés de végétation, permettent d'affirmer que Bic – Saint-Fabien est une tourbière minérotrophe riche.

Tableau 7.5 : Résultats d'analyse des principaux éléments chimiques de l'eau de la tourbière de Bic – Saint-Fabien. Échantillon récolté le 26 juillet 2012 (n = 1).

pH	Conductivité électrique corrigée (µS/cm)	Concentration en éléments chimiques (mg/L)								
		NH ₄	NO ₃	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Fe	Na
6,6	191	0,23	0,02	0,03	0,31	2,03	12,2 1	0,79	0,00	2,38

7.5 Perturbations

La tourbière de Bic – Saint-Fabien est adjacente à un secteur anciennement drainé pour la récolte de la tourbe. Le canal de drainage jouxtant la partie est a été creusé à la fin des années 1980. Une bande de *Thuja occidentalis*, plus hauts et denses que ceux trouvés plus loin du canal de drainage, colonise la marge de ce canal. C'est une conséquence directe du drainage. Cependant, le canal a été bloqué à l'été 2010 par une série de barrages en contreplaqué, et ce, à différents niveaux (Figure 7.4).

Une partie de la cédrière en bordure des champs agricoles a été perturbée par des activités de coupes d'arbres. C'est une pratique limitée à ce secteur.

Par ailleurs, des chasseurs de petit gibier utilisent le terrain à des fins récréatives. Cette activité se fait sans conséquence sur la végétation.

Le broutement des chevreuils pourrait faire du tort à la population de *Cyripedium reginae*. Cependant, aucune trace n'a été observée jusqu'à maintenant.



Figure 7.4 : Blocage du canal de drainage principal adjacent à la partie est de la tourbière de Bic – Saint-Fabien à l'aide de contreplaqué et d'une membrane géotextile (photo du haut), ainsi que le résultat de ces travaux, soit une remontée du niveau de l'eau (photo du bas).

8. TOURBIÈRE OUELLET

8.1 Localisation

W 69° 02' 05", N 48° 13' 17"

La tourbière Ouellet est située à Saint-Simon-de-Rimouski. On s'y rend en empruntant le chemin Côté, vers l'est, à partir de la route de la Grève. Après 1,3 km, il faut tourner vers le sud sur un chemin d'accès laissé à l'abandon. Trois propriétaires se partagent le terrain (Figure 8.1). La partie située à l'extrême ouest (matricule 1343309070) appartient à Mme Monique Gagnon Thibeault (402, rue Vanier, Rimouski). La partie où il y a eu une coupe par blocs dans les années 1960-1970 et la partie à l'extrême est (matricules 1243651010 et 1444201510) appartiennent à Tourbière Ouellet et Fils inc. (187, chemin des Plaines, RR 1, L'Îsle-Verte, QC, G0L 1L0). Finalement, le bog naturel situé au nord-est (matricule 1343979080) appartient à M. Grégoire Théberge (5, rue Blondeau, Rivière-du-Loup).

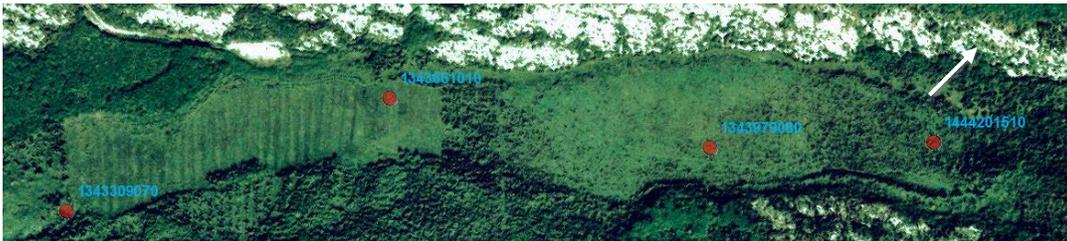


Figure 8.1 : Vue aérienne de la tourbière Ouellet incluant les matricules des différents propriétaires. La partie à gauche correspond à une ancienne tourbière exploitée par coupe par blocs. La partie droite est un bog naturel. La flèche indique le nord.

8.2 Description générale

8.2.1 Classification

La tourbière Ouellet contient deux types de tourbières : le centre est une tourbière ombrotrophe bombée alors que les parties en marge de la tourbière sont minérotrophes (Ouellet – nord, Ouellet – sud; Figures 8.2 et 8.4). Ces parties minérotrophes sont toujours alimentées en eau par des sources souterraines et par l'eau de ruissellement provenant des crêtes appalachiennes calcaires d'origine sédimentaire situées de chaque côté. Ces reliques de fen de bassin à régime terrigène constituent aussi le lagg (marge) du bog. La transition entre les parties minérotrophe et ombrotrophe est rapide : elle se fait en moins de deux mètres.

À noter que la tourbière Frali (voir chapitre 6) se situe dans le prolongement de ce complexe tourbeux, vers l'est. Le développement de ce complexe est très similaire à celui de Bic – Saint-Fabien (voir chapitre 7) et du Porc-Pic, à l'exception qu'il a été épargné en grande partie d'une exploitation intensive de la tourbe.



Figure 8.2 : Vue aérienne de la tourbière Ouellet. Elle s'étend sur 2 km avec une largeur moyenne de 150 m. Les deux secteurs encadrés de blanc sont les fens présentés dans ce chapitre. D'autres secteurs en marge de la tourbière sont aussi minérotrophes, mais le couvert forestier est plus important et n'a pas été échantillonné. Image satellitaire provenant de *Google Earth* prise en 2012.

8.2.1 Développement de la tourbière

Une carotte de tourbe a été prélevée dans la partie sud en 2013 (Figure 8.3). La tourbe est très décomposée sur presque toute la longueur. Cependant, entre le 20^e et le 40^e cm sous la surface, la tourbe est fibrique et peu décomposée. Une végétation arbustive et arboricole a déjà été présente, puisqu'il y a plusieurs morceaux de bois dans la tourbe. En effet, le sol a dû être sondé à plusieurs reprises puisque le carottier frappait de gros morceaux de bois.

Cette partie de tourbière est sise sur un fond rocheux. Très peu de sédiments lacustres et de gyttja sont notés. Il y a des couches successives de sédiments lacustres, de sédiments minéraux et de tourbe (Figure 8.3, photo d). Ces couches sont en pente et indiquent l'écoulement de l'eau. En somme, le développement de ce secteur s'est fait par paludification. Il est possible que le centre de la tourbière ait été initié par le comblement d'un cours d'eau et qu'une paludification des marges soit en cours.



Figure 8.3 : Carottage de la tourbière Ouellet-sud. Chaque section représente un profil de 50 cm de tourbe. Des mesures de décomposition Von Post sont indiquées sur les photos **a**, **b** et **c**. Les lignes orangées sont des morceaux de bois. La photo **d** est un agrandissement du bas de la dernière section de la carotte. On y voit des couches successives de différents sédiments en oblique indiquant la pente d'écoulement des eaux. Les flèches montrent le gyttja lié à des inondations périodiques.

8.2.2 Sol

Le niveau d'eau, en août 2012, était de 8 cm sous la surface pour les deux secteurs. D'autres mesures de la tourbe sont présentées au Tableau 8.1.

Tableau 8.1 : Résultat de l'analyse physique de la tourbe de la tourbière Ouellet.
Échantillons prélevés en août 2012.

Site	Profondeur de tourbe (cm)	Masse volumique apparente du sol (g/cm ³)	% de matière organique
Ouellet - nord (n = 1)	154	0,08	89
Ouellet - sud (n = 1)	156	0,09	88

8.3 Inventaires

8.3.1 Végétation

Les résultats de deux inventaires menés en juillet 2009 et août 2010 sont présentés dans le Tableau 8.2. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce présente dans dix quadrats circulaires de 70 cm de diamètre a été estimé dans chacune des parties. Ces quadrats étaient répartis de façon équidistante le long d'un transect dans le sens de la longueur de la tourbière. L'emplacement final du relevé était cependant mis au hasard.

Une cédrière tourbeuse colonise la partie sud. Plusieurs éclaircies parsèment cette partie et les communautés végétales qui s'y trouvent sont de type graminéoïde. Un couvert de bryophytes (*Tomenthypnum nitens*, *Sphagnum warnstorffii*) domine. Il y a peu de cypéracées (*Trichophorum alpinum*) et celles qui s'y trouvent sont caractéristiques des milieux couverts (*Carex magellanica*, *C. leptalea*, *C. disperma*). La strate herbacée est plus diversifiée. Une population imposante de *Cyripedium reginae* et la présence d'*Amerorchis rotundifolia* et d'*Arethusa bulbosa* sont observées. La *Valeriana uliginosa*, une espèce placée sur la liste des plantes vasculaires vulnérables du Québec (CDPNQ, 2008), est également présente. Les éricacées dominent chez les arbustes.

La partie nord est différente de la partie sud. Une zone de végétation de type arbustive (*Myrica gale*, *Cornus sericea*, *Rhododendron groenlandicum*) est observée. Une communauté de type graminéoïde est présente vers l'extrémité nord-est. Le *Menyanthes trifoliata*, le *Maianthemum trifolium*, le *Calamagrostis canadensis* et différentes espèces de *Carex* s'y trouvent. Les bryophytes typiques des fens (*Sphagnum warnstorffii*, *S. teres*, *Campylium stellatum*) sont présentes sur toute la superficie.

Tableau 8.2 : Pourcentage de recouvrement moyen des espèces présentes lors de l'inventaire de la tourbière Ouellet. La nomenclature suit l'*Integrated Taxonomic Information System* (ITIS; Government of Canada, 2009) pour les plantes vasculaires (= V) et Faubert (2012, 2013, 2014) pour les invasculaires (= I).

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		Ouellet - nord (n = 10)	Ouellet - sud (n=10)
<i>Alnus rugosa</i>	V	6,8	7,3
<i>Amerorchis rotundifolia</i>	V	0	0,5
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i>	V	0,8	0
<i>Arethusa bulbosa</i>	V	0	0,1
<i>Betula papyrifera</i>	V	0,1	0
<i>Calamagrostis canadensis</i>	V	2,7	0,2
<i>Carex aurea</i>	V	0	0,1
<i>Carex</i> c.f. <i>diandra</i>	V	0,5	0,1
<i>Carex disperma</i>	V	0,8	0,3
<i>Carex echinata</i>	V	10,7	0
<i>Carex exilis</i>	V	0	0,1
<i>Carex flava</i>	V	0,2	0
<i>Carex gynocrates</i>	V	0	0,5
<i>Carex interior</i>	V	0	0,7
<i>Carex lasiocarpa</i>	V	1	0
<i>Carex leptalea</i>	V	2,6	1,8
<i>Carex magellanica</i>	V	0,4	0,4
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	V	0,5	0,1
<i>Comarum palustre</i>	V	0,8	0
<i>Conioselinum chinense</i>	V	0	0,2
<i>Cornus canadensis</i>	V	0,6	0,1
<i>Cornus sericea</i>	V	4,7	3,7
<i>Cypripedium reginae</i>	V	0	0,8
<i>Doellingeria umbellata</i>	V	0	0,1
<i>Drosera rotundifolia</i>	V	0,1	0,5
<i>Eriophorum viridi-carinatum</i>	V	0	0,4
<i>Eupatorium maculatum</i>	V	1,2	0
<i>Fragaria virginica</i>	V	0	0,2
<i>Gallium</i> sp.	V	0,1	0,1
<i>Gaultheria hispidula</i>	V	0	0,1
<i>Glyceria canadensis</i>	V	0	0,3
<i>Iris versicolor</i>	V	0	0,1
<i>Kalmia angustifolia</i>	V	1,2	0
<i>Larix laricina</i>	V	1,2	0,5
<i>Linnaea borealis</i>	V	0,4	1,4
<i>Listera convallarioides</i>	V	0	0,2
<i>Lonicera villosa</i>	V	0	0,5
<i>Maianthemum trifolium</i>	V	11,9	6

Espèces inventoriées	Type	% moyen de recouvrement	
		Ouellet - nord (n = 10)	Ouellet - sud (n=10)
<i>Menyanthes trifoliata</i>	V	5,3	0
<i>Mitella nuda</i>	V	0	0,3
<i>Mulhenbergia glomerata</i>	V	0,1	0
<i>Myrica gale</i>	V	12,5	0
<i>Osmunda cinnamomea</i>	V	0,2	0,2
<i>Picea mariana</i>	V	0	0,3
<i>Platanthera dilatata</i>	V	0,3	0,3
<i>Pyrola asarifolia</i>	V	0	0,2
<i>Pyrola elliptica</i>	V	0	0,1
<i>Rhamnus alnifolia</i>	V	0	1,8
<i>Rhododendron groenlandicum</i>	V	2,1	3,9
<i>Rubus pubescens</i>	V	3,8	0,6
<i>Salix</i> sp.	V	0,1	0
<i>Sarracenia purpurea</i>	V	0	0,7
<i>Selaginella selaginoides</i>	V	0	0,1
<i>Solidago uliginosa</i>	V	1,1	0
<i>Symphyotrichum novi-belgii</i> var. <i>novi-belgii</i>	V	0	1,2
<i>Thelypteris palustris</i>	V	0,2	0,5
<i>Thuja occidentalis</i>	V	0	3,1
<i>Trichophorum alpinum</i>	V	0,4	0,7
<i>Trientalis borealis</i>	V	0	0,4
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	V	0,3	1
<i>Valeriana uliginosa</i>	V	0	0,2
<i>Aulacomnium palustre</i>	I	0,2	1,2
<i>Bryum</i> s.l. <i>pseudotriquetrum</i>	I	0	0,3
<i>Campylium stellatum</i>	I	4,3	4,7
<i>Depanocladus</i> s.l. spp.	I	0,2	0
<i>Helodium blandowii</i>	I	0	0,2
<i>Hylocomnium splendens</i>	I	0	0,6
<i>Polytricum strictum</i>	I	0	0,3
<i>Rhytiadelphus triquetra</i>	I	0	0,1
<i>Sphagnum angustifolium</i>	I	0,5	0
<i>Sphagnum centrale</i>	I	13	0
<i>Sphagnum teres</i>	I	0,6	0
<i>Sphagnum warnstorfii</i>	I	65,7	52,5
<i>Tomenthypnum nitens</i>	I	0	29,1

8.3.1 Biomasse végétale

La biomasse des plantes vasculaires a été prélevée en août 2012. Pour la partie sud, elle a été récoltée dans des quadrats de 25 cm de côté à 12 endroits différents dans le cadre d'une autre étude sur la description des tourbières minérotrophes. Pour la partie nord, la biomasse a été récoltée dans deux quadrats de 50 cm de côté. Les résultats (Tableau 8.3) sont sous la moyenne régionale de 247 (± 159) g/m² (V. Bérubé, données non publiées). La faible représentation des cypéracées en est la cause.

Une mesure de productivité souterraine est aussi disponible pour la partie sud. Un résultat moyen de 95,7 g/m²/an (n = 3) a été obtenu. Il inclut toutes les espèces vasculaires présentes dans la zone d'échantillonnage.

Tableau 8.3 : Biomasse aérienne moyenne des plantes vasculaires selon les principaux groupes de végétation, récoltée le 14 août 2012 à la tourbière Ouellet. La biomasse totale n'inclut pas les bryophytes ni les arbres.

Site	Biomasse moyenne selon la strate de végétation (g/m ²)				Biomasse moyenne totale (g/m ²)
	Cypéracées	Graminées	Autres herbacées	Arbustes	
Ouellet - nord (n = 2)	31	2	41	74	148
Ouellet - sud (n = 12)	17	65	14	47	143

8.4 Données chimiques

Un échantillon d'eau a été prélevé sous la surface du sol et analysé l'automne suivant au laboratoire du Centre d'étude de la forêt à l'Université Laval (Tableau 8.4). La haute teneur en sodium est due à la proximité du fleuve. Le pH supérieur à 5,5 et la conductivité électrique au-dessus de 80 μ S/cm confirment l'origine minérotrophe de l'eau (Vitt et coll., 1995). En raison de la concentration élevée en calcium et des relevés de végétation, on classe ces parties du complexe tourbeux comme des fens riches. Un bémol est émis par rapport au magnésium qui est peu élevé pour un fen riche (Vitt et coll., 1995). Cela peut être causé par la variation saisonnière des concentrations en minéraux, l'endroit du prélèvement ou l'origine du substrat minéral. Des mesures supplémentaires pourraient être prises à différents moments pour avoir un portrait plus juste de la chimie de la tourbière.

Tableau 8.4 : Résultats d'analyse des principaux éléments chimiques de l'eau de la tourbière Ouellet. Échantillons récoltés le 14 août 2012 dans la partie nord et le 24 juillet 2010 dans la partie sud.

Site	pH	Conductivité électrique corrigée (µS/cm)	Concentration en éléments chimiques (mg/L)								
			NH ₄	NO ₃	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Fe	Na
Ouellet - nord (n = 1)	6,0	124	1,69	0,02	0,09	2,87	2,45	7,40	3,08	0,05	3,53
Ouellet - sud (n = 1)	6,8	173	0,11	0,11	0,11	0,84	1,78	20,5	3,37	0,00	5,02

8.5 Perturbations

Une partie de la tourbière Ouellet a été perturbée au cours des années 1960 et 1970 par des activités de récoltes de tourbe. La méthode de récolte de coupe par blocs a été utilisée. Un relief successif de terre-pleins et de tranchées est visible (Figure 8.4). La végétation typique de bog a colonisé le site après l'abandon des activités. Les canaux de drainage semblent inactifs. Les parties Ouellet-nord et Ouellet-sud ne semblent pas perturbées par ce drainage. D'après les résultats de l'analyse stratigraphique, les arbres ont fort probablement toujours colonisé le site.

Le site est utilisé par les trappeurs et chasseurs. Un sentier de VTT passe tout près du secteur Ouellet-nord, mais sans conséquences majeures.



Figure 8.4 : Différents secteurs de la tourbière Ouellet. La photo du **haut** représente une vue d'ensemble de la partie ombrotrophe. La végétation s'est bien rétablie à la suite d'activités de récolte de tourbe selon la méthode de coupe par blocs. Le secteur Ouellet-nord comprend une partie arbustive ouverte longeant la falaise rocheuse au nord (photo du **centre**). Le secteur Ouellet-sud est plus densément peuplé de *Thuja occidentalis* malgré des zones ouvertes riches en espèces (photo du **bas**). Elle longe la falaise au sud de la tourbière.

9. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Voici quelques aspects permettant de comprendre l'importance de protéger les tourbières minérotophes riches dans la région de Rimouski :

- ce sont des écosystèmes rares et exceptionnels;
- elles présentent une grande diversité végétale (plantes vasculaires et invasculaires);
- on y trouve plusieurs espèces rares, dont la *Valeriana uliginosa*, une espèce placée sur la liste des plantes vasculaires vulnérables du Québec, le *Cypripedium reginae*, le *Carex prairea*, l'*Amerorchis rotundifolia*, l'*Arethusa bulbosa* et le *Nymphaea lindbergii*, des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables (CDPNQ, 2008);
- ces tourbières sont à risque d'être dégradées par du drainage, par des perturbations hydrologiques comme la construction de routes et de chemins et par de la coupe forestière (associée à la cédrière tourbeuse). Ces perturbations peuvent compromettre l'intégrité écologique du milieu.

Ainsi, en ce qui concerne les perturbations :

- La plupart des tourbières présentées dans ce document sont situées sur des propriétés privées. Leur utilisation est surtout liée à la chasse. Les perturbations se limitent, pour la plupart, à des sentiers de VTT. Par contre, ces sentiers ont souvent un rôle bénéfique dans les secteurs fermés, car ils ouvrent le couvert forestier et diversifient les cédrières. De la coupe sélective est observée à quelques endroits (Bic-Saint-Fabien, Frali). À défaut d'acquérir les terrains pour leur protection, de la sensibilisation peut être envisagée.
- La coupe forestière autour des tourbières ou dans les parties fermées (souvent des cédrières tourbeuses) semble être la plus grande menace pour la plupart des tourbières, car cela pourrait avoir une influence sur leur apport en eau. Une perturbation dans la partie ombrotrophe de certaines d'entre elles, comme du drainage, pourrait aussi avoir des conséquences négatives.
- Des visiteurs pourraient être tentés par la récolte d'orchidées indigènes rares. Il y a en effet plusieurs populations d'orchidées. Au lac des Joncs, le *Calypso bulbosa*, a été observé.

Voici quelques considérations à prendre en ligne de compte concernant les priorités de conservation pour ces tourbières minérotrophes de la région de Rimouski :

- La tourbière minérotrophe du lac des Joncs est un complexe tourbeux où on trouve des espèces rares et susceptibles d'être menacées, comme le *Calypso bulbosa* (dans les bogs adjacents), du *Nymphaea lindbergii* (dans le lac) de la *Valeriana uliginosa* et d'autres populations d'orchidées.
- La tourbière des Iris contient également plusieurs populations de plantes rares.
- Le complexe tourbeux de la tourbière Ouellet a été conservé à l'état naturel presque intégralement. Il a été peu affecté par les perturbations, à l'exception du secteur de l'ancienne coupe par blocs, bien revégétalisée. Il inclut la tourbière Frali. Il est un bon exemple des complexes tourbeux régionaux (comme celui de la tourbière Porc-Pic, qui est perturbée par le drainage et les activités de récoltes de la tourbe, de même que celui de Bic-Saint-Fabien).
- Il est possible que la tourbière de l'Aqueduc Saint-Narcisse soit partiellement déjà protégée, car elle est située dans la zone de prise d'eau potable de la municipalité du même nom.
- La tourbière du lac Plourde est celle qui est le plus à risque d'être perturbée, car il y a plusieurs nouvelles constructions aux alentours.

10. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMON, J. P., C. A. THOMPSON, Q. J. CARPENTER et J. MINER. 2002. Temperate zone fens of the glaciated Midwestern USA. *Wetlands* 22(2): 301-317.

BEDFORD, B. L. et K. S. GODWIN. 2003. Fens of the United States: Distribution, characteristics, and scientific connection versus legal isolation. *Wetlands* 23(3): 08-629.

BUTEAU, P. 1989. Atlas des tourbières du Québec méridional. Service géologique de Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec. Document DV 89-02.

CAMPBELL C., D. H. VITT, L. A. HALSEY, I. D. CAMPBELL, M. N. THORNMAN et S. E. BAYLEY. *Net primary production and standing biomass in northern continental wetlands*, Edmonton, Alberta Natural Resources Canada, Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre, 2000, 369 p.

CENTRE DE DONNÉES SUR LE PATRIMOINE NATUREL DU QUÉBEC (CDPNQ). *Les plantes vasculaires menacées ou vulnérables du Québec. 3e éd.*, Québec, Gouvernement du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, 2008. 180 p.

DONDALE, C. D. et J. H. REDNER. *The Insects and Arachnids of Canada, part 5: The Crab Spiders of Canada and Alaska*, Ottawa, Biosystematic Research Center, 1978. 255 p.

DONDALE, C. D. et J. H. REDNER. *The Insects and Arachnids of Canada, part 17: The Wolf Spiders, Nurseryweb Spiders, and Lynx Spiders of Canada and Alaska*, Ottawa. Biosystematic Research Center, 1990. 382 p.

FAUBERT, J. *Flore des bryophytes du Québec- Labrador. Volume 1 : Anthocérotes et hépatiques*, Saint-Valérien, Société québécoise de bryologie, 2012. 356 p

FAUBERT, J. *Flore des bryophytes du Québec- Labrador. Volume 2 : Mousses, première partie*, Saint-Valérien, Société québécoise de bryologie, 2013. 402 p.

FAUBERT, J. *Flore des bryophytes du Québec- Labrador. Volume 3 : Mousses, seconde partie*, Saint-Valérien, Société québécoise de bryologie, 2014. 456 p.

- GOVERNMENT OF CANADA. *Integrated Taxonomic Information System (ITIS)*, [En ligne]. [<http://www.cbif.gc.ca/eng/integrated-taxonomic-information-system-itis/?id=1381347793621>] (2 juillet 2014).
- GRUPE DE TRAVAIL NATIONAL SUR LES TERRES HUMIDES (GTNTH). *Système de classification des terres humides du Canada*. 2^e éd., édité par B. G. Warner et C. D. A. Rubec, Waterloo, Ontario, University of Waterloo, 1997. 76 p.
- LARSON, D. J., Y. ALARIE et R. E. ROUGHLEY. *Predacious diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae) of the Nearctic region, with emphasis on the fauna of Canada and Alaska*. NRC Research Press, Ottawa, 2009. 982 p.
- MONTAGUE, T. G. et T. J. GIVNISH. 1996. Distribution of black spruce versus eastern larch along peatland gradients : relationships to relative stature, growth rate, and shade tolerance. *Canadian Journal of Botany* 67: 1203-1207.
- PLATNICK, N. I. et C. D. DONDALE. 1992. *The Insects and Arachnids of Canada, part 19: The Ground of Canada and Alaska*, Ottawa, Biosystematic Research Center. 297 p.
- SZUMIGALSKI, A. R. et S. E. BAYLEY. 1996. Net aboveground primary production along a bog-rich fen gradient in central Alberta, Canada. *Wetlands* 16: 467-476.
- VITT, D. H., S.E. BAYLEY et T.-L. JIN. 1995. Seasonal variation in water chemistry over a bog-rich fen gradient in continental western, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 52: 587-606.

Annexe 3
Restauration des tourbières minérotrophes –
État des connaissances

RESTAURATION DES TOURBIÈRES MINÉROTROPES (FENS) : État des connaissances

(Annexe 3 du rapport final « Restauration écologique des tourbières
de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer
dans le Bas-Saint-Laurent » - R719.1)

Groupe de recherche en écologie des tourbières
Université Laval

Groupe de rédaction : Marie-Claire LeBlanc, Sandrine Hogue-Hugron,
Claire Boismenu, Vicky Bérubé, Rémy Pouliot et Line Rochefort

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec



17 mars 2015

Le présent document a été produit à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financé par la Direction de l'environnement et de la recherche pour un projet de la Direction du Bas-Saint-Laurent–Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. Il est un complément au rapport final « Restauration écologique des tourbières de Bic–Saint-Fabien et de Saint-Fabien-sur-Mer dans le Bas-Saint-Laurent » - R719.1.

Les opinions exprimées dans le présent document n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

CHARGÉ DE PROJET AU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Jonathan Côté, biologiste, M.Sc.
Ministère des Transports du Québec
Direction du Bas-Saint-Laurent Gaspésie îles-de-la-Madeleine
92, 2^e rue ouest,
Rimouski (Québec) G5L 8E6
Téléphone : 418 727-3675 poste 2386
Télécopieur : 418 727-3673
Courriel : jonathan.cote@mtq.gouv.qc.ca

COLLABORATEURS AU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Audrey Turcotte, biologiste, conseillère en recherche, Service de coordination de la recherche et de l'innovation, DER – MTQ (jusqu'en avril 2014)

Michel Michaud, géographe, M.ATDR, conseiller en recherche, Service de coordination de la recherche et de l'innovation, DER – MTQ (à partir de mai 2014)

Isabelle Falardeau, géographe, M. Sc. Eau, Service de l'environnement, DER

Isabel Bernier-Bourgault, biologiste, M. Sc., Service de l'environnement, DER

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
1.1	Définition et importance des tourbières	1
1.2	La restauration des tourbières.....	3
1.2.1	<i>Restauration des tourbières ombrotrophes.....</i>	3
1.2.2	<i>Restauration des tourbières minérotrophes.....</i>	4
1.3	Objectifs et structure du guide.....	6
2	Développement d'une méthode spécifique à la restauration des tourbières minérotrophes (fens)	8
2.1	Planification de la restauration	8
2.1.1	<i>Objectifs de restauration.....</i>	8
2.1.2	<i>Caractérisation des conditions initiales du site à restaurer</i>	8
2.1.3	<i>Caractérisation de l'écosystème de référence</i>	9
2.1.4	<i>Inventaire des ressources</i>	9
2.1.5	<i>Élaboration du plan de restauration.....</i>	9
2.2	Préparation du site.....	10
2.3	Récolte des plantes.....	14
2.3.1	<i>Récolte au site donneur</i>	14
2.3.2	<i>Production de diaspores.....</i>	15
2.3.3	<i>Transplantation de plants et de rhizomes</i>	16
2.4	Épandage et introduction de matériel végétal.....	20
2.4.1	<i>Épandage mécanique</i>	20
2.4.2	<i>Plantations</i>	20
2.4.3	<i>Semis in situ.....</i>	21
2.5	Épandage de la paille.....	22
2.6	Fertilisation	23
2.7	Blocage des canaux de drainage	23
2.8	Suivi de la restauration.....	24
2.8.1	<i>Végétation.....</i>	24
2.8.2	<i>Hydrologie.....</i>	26
2.8.3	<i>Érosion.....</i>	26
	Annexe A	Fiches d'information sur des espèces typiques des fens
	Annexe B	Feuilles d'inventaire de la végétation et échelle Von Post
	Annexe C	Protocole de fabrication des fagots pour le contrôle de l'érosion

1 INTRODUCTION

1.1 Définition et importance des tourbières

Les tourbières sont des milieux humides où l'accumulation de matériel végétal peu décomposé (aussi appelé « matière organique ») surpasse la quantité de matière qui se décompose annuellement. La matière organique s'accumule lentement (moins de 1 mm par année) et, après plusieurs millénaires, forme des dépôts de tourbe qui peuvent atteindre plusieurs mètres. Une grande quantité de carbone est séquestrée à une échelle géologique dans ces dépôts. En effet, bien que les tourbières ne couvrent que 3 % de la surface de la Terre, il est estimé qu'elles contiennent de 15 à 30 % du carbone terrestre mondial. Outre l'importance des tourbières au niveau de séquestration du carbone, elles constituent un habitat supportant une flore et une faune diversifiées, dont une partie est spécifiquement adaptée à des conditions nutritives très pauvres (p. ex. : plantes carnivores). Les tourbières jouent aussi un rôle primordial dans la filtration de l'eau, le contrôle des inondations et la recharge des nappes souterraines (selon leur position dans le bassin versant).

Au Canada, on distingue deux grands types de tourbières en fonction de leur alimentation en eau : les tourbières ombrotrophes (bogs) et les tourbières minérotrophes (fens). Le Tableau 1 présente les principales différences entre les deux écosystèmes.

Tableau 1 Caractéristiques distinguant les tourbières minérotrophes et ombrotrophes

	Tourbière ombrotrophe	Tourbière minérotrophe
Synonyme	Bog	Fen
Alimentation en eau	Provient uniquement des précipitations	Provient des eaux de ruissellement de surface ou souterraines, des milieux riverains et/ou des précipitations.
Éléments minéraux (Ca, Mg)	< 3 mg/L Ca < 1 mg/L Mg	> 3 mg/L Ca > 1 mg/L Mg
pH	< 5,5	> 5,5
Conductivité	<100 microsiemens	>120 microsiemens
Communautés végétales	Sphaignes, éricacées et épinettes noires	Cypéracées, saules et mousses brunes

Au cours de son histoire, il n'est pas rare qu'une tourbière commence son développement en tant que fen. Au fur et à mesure que la matière organique s'accumule et que le dépôt de tourbe s'épaissit, la végétation en surface se trouve graduellement isolée de l'apport en eau de ruissellement enrichie en éléments minéraux. En raison de la diminution de cet enrichissement en

cations de base (Ca, Mg, K, Na) pour les végétaux et de l'augmentation de l'acidité, les cypéracées et les mousses brunes sont remplacées par des sphaignes. Dans les bogs, la tourbe située en profondeur possède donc souvent des caractéristiques différentes (plus riche et moins acide) que la tourbe de sphaigne située dans la partie supérieure du dépôt.

Définitions de quelques notions abordées dans ce document :

Carex : Plantes herbacées de la famille des cypéracées; genre comprenant de nombreuses espèces. Les *Carex* composent une large part de la végétation vasculaire des fens.

Écosystème de référence : Concept en écologie qui réfère à un véritable écosystème (un milieu naturel adjacent) ou d'une représentation plus théorique (la somme de la caractérisation de plusieurs écosystèmes) servant de modèle afin de définir les objectifs d'un projet de restauration puis à leur évaluation¹.

Mousses brunes : Les principales espèces de bryophytes trouvées dans les fens contribuant à l'accumulation de la tourbe et appartenant à la famille des Amblystegiaceae. À titre d'exemple, les genres *Campylium* et *Drepanocladus* font partie des mousses brunes.

Soulèvement gélival : Phénomène causé par le gel de l'eau, qui forme des aiguilles de glace à la surface du sol. Les jeunes végétaux sont particulièrement sensibles à ce phénomène puisqu'ils sont ainsi déracinés et meurent par dessiccation.

Transfert muscinal : Appellation courte de la « Méthode de restauration par transfert du tapis muscinal » développée par le GRET pour la réhabilitation des bogs, largement décrite dans le Guide de restauration des tourbières².

¹ Adapté de la définition officielle de : SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International, [En ligne] [www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration#6].

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

1.2 La restauration des tourbières

En Amérique du Nord, la récolte de la tourbe vise principalement la production de substrat horticole. La tourbe de sphaigne possède les caractéristiques les plus intéressantes pour cet usage, tous matériaux confondus. Pour permettre les activités industrielles d'extraction de la tourbe, les tourbières naturelles sont drainées et la végétation est retirée. Les activités d'extraction cessent généralement lorsque la qualité de la tourbe n'est plus adéquate pour les usages horticoles ou lorsque des impuretés sont présentes (sol minéral). Normalement, l'épaisseur de la tourbe qui demeure sur le site à la fin des activités de récolte est supérieure à un mètre, avec bien souvent une couche résiduelle de tourbe de sphaigne. En raison de l'acidité et de la pauvreté du sol, ainsi que de la présence de canaux de drainage toujours actifs qui modifient considérablement l'hydrologie du site, la recolonisation par la végétation sur ce type de sol dégradé est peu abondante, nécessite plusieurs décennies et se réalise par des espèces qui ne sont pas typiques des tourbières.

1.2.1 Restauration des tourbières ombrotrophes

Afin de faciliter le processus de réhabilitation, le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET), en collaboration avec l'industrie canadienne de tourbe horticole et différentes instances gouvernementales, a développé une technique de restauration des tourbières à sphaignes à grande échelle appelée la technique de transfert du tapis muscinal (ou plus courtement : transfert muscinal). Cette méthode de restauration a pour but le retour, à la suite des activités industrielles, d'un écosystème accumulateur de tourbe dominé par les sphaignes. Cette technique comprend huit étapes :

1. **Planification** de la restauration : détermination des objectifs, caractérisation du site à restaurer, évaluation du budget;
2. **Préparation** du site : terrassement, construction d'andains et de digues;
3. **Récolte des plantes** dans une tourbière naturelle;
4. **Épandage et introduction du matériel végétal**;
5. **Épandage de la paille** : à un taux de 3 000 kg/ha;
6. **Fertilisation** phosphatée;
7. **Blocage des canaux de drainage** avec des barrages construits avec de la tourbe humide bien décomposée;
8. **Suivi du succès de la restauration.**

Ces étapes, relativement communes à tout projet de restauration en tourbière, sont présentées en détail dans le **Guide de restauration des tourbières**³ publié en 2003 par l'Association canadienne de mousse de sphaigne et le ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Depuis 20 ans, plusieurs études à long terme ont démontré le succès de la technique, autant pour l'établissement d'une communauté végétale dominée par les sphaignes que pour le retour de la fonction d'accumulation du carbone. Un suivi pancanadien des tourbières restaurées est d'ailleurs réalisé par le GRET sur tous les sites restaurés par l'industrie de la tourbe selon la méthode de restauration élaborée par le groupe de recherche. Des données sur les caractéristiques des tourbières et le rétablissement de la végétation sont recueillies annuellement selon un protocole précis, présenté à l'Annexe 1. Au total, plus de 500 parcelles permanentes installées dans cinq provinces canadiennes sont inventoriées dans le cadre de ce suivi, et ce, depuis près de 20 ans. Les banques de données mises sur pieds dans le cadre du suivi ont donné lieu à plusieurs projets de recherche et publications, dont un article mettant en lumière pour une première fois les facteurs influençant le succès des travaux de restauration⁴.

1.2.2 Restauration des tourbières minérotrophes

En raison de techniques de récolte industrielles plus efficaces, du type de matériel récolté ou encore de la configuration des tourbières, il advient que la tourbe soit extraite jusqu'à l'atteinte de la couche de fen sous-jacente à celle de bog. Lors de l'arrêt des activités d'extraction sur le site, la tourbe résiduelle de surface est alors une tourbe de carex, plus riche en éléments minéraux et moins acide que la tourbe de sphaigne. Dans ce cas, les objectifs de la restauration doivent être révisés, car les conditions ne sont pas adéquates pour l'établissement de la sphaigne et le retour d'une tourbière ombrotrophe. Le rétablissement d'une communauté végétale typique de fens, dominée par les mousses brunes et les carex, est alors plus approprié.

Bien qu'il existe de nombreuses similarités entre les bogs et les fens (épaisseur du dépôt organique, certains aspects de l'hydrologie), la technique de restauration développée pour les bogs doit être adaptée et modifiée dans le contexte d'un fen. Les différences liées au drainage, aux caractéristiques physicochimiques de la tourbe résiduelle et aux communautés végétales visées doivent être prises en compte.

³ Quinty, F., Rochefort, L. 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. [En ligne] [www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Guide-restauration_2e_2003_01.pdf]

⁴ Gonzalez, E., Rochefort, L. 2014. Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. *Ecological Engineering* 68: 279-290. [En ligne] []

D'abord, les patrons de circulation de l'eau dans les bogs sont beaucoup moins complexes que ceux des fens. Ces derniers sont alimentés en eau non seulement par les précipitations atmosphériques, mais également par les eaux de ruissellement de surface ou souterraines. La surface du sol est donc sensible à l'érosion, particulièrement lorsqu'elle est dénuée de végétation, comme c'est souvent le cas dans le cadre de travaux de restauration. La préparation du site doit donc tenir compte du risque d'érosion accru et inclure la mise en place de structures pour la contrôler.

Ensuite, la tourbe de carex est plus riche et moins acide, des facteurs qui favorisent une colonisation rapide des plantes pionnières à la suite de l'arrêt des activités de récolte de la tourbe. La colonisation initiale du site à restaurer doit donc être étudiée lors de la planification de la restauration des fens. Certaines espèces de tourbières peuvent avoir recolonisé spontanément le site, mais des plantes rudérales, envahissantes ou indésirables peuvent aussi former des couverts végétaux importants. Le délai entre les opérations de préparation du site et l'épandage du matériel végétal doit idéalement être réduit au minimum pour éviter la colonisation de plantes indésirables. Pour les mêmes raisons, le dosage du fertilisant doit être soigneusement respecté.

Enfin, la restauration d'un fen vise le retour d'une communauté végétale composée non seulement d'une strate muscinale (mousses brunes) importante, mais aussi de cypéracées. La majorité des espèces de ce groupe est récalcitrante à la réintroduction mécanisée. Ainsi, si l'on désire réintroduire ces espèces, des actions supplémentaires doivent être entreprises, telles que la production de plants ou la transplantation à partir d'un site donneur naturel.

Précision : Transfert de la couche de surface du sol

Contrairement à la méthode par transfert de la couche muscinale pour les bogs, la restauration des fens ne repose pas sur la récolte et l'épandage de la surface de la strate muscinale des sites donneurs. Les essais réalisés par le GRET ont révélé que seule une partie du matériel végétal transféré mécaniquement réussit à s'établir efficacement. Alors que les plantes graminoides semblent favorisées par cette méthode, les mousses sont récalcitrantes au transfert mécanique. Le choix du matériel à utiliser (et donc, du site donneur) devrait par conséquent viser la couche de surface du sol où se trouvent les diaspores de graminoides, tout en récoltant, lorsque possible, les mousses qui s'y trouvent. Pour ce faire, il s'agit de récolter les cinq (5) premiers centimètres de matériel végétal à la surface du sol. Une récolte de cette épaisseur limite aussi une perturbation excessive du site donneur et facilite donc son rétablissement. Les communautés végétales qui ne sont pas favorisées par la méthode de transfert de la couche de surface du sol sont celles se reproduisant par rhizomes, puisque ceux-ci sont retenus plus profondément dans le sol. La récolte et le transplant de segments de rhizomes permet toutefois de réintroduire ces espèces avec succès.

1.3 Objectifs et structure du guide

Ce guide représente un premier « état des connaissances » sur la restauration des tourbières minérotrophes au Québec. Il vise à résumer les connaissances acquises lors des travaux de restauration des tourbières de Bic–Saint-Fabien (BSF) et de Saint-Fabien-sur-Mer (SFSM), dans le Bas-Saint-Laurent. Ces projets commencés en 2008 sont les premiers essais de restauration de fen à l'échelle de l'écosystème au Canada. Les résultats présentés sont donc une première ébauche et sont appelés à être bonifiés au fur et à mesure que d'autres projets de recherche verront le jour.

Le guide présente les modifications ou adaptations qui doivent être apportées à la technique de transfert du tapis muscinal utilisée pour restaurer les bogs. Il doit donc être utilisé de façon complémentaire au Guide de restauration des tourbières (Quinty et Rochefort 2003⁵), puisqu'il ne fournit pas en détail toutes les étapes de la restauration. Toutefois, les éléments supplémentaires à considérer lors de la restauration d'un fen sont présentés pour chacune des étapes et des considérations techniques sont discutées. Le Guide de restauration des tourbières de Quinty et Rochefort (2003) présente les concepts généraux devant être respectés, tandis que le présent document précise les considérations additionnelles à prendre en compte lors de la planification et la réalisation de travaux de restauration des tourbières minérotrophes. Un récapitulatif des principaux éléments est présenté à la Figure 1.

La majorité des projets de recherche portant sur la restauration des fens a été réalisée à la tourbière de Bic–Saint-Fabien depuis 2008. Cette tourbière sera utilisée dans le guide comme étude de cas et les exemples référeront principalement aux écosystèmes précis trouvés dans cette région. L'information présentée est toutefois applicable partout dans le Québec méridional et peut être adaptée à toutes les régions à la condition de d'abord bien caractériser les écosystèmes qui les composent.

À la suite de la présentation des étapes de la restauration, le lecteur trouvera dans l'Annexe A des informations sous forme de fiches sur plusieurs espèces de plantes vasculaires et de mousses jugées utiles en restauration de fens. L'Annexe B fournit quant à elle des feuilles d'inventaire utiles au suivi de l'évolution des sites restaurés et permettant d'en valider la trajectoire écologique une fois les travaux complétés. L'Annexe C présente le protocole de construction de fagots servant au contrôle de l'érosion sur tourbe lorsque nécessaire.

⁵ Quinty, F., Rochefort, L. 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. [En ligne] [www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrecherche/Guide-restauration_2e_2003_01.pdf]

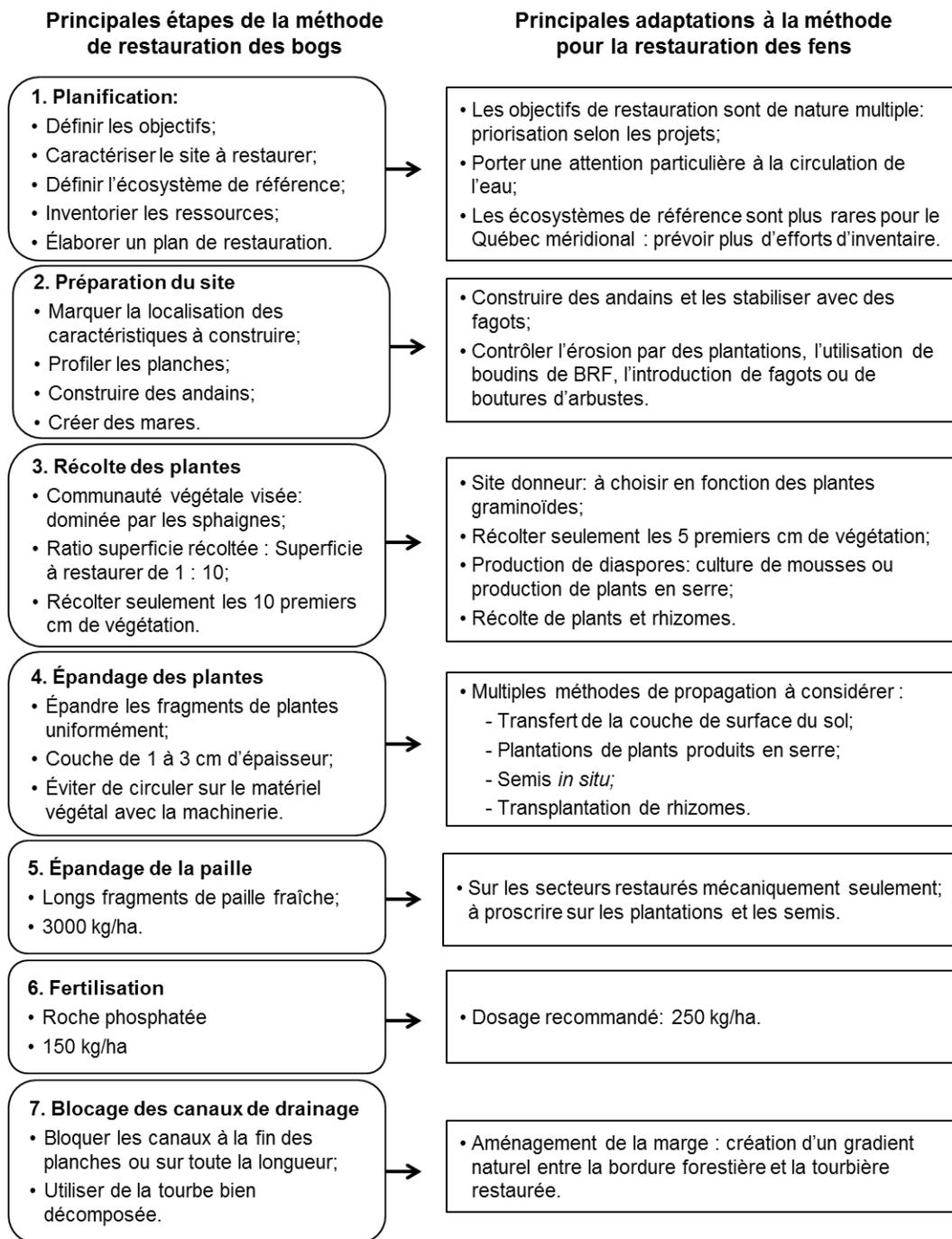


Figure 1 Principales considérations pour adapter la méthode de restauration des bogs aux fens.

2 Développement d'une méthode spécifique à la restauration des tourbières minérotrophes (fens)

2.1 Planification de la restauration

La planification est l'élément clé de tout projet de restauration. Dans le cas des fens, une attention particulière devra être accordée à l'acquisition de connaissances sur les conditions pré-restauration du site.

2.1.1 Objectifs de restauration

Tout d'abord, le but de la restauration doit être clairement défini. Les trois objectifs de la restauration de fens sont généralement :

- le retour d'un écosystème accumulateur de tourbe, dans une optique de captation du carbone;
- la revégétalisation d'un site afin d'en stabiliser la surface;
- le retour des fonctions écosystémiques et de la biodiversité.

La priorisation d'un objectif ou des objectifs dépendra du contexte du site à restaurer selon les intervenants impliqués dans le projet.

2.1.2 Caractérisation des conditions initiales du site à restaurer

Pour déterminer la marche à suivre afin d'atteindre le ou les buts de restauration définis plus tôt, il importe de connaître les conditions de départ (post-perturbation) du site. Comme les fens sont généralement plus hétérogènes que les bogs, il importe de prendre plusieurs mesures et échantillons à travers le site : la précision de la caractérisation dépend directement de l'échantillonnage. Une description détaillée accompagnée d'une cartographie précise des principaux éléments devrait s'assurer de présenter :

- Les conditions hydrologiques du site :
 - état des canaux de drainage (actifs ou non);
 - profondeur de la nappe phréatique;
 - zones de ruissellement, d'accumulation d'eau, d'érosion ou de déposition de matériel.
- Des relevés topographiques (à l'aide d'un niveau laser; une attention particulière doit être apportée aux zones de pentes).
- Les caractéristiques de la tourbe :
 - pH, conductivité électrique;

- concentration en Ca
- taux de décomposition (échelle Von Post; voir Annexe B) et identification du type de tourbe (à sphaignes ou à carex).
- La végétation existante :
 - principaux types de communautés végétales;
 - présence d'espèces envahissantes ou indésirables;
 - présence de plantes rares;
 - type d'occupation du sol et influence possible des secteurs adjacents.

2.1.3 Caractérisation de l'écosystème de référence

L'écosystème de référence est un concept, en écologie, qui réfère à un véritable écosystème (un milieu naturel adjacent) ou d'une représentation plus théorique (la somme de la caractérisation de plusieurs écosystèmes). Il importe de définir une telle référence écologique qui servira de modèle pour les objectifs de restauration. Pour ce faire, il est nécessaire d'acquérir des connaissances sur les écosystèmes de fens présents dans la région où les travaux ont lieu. Lorsque disponibles, des listes des plantes rencontrées dans les fens naturels fournissent des informations quant aux espèces qui devraient se trouver dans le milieu restauré. Sinon, des inventaires peuvent être conduits afin de dresser une liste des communautés végétales communes de la région. La caractérisation du substrat (pH, chimie) et des conditions hydrologiques des fens naturels serviront aussi à peaufiner le portrait de l'écosystème de référence.

2.1.4 Inventaire des ressources

Un bilan des ressources matérielles et financières disponibles doit aussi être dressé afin d'évaluer les possibilités de restauration.

2.1.5 Élaboration du plan de restauration

Les renseignements recueillis lors de la caractérisation serviront à définir le plan de restauration. Selon l'objectif de restauration à atteindre, celui-ci peut viser une restauration homogène à grande échelle, inclure le recours à plusieurs méthodes de restauration afin de créer une mosaïque de milieux de tourbière (transfert de la couche de surface du sol, îlots ombrotrophes, conservation de la végétation en place, remouillage seulement, zones de plantations intensives...) ou encore incorporer des éléments précis sur le site (construction de mares, plantation d'arbustes à petits fruits, création d'habitats fauniques, aquatiques...). Le défi du plan de restauration consiste à faire coïncider les objectifs de restauration visés, les conditions initiales du terrain et les ressources disponibles. Le recours aux services de professionnels de la restauration peut faciliter cette tâche.

2.2 Préparation du site

Les fens sont particulièrement sujets à être colonisés spontanément par des communautés végétales composées d'espèces typiques des tourbières ou non. Règle générale, la restauration des terrains tôt après la cessation des activités industrielles d'extraction de la tourbe facilite grandement la préparation du site et, éventuellement, l'établissement des communautés végétales ciblées. Le hersage régulier pendant la période entre l'arrêt des activités industrielles et la restauration contribue aussi à limiter la recolonisation par des espèces envahissantes et indésirables, ce qui évite de devoir entreprendre des actions de contrôle et d'éradication. Dans le cas de sites déjà revégétalisés par des espèces de fen, certains secteurs du site peuvent être laissés intacts de façon à conserver la végétation existante. Celle-ci pourra servir de banque de graines afin d'initier la recolonisation une fois la surface du sol préparée, ou encore servir à la circulation de la machinerie là où la portance du sol ne le permet pas lors des travaux de restauration. D'autres secteurs, revégétalisés spontanément par des espèces non désirables ou encore dénués de végétation, seront préparés (nivelés), selon le plan de restauration déterminé.

Par ailleurs, les fens sont, par définition, des tourbières où les apports d'eau se font par ruissellement. La surface des tourbières résiduelles sans végétation s'incise facilement, ce qui peut causer le ravinement et la déposition de matériel à certains endroits. Afin de limiter au maximum les risques d'érosion, une attention particulière doit être portée à la gestion des apports en eau et des pentes sur les sites à restaurer. Une étude attentive de l'élévation du sol (par des relevés topographiques) et des directions d'écoulement doit être intégrée à la planification de la restauration. Si la configuration d'un site est telle que d'importantes sources d'eau en amont doivent circuler à travers le fen à restaurer, le but de la restauration hydrologique sera d'y retenir l'eau le plus possible afin d'assurer un remouillage adéquat. Tout comme dans les bogs, il est recommandé de construire des andains à tous les 30 cm de dénivellation. Ceux-ci doivent être construits en largeur plutôt qu'en hauteur afin de s'assurer de leur stabilité et de leur résistance. Il importe toutefois d'aménager des voies privilégiées d'écoulement de l'eau : des andains devront être construits en incluant des segments plus élevés où il y aura rétention de l'eau, et d'autres plus bas qui en faciliteront la circulation. L'eau pourra alors, par exemple, traverser des fagots (voir Tableau 2) partiellement perméables ou des zones végétalisées résistantes à la puissance de l'écoulement de l'eau. En général, il s'agit de retarder l'évacuation de l'eau à l'extérieur de la tourbière à restaurer en ralentissant son écoulement tout en limitant le ravinement. Malgré ces précautions, il arrive toutefois que des problèmes d'érosion surviennent, causés par le ruissellement ou les précipitations sur le site. Parmi les méthodes expérimentées au cours des dernières années, quatre se sont révélées efficaces, à différentes conditions, pour contrôler et remédier à l'érosion dans les fens (voir le Tableau 2).

Tableau 2 Quatre méthodes de prévention et de contrôle de l'érosion

<p>La plantation d'herbacées</p> <p>L'introduction d'herbacées (p. ex. de grandes cypéracées), exécutée à titre préventif ou dans des secteurs de ruissellement léger, permet de ralentir la circulation de l'eau dans les zones sans pente. Une attention doit être portée et des tests doivent être réalisés afin de choisir des espèces bien adaptées à l'intensité de l'érosion et au débit d'eau. Les plantes peuvent être introduites en amont et en aval de la zone érodée afin de maximiser l'effet de diversion du ruissellement. Le <i>Carex aquatilis</i> est particulièrement recommandé pour cet usage.</p>	
<p>L'installation de boudins de bois raméal fragmenté (BRF)</p> <p>Les boudins de BRF sont des matériaux couramment employés dans le domaine de la construction de routes. Utilisés en tourbière, ils peuvent colmater les brèches dans les andains et les renforcer efficacement. Toutefois, leur effet est temporaire puisqu'ils durent au maximum une ou deux saisons avant de se désintégrer. En les utilisant avec d'autres techniques (notamment de végétalisation), ils deviennent toutefois beaucoup plus efficaces, car les végétaux ont le temps de bien s'établir avant la désintégration des boudins pour stabiliser le sol et empêcher l'érosion autour et sous les boudins. L'idée ici est d'utiliser ce type de structure pour retenir une certaine quantité d'eau dans la tourbière, mais pas nécessairement de rendre les andains complètement étanches.</p>	
<p>L'introduction de fagots de branches d'arbustes et d'arbres</p> <p>Les fagots peuvent être utilisés afin de créer des obstacles ralentissant l'eau dans les secteurs où l'érosion est causée par la pente ou encore pour stabiliser les andains sujets à se perforer par l'effet de l'eau. Dans les deux cas, ils peuvent être installés à titre préventif (lors des travaux de restauration) ou afin de corriger des problèmes ultérieurs. Les fagots permettent aussi de réintroduire des espèces typiques dans les fens. Le <i>Spirea latifolia</i> et le <i>Salix</i> sp. sont particulièrement recommandés. Pour plus de détails, consulter le protocole de fabrication des fagots à l'Annexe C.</p>	
<p>L'introduction de boutures d'arbustes</p> <p>L'introduction de tiges d'arbustes vise à créer des obstacles ralentissant l'eau et à faire en sorte qu'elle s'écoule horizontalement plutôt que de façon rapide en incisant la surface du sol. Cette méthode est efficace dans des secteurs où les incisions sont peu profondes et où la déposition de matériel se fait en aval de la zone érodée. Cette technique présente des résultats variables (notamment dans les secteurs sujets au soulèvement gélival), mais elle contribue généralement à ralentir considérablement la circulation rapide de l'eau et à stabiliser le sol en stoppant le transport de matériel. Le <i>Myrica gale</i> est une espèce à considérer pour cet usage.</p>	

La stabilisation des andains eux-mêmes, par végétalisation, est aussi conseillée. Une méthode efficace pour le faire est de disposer des fagots de branches d'arbres ou d'arbustes à la base des andains (Figure 2; voir le protocole de fabrication présenté à l'Annexe C). Les fagots prendront éventuellement racine et stabiliseront les andains en les protégeant de la circulation de l'eau. Parmi les espèces testées, le *Spirea latifolia* et le *Salix* sp. s'établissent particulièrement bien de cette façon. Cette étape peut être réalisée lors des travaux de restauration ou encore comme mesure correctrice au besoin. Cette technique présente aussi les avantages d'introduire des espèces typiques des fens dans la tourbière, de façon relativement simple et peu coûteuse. À l'inverse, il n'est pas recommandé d'effectuer des plantations d'arbustes sur les andains. La porosité de ceux-ci (le matériel remanié y demeure relativement meuble) et leur exposition au vent et au gel pendant l'hiver (certains andains sont balayés par le vent et ne sont donc pas couverts de neige pendant la période hivernale) ne permettent pas aux plants de survivre et de s'établir.



Figure 2 Utilisation de fagots de *Spirea latifolia* pour stabiliser un andain.

En résumé :

- Quatre techniques ont été testées pour ralentir l'écoulement de l'eau et contrôler l'érosion potentielle associée au ruissellement dans les fens à restaurer. Elles sont présentées au Tableau 2.
- Il est déconseillé de revégétaliser les andains servant à remouiller le site, car la tourbe remaniée n'est pas propice à la survie des plantes.
- En contrepartie, la pose de fagots à la base des andains permet d'introduire rapidement des espèces stabilisatrices et ils servent aussi de noyaux de recolonisation.

2.3 Récolte des plantes

2.3.1 Récolte au site donneur

Les communautés végétales qui composent les fens sont plus diversifiées que celles des bogs et il importe de reproduire cette diversité lors de l'introduction de matériel végétal dans les sites à restaurer.

Le choix de la communauté de plantes vasculaires à réintroduire lors de la restauration devrait tenir compte du but de la restauration et de la composition de l'écosystème de référence. La sélection du site donneur (tourbière naturelle) doit ensuite être réalisée en fonction, tout d'abord, des communautés de plantes graminoides présentes plutôt que des communautés muscinales. En effet, les premiers essais mécanisés de la technique ont démontré un établissement quasiment nul des mousses brunes, alors que ces dernières s'établissent généralement avec succès lorsqu'implantées à la main. Des études plus poussées sont donc requises pour comprendre l'impact de la mécanisation sur le succès d'établissement des mousses. C'est pourquoi, à ce stade-ci de nos connaissances, il est préférable de se concentrer sur la réintroduction des plantes graminoides. Afin de limiter les perturbations dans la tourbière naturelle et de favoriser sa régénération naturelle, le matériel végétal devrait être récolté sur une profondeur ne dépassant pas 5 cm. Le délai entre la récolte du matériel et son épandage devrait être limité au minimum afin d'éviter le dessèchement du matériel.

À titre indicatif, le Tableau 3 présente les espèces de plantes vasculaires qui se sont établies avec ou sans succès à la suite du premier essai mécanisé sur cinq hectares par transfert de la couche de surface du sol à Bic-Saint-Fabien. Les espèces qui ne sont pas mentionnées dans ce tableau étaient absentes ou très peu abondantes dans le site donneur.

Tableau 3 Résultat de l'établissement des plantes vasculaires présentes dans le site donneur pour le premier essai de restauration de fen à l'aide de la technique de transfert de la couche de surface du sol.

Espèces vasculaires	
Succès d'établissement	Échec d'établissement
<i>Myrica gale</i>	<i>Carex aquatilis</i>
<i>Sanguisorba canadensis</i>	<i>Carex lasiocarpa</i>
<i>Trichophorum alpinum</i>	<i>Carex flava</i>

La récolte de diaspores devrait être effectuée dans une tourbière située le plus près que possible géographiquement du site à restaurer. Il est aussi primordial de s'assurer qu'aucune espèce indésirable ne soit présente dans le lieu de

récolte du matériel végétal pour éviter la propagation de ces dernières dans le site à restaurer. Pour la restauration de tourbières, les quenouilles (*Typha* sp.) sont considérées comme des espèces non désirables puisqu'elles ne sont pas naturellement présentes dans les tourbières. Une attention particulière doit également être portée à éviter la propagation du roseau commun (*Phragmites australis*), une espèce envahissante dans les milieux humides.

2.3.2 Production de diaspores

Il advient que la diversité en espèces de fen du site donneur soit insuffisante ou que certaines espèces recherchées ne soient pas favorisées par la méthode de transfert de la couche muscinale de végétation. Il est aussi possible que les fens naturels pouvant constituer de potentiels sites donneurs soient inaccessibles ou de superficie restreinte, ne permettant pas de fournir tout le matériel végétal nécessaire aux besoins de la restauration. De plus, certains objectifs de restauration peuvent cibler des espèces précises (pour la création d'un habitat faunique spécifique, par exemple), sous statut de conservation ou non disponibles dans une région donnée. Pour ces raisons, la production de diaspores peut constituer une option intéressante dans le cadre de certains projets de restauration. Cette méthode nécessite certes, plus de temps, de même que des ressources financières et matérielles plus importantes que la récolte usuelle de matériel dans un site donneur, mais elle garantit la disponibilité de propagules spécifiques et facilite l'établissement de plusieurs espèces autrement récalcitrantes au transfert mécanique.

Production de mousses brunes

Les bryophytes peuvent être produites à même le site à restaurer en construisant des bassins de culture (Figure 1). La méthode de production consiste à prélever une petite quantité de bryophytes d'un site naturel et à les ensemercer dans des bassins leur fournissant des conditions idéales de croissance (contrôle de la hauteur de la nappe phréatique, protection des diaspores par un couvert de paille, etc.). Cette option est particulièrement efficace lorsque de grandes quantités ou des espèces particulières de mousses sont nécessaires pour un usage précis. Les bassins peuvent être installés dans les sites où plusieurs secteurs devront être restaurés au fil des années et servir de source continue de matériel lorsque les besoins se présenteront. Leur création peut être définie longtemps à l'avance et être intégrée aux séquences d'ouverture, de fermeture et de restauration de différents secteurs de tourbière.



Figure 3 Installation de bassins de culture de mousses brunes à la tourbière de Bic-Saint-Fabien.

Production de plantes vasculaires en serre

Dans le cas des espèces vasculaires, la production de plants est une autre avenue à la récolte dans un site donneur afin de garantir l'établissement de communautés végétales précises. L'achat de plants en pépinière peut s'avérer efficace, mais la plupart des espèces des fens ne sont pas disponibles de façon commerciale. Les méthodes de production peaufinées par le GRET consistent à récolter de grandes quantités de semences des espèces ciblées dans des tourbières naturelles avant de les réintroduire par semis sur le site à restaurer ou encore de les faire germer en serre avant de les planter sur le site en restauration. Une procédure générale de production de plants a été élaborée pour produire les plants en serre (voir le Tableau 4). De plus, des particularités doivent être prises en considération pour la production de certaines espèces; elles sont présentées dans les fiches de l'Annexe A.

2.3.3 Transplantation de plants et de rhizomes

Une autre possibilité est la récolte et la transplantation de rhizomes et de plants entiers pour une revégétalisation relativement rapide. En évitant la production en serre, une série d'étapes et de manipulations sont retirées. Toutefois, une bonne connaissance des espèces et du milieu naturel où elles peuvent être collectées s'impose.

Règle générale, les rhizomes peuvent être récoltés en de longs segments, puis taillés en sections d'une dizaine de centimètres avant d'être enfouis dans le sol à une dizaine de centimètres de profondeur. Cette méthode s'est révélée efficace à la tourbière de Bic-Saint-Fabien pour certains scirpes (*Schoenoplectus validus*, *S. acutus*). De leur côté, certains *Carex* (entre autres le *C. aquatilis* et le *C. lasiocarpa*) répondent particulièrement bien au repiquage de plants entiers.

Tableau 4 Méthode générale de production de plants d'espèces typiques des fens en serre (1 de 3)

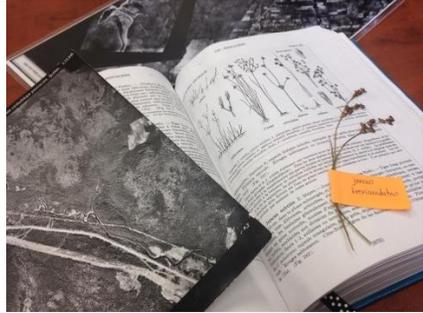
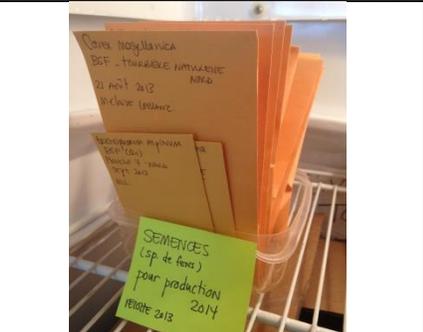
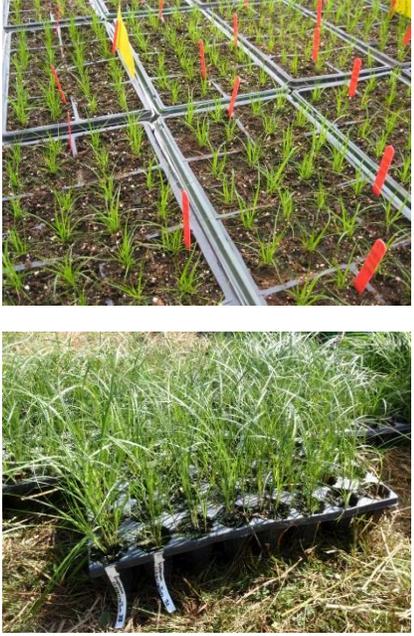
<p>Planification et préparation de la récolte</p> <p>L'identification des tourbières naturelles à visiter à l'aide de photographies aériennes et la réalisation d'inventaires des communautés végétales présentes permettent de dresser un calendrier de récolte. Rechercher les particularités des espèces ciblées et la période de maturité des graines dans la littérature (guides d'identification, herbiers, etc.). Plusieurs visites sont parfois nécessaires afin de connaître le moment optimal de récolte.</p>	
<p>Récolte</p> <p>Les graines des espèces ciblées sont récoltées dans des tourbières naturelles lorsqu'elles ont atteint leur maturité. Les graines matures se détachent facilement des plants et sont sèches. La récolte se fait par temps sec, en prenant soin de laisser une partie des semences sur les plants afin d'assurer la pérennité des communautés. La date et la localisation sont notées.</p>	
<p>Séchage et entreposage</p> <p>Immédiatement après la récolte, les graines sont transférées dans des sacs ou des enveloppes de papier. Ceux-ci sont laissés entrouverts à l'air libre jusqu'à 3 semaines afin de faire sécher complètement les graines. Les graines sont séparées des capsules et les autres fruits et impuretés (tiges, branches, feuilles...) sont retirés. Les sacs/enveloppes sont refermés, identifiés et placés au réfrigérateur (environ 5 °C), au sec et à l'abri de la lumière (p. ex., dans une boîte).</p>	

Tableau 4 Méthode générale de production de plants d'espèces typiques des fens en serre (2 de 3)

<p>Stratification⁶</p> <p>Les graines sont mélangées à du sable dans des sacs de plastique (de type Ziploc) identifiés. Le mélange est humidifié avec de l'eau déionisée de façon à ce qu'il soit saturé d'eau, mais qu'aucun surplus ne se forme à la surface ni au fond. Les sacs sont ensuite placés (entrouverts pour éviter la formation de moisissures) au réfrigérateur, à l'abri de la lumière. Règle générale, les graines devraient être entreposées pendant 90 jours à 3 °C. La durée et la température optimales de stratification peuvent varier selon les espèces : consulter l'Annexe A pour des détails.</p> <p>Une variante de la méthode implique de faire tremper les semences les plus grosses dans de l'eau déionisée pendant 24 h avant de les mélanger au sable afin de s'assurer qu'elles sont bien humidifiées. Les semences peuvent aussi être regroupées dans des baluchons de coton-fromage avant de les placer dans le sable humide, ce qui facilite leur manipulation.</p>	
<p>Semis</p> <p>Une fois la durée de stratification écoulée, les graines sont prêtes à être semées en serre. Le semis peut se faire à la volée dans des plateaux; les plants seront repiqués après quelques semaines. Cette option est préférable lorsque le taux de germination des graines est inconnu ou peu élevé. Dans le cas de lots de semences au taux de germination élevé ou pour lesquelles les plants à produire peuvent contenir plusieurs tiges, les graines peuvent être semées directement dans des alvéoles. Il faut dans ce cas éclaircir les plants éventuellement.</p> <p>Dans les deux cas, le terreau à utiliser est un mélange « Promix » industriel (pH d'environ 6, conductivité électrique d'environ 500 uS/cm) bien humidifié. Les plateaux et les caissettes troués sont placés dans des plateaux non troués de façon à limiter l'écoulement de l'eau hors des caissettes. Il ne doit toutefois pas y avoir d'accumulation d'eau dans les plateaux.</p> <p>Après le semis, les semences sont recouvertes d'une mince couche de Promix (± 3 mm). Le substrat doit ensuite être maintenu humide; des ombrières ou des dômes de plastique peuvent être utilisés pour diminuer l'évapotranspiration. L'usage de vermiculite est à proscrire pour éviter la prolifération des algues.</p> <p>(Voir aussi la section 2.3 pour une variante.)</p>	

⁶ La stratification consiste à lever la dormance des semences en leur faisant subir une période de refroidissement.

Tableau 4 Méthode générale de production de plants d'espèces typiques des fens en serre (3 de 3)

<p>Croissance en serre et fertilisation</p> <p>La croissance en serre doit suivre une photopériode semblable à celle du lieu où seront transplantés les plants. Pour les besoins de la restauration, la production de plants jeunes et vigoureux est préférable à celle de plants matures, qui sont plus difficiles à transporter et plus coûteux à produire. Chacun des plants peut compter plusieurs tiges. Le repotage final peut se faire dans des caissettes de pépiniéristes ou encore des caissettes forestières, deux formats pratiques pour la plantation.</p> <p>Afin de faciliter le travail de plantation et l'établissement des plants, les végétaux produits doivent avoir une masse racinaire importante. La fertilisation doit être planifiée en conséquence, en suivant les procédures générales utilisées en pépinière et en ajustant les dosages tout au long de la croissance des plantes. En serre, de bons résultats ont été obtenus en alternant entre la fertilisation 10-52-10 et 20-8-20, en débutant à 50 ppm (d'azote) et en augmentant graduellement pendant la croissance des plantes.</p> <p>Enfin, comme les semences proviennent de l'extérieur, la gestion des insectes et des parasites dans la serre doit être faite dès le semis et de façon continue. L'application d'une mince couche de sable à la surface des semis et des plants ainsi que le recours aux pièges adhésifs permettent de prévenir la prolifération d'insectes. Un programme de prévention biologique par l'utilisation de nématodes peut aussi être mis sur pieds dès l'arrivée des semis en serre.</p>	
---	---

2.4 Épandage et introduction de matériel végétal

2.4.1 Épandage mécanique

Une fois que le matériel végétal est récolté sur le site donneur, son épandage dans les fens suit la même méthode que pour les bogs. Il s'agit d'épandre mécaniquement le matériel déchiqueté à la surface du substrat exposé, en prenant soin de former une couche la plus mince et uniforme possible et de ne pas créer de roulières avec la machinerie. Cette étape doit être réalisée le plus tôt possible après la collecte du matériel afin d'éviter la dessiccation du matériel.

2.4.2 Plantations

Lorsque les plants produits en serre sont prêts à être transplantés sur le site de restauration, il est nécessaire de prévoir une période d'acclimatation de quelques jours pendant laquelle les plants seront laissés à l'extérieur dans leurs contenants. Les plants doivent alors être arrosés et protégés du soleil avant leur transplantation (Figure 3). La plantation des plants doit se faire assez tôt dans la saison pour permettre leur établissement sur le terrain, tout en évitant les périodes de gel.

Règle générale, les végétaux devraient être plantés en quinconce, à environ 20-30 cm d'intervalle. Les espèces plus volumineuses (certaines cypéracées par exemple) ou celles chez qui la reproduction asexuée est particulièrement efficace (c'est entre autres le cas du *Carex aquatilis*) peuvent être plus éloignées les unes des autres. Le dénombrement des plants introduits peut permettre le suivi du succès d'établissement, mais certaines espèces se reproduisent rapidement et il devient vite difficile de déterminer le nombre d'individus final. Les plantations effectuées autour des mares devraient être réalisées après avoir évalué les fluctuations du niveau d'eau, afin d'éviter que les espèces aquatiques ne soient introduites sur des zones trop élevées par rapport à la baisse de niveau d'eau que subira la mare durant les périodes sèches de l'été.



Figure 3 À gauche : acclimatation des végétaux à l'extérieur, sous une bâche.
À droite : plantations autour d'une mare.

2.4.3 Semis in situ

Une alternative à la production de plants en serre est de semer les graines stratifiées directement sur la zone à revégétaliser. Il s'agit évidemment d'une méthode plus rapide et économique que la production en serre, qui a fait ses preuves pour quelques espèces (voir Tableau 5). Il faut toutefois considérer qu'une fois semées, les graines sont exposées aux aléas de la nature (déplacement par le vent ou l'eau, perturbation par les animaux, risques de gel ou de sécheresse) et que les taux de germination peuvent être moins élevés qu'en serre. Cette méthode est recommandée lorsque de grandes quantités de graines sont disponibles ou pour l'utilisation de mélanges de semences sur de grandes surfaces. Par ailleurs, il faut noter que les semis *in situ* pourraient aussi être réalisés à l'automne avec des graines fraîchement cueillies, mais encore non stratifiées. Quoiqu'intéressante, cette méthode n'a toutefois pas encore été évaluée par le GRET et il n'est donc pas possible pour le moment d'émettre des recommandations à ce sujet.

Dans la tourbière, il faut préparer la surface à ensemercer en retirant la végétation existante et en exposant le substrat (il est aussi possible de semer dans des secteurs où du matériel végétal a déjà été épandu si les objectifs de restauration le prescrivent). Il s'agit ensuite de disperser le mélange de graines et de sable (provenant de la stratification) à la surface du sol, puis de couvrir le mélange d'une très fine couche (< 5 mm) de tourbe prélevée sur le site. La surface du sol est légèrement pressée afin de limiter le déplacement des graines par le vent. L'utilisation de paillis à la surface de la zone ensemençée est à proscrire. En effet, le paillis maintient les jeunes plantules trop au frais, ce qui nuit à leur établissement.

Tableau 5 Espèces vasculaires introduites *in situ* à Bic-Saint-Fabien en juillet 2013. Celles en gras ont démontré une capacité de germination directe sur le terrain. Celles suivies d'un astérisque ont produit un nombre de plantules particulièrement élevé. Celles en caractère ordinaire ont été testées mais ont donné de piètres résultats.

<i>Calamagrostis canadensis</i>	<i>Carex leptalea</i> *	<i>Parnassia glauca</i>
<i>Caltha palustris</i>	<i>Carex magellanica</i> *	<i>Sarracenia purpurea</i>
<i>Carex aquatilis</i>	<i>Carex prairea</i> *	<i>Thalictrum pubescens</i> *
<i>Carex disperma</i>	<i>Conioselinum chinense</i>	<i>Trichophorum alpinum</i>
<i>Carex echinata</i> *	<i>Drosera rotundifolia</i>	<i>Trichophorum cespitosum</i>
<i>Carex flava</i> *	<i>Eriophorum viridicarinum</i>	<i>Triglochin palustris</i>
<i>Carex lasiocarpa</i>	<i>Menyanthes trifoliata</i>	

2.5 Épandage de la paille

Tout comme pour la restauration des bogs, l'épandage d'un paillis protecteur de paille s'avère bénéfique pour l'établissement des plantes réintroduites par la méthode de transfert de la couche de surface du sol. En effet, le paillis contribue grandement à réduire les effets négatifs reliés au soulèvement gélival et à procurer un microclimat plus humide pour favoriser spécifiquement la régénération des mousses. Le taux d'application de la paille en restauration des fens est le même que pour les bogs, c'est-à-dire 3 000 kg/ha. Un bon recouvrement de paille limitera l'effet du soulèvement gélival, l'un des principaux obstacles à l'établissement de la végétation (autant dans les secteurs où du matériel a été épandu qu'au sein des plantations). La seule contraindication à l'ajout de paille concerne les secteurs où des semis *in situ* ont été réalisés puisque cela peut nuire à la germination des graines et au développement des plantules.

2.6 Fertilisation

Une expérience menée à Bic–Saint-Fabien dans les secteurs restaurés par la technique de transfert muscinal a montré un effet positif de la fertilisation phosphatée sur l'établissement des plantes. Cet effet positif a été observé autant pour les plantes vasculaires que pour les mousses. L'ajout de phosphore a favorisé particulièrement la croissance du *Bryum pseudotriquetrum*, du *Trichophorum alpinum* et du *Scirpus cyperinus*.

La fertilisation phosphatée est donc recommandée puisqu'elle favorise l'établissement rapide de certaines plantes, qui en retour, peuvent contribuer à améliorer l'établissement des plantes introduites par une stabilisation du substrat et la réduction des effets négatifs du soulèvement gélival. Le phosphore devrait être épandu le plus rapidement possible après l'introduction du matériel végétal, sous forme de roche phosphatée, à un taux de 250 kg/ha.

2.7 Blocage des canaux de drainage

Tout comme dans le cas des bogs, le remouillage du site visant à rétablir les conditions hydrologiques favorables au retour d'un écosystème de tourbière minérotrophe nécessite la mise en place de barrages afin de bloquer la circulation de l'eau dans les anciens canaux de drainage. Leur construction peut être planifiée en suivant les recommandations du guide sur les techniques de remouillage des tourbières du GRET⁷.

Afin de recréer une continuité apparentée à la transition naturelle entre les tourbières et les marges forestières ou *laggs* adjacents, les travaux de restauration devraient prévoir l'aménagement des pourtours des secteurs à restaurer. La mise en place de pentes graduelles à la bordure de la tourbière devrait être prévue en même temps que les travaux de blocage des canaux de drainage principaux (qui ceinturent normalement le secteur à restaurer).

⁷ Landry, J., Rochefort, L. 2011. Le drainage des tourbières : impacts et techniques de remouillage. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec, 53 p.

2.8 Suivi de la restauration

Une procédure de suivi est présentée dans la deuxième édition du Guide de restauration des tourbières de Quinty et Rochefort (2003)⁸. Quelques modifications ont été apportées au protocole au cours des dernières années, principalement dans un souci de maximiser les ressources face au nombre grandissant de tourbières restaurées devant être suivies annuellement. Cette section présente uniquement les modifications à la procédure de suivi originale. Cette procédure est également celle qui est privilégiée par le GRET pour le suivi des fens restaurés. En effet, elle a été prouvée robuste et semble appropriée peu importe le type de tourbière (fen ou bog). La collecte de données à long-terme et des observations sur le terrain dans les fens restaurés permettront toutefois d'amener des modifications à la procédure si nécessaire. Le suivi est une étape essentielle des projets de restauration qui ne doit pas être négligée. Selon les ressources disponibles, la méthode de suivi présentée dans le Guide de restauration peut toutefois être adaptée. Un résumé des suivis minimaux recommandés suite à la restauration est présenté au Tableau 6.

Il est important de mentionner qu'il n'est pas possible pour le moment de déterminer la liste précise des indicateurs de succès des projets de restauration des fens en raison de l'état encore peu avancé des connaissances sur le sujet. La poursuite des suivis à grande échelle (inclusion de nouveaux sites) et à long-terme (hydrologiques, de végétation, du carbone, de l'état général du site) ainsi que l'analyse attentive des données recueillies seront nécessaires afin de développer ces indices et de définir la trajectoire écologique des fens restaurés. À titre d'exemple, le GRET a défini pour la première fois des indicateurs de succès de la restauration des bogs en 2014⁹, soit près de 20 ans après les premiers essais de restauration. Pour l'instant, les objectifs de restauration des fens visent à se rapprocher des écosystèmes de référence et à combler les attentes plus spécifiques des projets de restauration tels que la biodiversité, la stabilisation du sol ou le captage de carbone.

2.8.1 Végétation

Un suivi du retour de la végétation devrait être réalisé dans au moins cinq (5) parcelles permanentes par « secteur » restauré. Un « secteur » est une zone où la restauration est uniforme, c'est-à-dire qu'elle a été effectuée au même moment, avec le même matériel végétal, selon la même méthode et sur un site homogène (en matière de drainage, de topographie, de chimie de la tourbe, etc.). Pour les secteurs très hétérogènes, il peut être nécessaire d'installer plus

⁸ Quinty, F., Rochefort, L. 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. [En ligne] [http://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Guide-restauration_2e_2003_01.pdf]

⁹ González, E., Rochefort, L. 2014. Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. *Ecological Engineering* 68: 279-290

de cinq parcelles permanentes. À l'intérieur de chacune des parcelles, nous conseillons de réaliser les inventaires de la strate vasculaire dans quatre (4) quadrats de 1 m². Les inventaires de la strate muscinale sont effectués dans 12 quadrats de 25 cm x 25 cm. La Figure 4 présente la disposition des quadrats à l'intérieur de la parcelle permanente. Un exemple de formulaire utilisé pour ces relevés est présenté à l'Annexe B.

Tel que présenté dans le Guide de restauration des tourbières, le GRET propose généralement la fréquence d'inventaire suivante : 3, 5, 7 et 10 ans suivant la restauration, puis ensuite tous les cinq ans. Il n'est pas recommandé de réaliser les inventaires avant trois ans, car, à ce stade, les plantes se trouvent encore généralement sous la paille et sont très difficiles à identifier. Lorsque le couvert végétal est encore faible, il est primordial d'éviter de perturber le terrain pendant les inventaires et le port de raquettes en plastique peut s'avérer nécessaire pour les déplacements des évaluateurs.

La présence d'espèces envahissantes ou indésirables (à l'intérieur ou l'extérieur des parcelles permanentes) dans le secteur restauré doit être soigneusement consignée et, idéalement, cartographiée. L'évolution de ces populations devrait être vérifiée à quelques moments au courant de l'année afin de déterminer si des actions de contrôle doivent être entreprises.

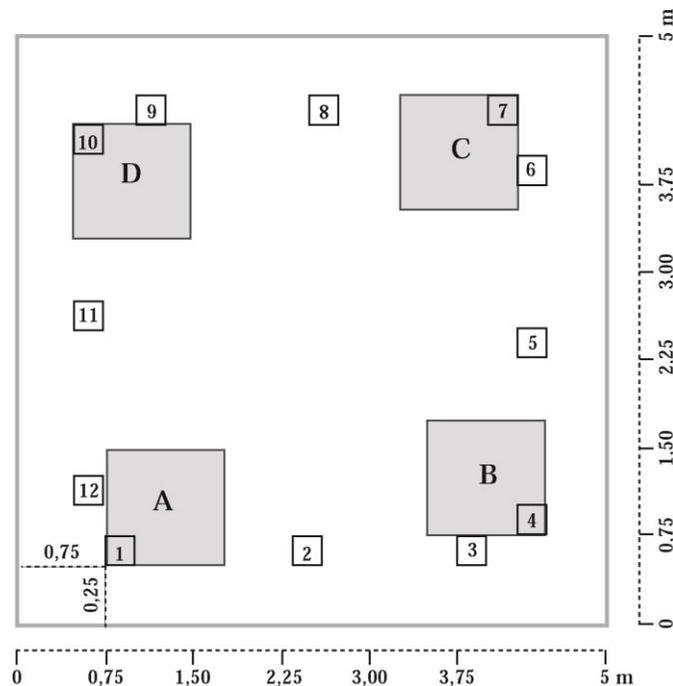


Figure 4 Disposition des quadrats pour l'inventaire de la végétation dans les parcelles permanentes (PP). Les PP ont une superficie de 25 m² (5 m x 5 m). Les quadrats pour les plantes vasculaires (1 m x 1 m) sont identifiés de A à D. Les quadrats pour les plantes muscinales (25 cm x 25 cm) sont identifiés de 1 à 12.

2.8.2 Hydrologie

Une vérification de l'intégrité des barrages doit également être menée périodiquement afin de minimiser les variations du niveau d'eau dans les secteurs restaurés. Dans le cas où des défaillances sont observées, les correctifs doivent être apportés le plus rapidement possible de façon à préserver le maximum d'eau dans la tourbière. À l'inverse, il se peut aussi que des barrages doivent être temporairement abaissés ou ajustés à la suite des travaux. L'observation des secteurs d'écoulement et d'accumulation d'eau au printemps, lors de la fonte des neiges ou encore après de fortes précipitations, permet d'identifier ces situations.

2.8.3 Érosion

Les principaux signes d'érosion sont généralement visibles dès la première année suivant les travaux de restauration. Pendant cette première année, les précipitations et le ruissellement indiquent les zones sensibles au ravinement et à la déposition de matériel. Le dégel printanier met ensuite à l'épreuve les structures construites lors des travaux de restauration. Un suivi à court terme devrait donc être prévu, tout en gardant en tête que le remouillage d'un fen est une initiative à long terme, tant au niveau des résultats des interventions réalisées que de la stabilisation du milieu. Une visite quelques semaines après la fin des travaux, puis le printemps suivant la restauration, ainsi qu'une vérification annuelle (tant que de grandes étendues de tourbe sont toujours non végétalisées) ou bisannuelle devraient être prévues. Une cartographie des principaux problèmes ainsi qu'une description détaillée et des photographies des actions posées permettront de déterminer les techniques les plus adaptées aux situations rencontrées et de planifier les actions devant être entreprises. Des techniques de contrôle de l'érosion sont présentées à la section 2.2 de ce document.

Tableau 6 Recommandation de suivis minimaux suite à la restauration des tourbières (fens et bogs)

Type de suivi	Début du suivi	Fréquence
Végétation	3 saisons de croissance ¹⁰ après les travaux.	3, 5 et 10 ans suivant la restauration.
Hydrologie	Quelques semaines après les travaux, puis pendant le premier printemps (lors du dégel).	Annuellement pour les trois premières années, puis après 5 et 10 ans suivant la restauration. Au printemps si possible.
Érosion	Quelques semaines après les travaux, puis pendant le premier printemps (lors du dégel).	Annuellement pour les trois premières années, puis après 5 et 10 ans suivant la restauration. Au printemps si possible.

¹⁰ Par « saison de croissance », on entend une saison estivale, en tout ou en partie. Le calcul du temps écoulé doit se faire en fonction des saisons et non des années. Ainsi, pour des travaux réalisés pendant une même année, la végétation d'un site restauré au printemps aura profité d'une saison de croissance de plus que celle d'un site restauré à l'automne.

ANNEXE A

FICHES D'INFORMATION SUR DES ESPÈCES TYPIQUES DES FENS

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Calamagrostis canadensis (Michx.) P. Beauv



Photo : Gilles Ayotte

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Fin août – début septembre Dans les endroits secs, forme parfois de larges colonies.
Production	Stratification de 90 jours à 3°C
Taux de germination	Variable selon les lots

Introduction et établissement

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ; espèce à considérer pour des mélanges de graines.
Plantations	Le <i>Calamagrostis canadensis</i> réussit à s'établir lorsqu'il est introduit en plants dans des colonies de <i>Scirpus cyperinus</i> , une graminéoïde particulièrement agressive. Sa présence pourrait augmenter la diversité des scirpaies.

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Caltha palustris L.



Plante; feuilles et fleurs



Follicules fermés



Follicules ouverts (graines mures)

Photos : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	<p>Fin juin à la fin juillet, dans les fossés et les lieux humides.</p> <p>Les fleurs jaunes permettent d'identifier tôt l'emplacement des colonies.</p> <p>À maturité, les follicules s'ouvrent et les graines s'en échappent; mieux vaut visiter souvent les plants pour les récupérer à temps!</p>
Production	<p>Stratification de 90 jours à 3°C. Comme les graines sont coriaces, laisser tremper dans l'eau pendant 24 heures avant la stratification.</p>

Introduction et établissement

Semis <i>in situ</i>	<p>Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i>; pourrait être réintroduit à la volée sur les abords en pente douce des mares et les zones humides près des andains. Pourrait aussi être intégré à des mélanges de graines destinés à la revégétalisation des zones où la nappe phréatique est près de la surface du sol.</p>
----------------------	--

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Campylium stellatum (Hedw.) C.E.O. Jensen

Le *Campylium stellatum* est une espèce muscinale particulièrement abondante dans la tourbière naturelle aux abords du site restauré de Bic-Saint-Fabien.



Photo : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte du matériel	Le <i>Campylium</i> croît dans les platières humides des fens et sa récolte se fait en cueillant les segments entiers. Il forme généralement des colonies denses, où il peut être mélangé, entre autres, au <i>Scorpidium</i> sp.
Entreposage	Le <i>Campylium</i> récolté se conserve au réfrigérateur (environ 4 °C) quelques semaines dans des sacs de plastique entrouverts. Les mousses doivent être gardées en les arrosant avec de l'eau non chlorée (eau de pluie ou de fen). Il est déconseillé de les congeler (des recherches sont en cours pour étudier la réponse des mousses à la congélation).
Utilisation	Pour ensemercer le <i>Campylium</i> , séparer les fragments et épandre en mince couche sur le substrat nivelé et rafraîchi. Presser légèrement la mousse afin de s'assurer du contact entre les fragments et le substrat (avec les mains ou une planche de bois). Le <i>Campylium</i> est sensible au dessèchement; le recouvrir avec un paillis aéré permet de créer des conditions microclimatiques favorables à sa survie. Le <i>Campylium stellatum</i> est une mousse particulièrement robuste. Des études ¹ ont notamment démontré sa résistance au sel. Il s'agit d'une des bryophytes les plus intéressantes pour la réintroduction dans les fens restaurés.

Introduction et établissement

Production	Le <i>Campylium</i> a démontré des résultats positifs de culture en bassins lorsque les niveaux d'eau sont contrôlés. Cette espèce pourrait être produite en bassins pour des fins de restauration.
Transfert de la couche de surface du sol	Cette espèce est récalcitrante à l'introduction par transfert de la couche de surface du sol et s'établit difficilement lorsqu'elle est épandue à grande échelle.
Interaction avec les autres espèces	La présence de grandes cypéracées (par exemple, le <i>Carex aquatilis</i>) a un effet négatif sur l'établissement du <i>Campylium</i> . Le <i>Carex flava</i> , de plus petite taille, pourrait toutefois avoir un effet positif.

¹ Pouliot, R., Rochefort, L., Graf, M. D. 2013. Fen mosses can tolerate some saline conditions found in oil sands process water. *Environmental and Experimental Botany* 89: 44-50. [En ligne] [\[http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.01.004\]](http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.01.004)

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Carex aquatilis Wahlenb.



Photo : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Début août. Forme de larges colonies monospécifiques. Attention : le <i>Carex aquatilis</i> est souvent l'hôte de parasites qui détruisent les semences. Une vérification visuelle (chercher des graines noires ou grisâtres) permet de repérer les infructescences touchées.
Production	Les conditions testées en laboratoire (stratification de 0, 50, 75 ou 90 jours de à 3 °C) n'ont pas permis d'atteindre un taux de germination suffisant pour la production en serre (<1 %).
Viabilité	Les lots de graines récoltées dans la région de Bic–Saint-Fabien présentaient toutefois un taux de viabilité de 16 % avant la stratification.

Introduction et établissement

Introduction	Il s'agit d'une espèce récalcitrante à la technique de transfert de la couche de surface. Elle s'établit par contre très bien lorsqu'introduite à l'aide de plants produits en serre ou par transfert de plants entiers.
Établissement	Dans des conditions où la nappe phréatique est située près ou au-dessus de la surface du sol, <i>C. aquatilis</i> peut rapidement devenir envahissant.
Utilisation	L'important système racinaire du <i>C. aquatilis</i> se développe rapidement; cette espèce est particulièrement bien adaptée à des usages de stabilisation du sol. Pour une restauration dont le but premier est le retour de la fonction d'accumulation du carbone, le <i>Carex aquatilis</i> devrait être réintroduit en priorité, puisqu'il s'agit de la seule espèce qui a démontré une capacité accrue de séquestration du carbone.
Interaction avec les espèces	La grande quantité de biomasse produite annuellement restreint l'établissement des mousses sous les couverts denses de <i>C. aquatilis</i> .

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Carex disperma Dewey



Photo : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Début août. Forme des tapis lâches, souvent en compagnie d'autres espèces de <i>Carex</i> .
Production	Stratification de 90 jours à 3 °C. Le taux de germination est alors d'environ 27 %.
Viabilité	Les lots de graines récoltées dans la région de Bic–Saint-Fabien avaient un taux de viabilité de 88 % avant la stratification.

Établissement et implantation

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ; pourrait être intégré à des mélanges de graines dans une optique de biodiversité.
----------------------	---

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Carex echinata Murray



Photo : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	De la fin juillet à la fin août.
Production	Les conditions testées (stratification de 0, 50, 75 ou 90 jours à 3 °C) n'ont pas permis une germination satisfaisante ($\pm 3\%$) pour la production en serre.
Viabilité	Les lots de graines récoltées dans la région de Bic–Saint-Fabien présentaient toutefois un taux de viabilité de 96 % avant la stratification.

Établissement et implantation

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ; pourrait être intégré à des mélanges de graines dans une optique de biodiversité.
----------------------	---

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Carex flava L.



Photo : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Fin juillet à septembre. Cette espèce peut former de larges colonies monospécifiques.
Production	Stratification de 75 jours à 3 °C
Taux de germination (selon la durée de stratification)	Après 14 jours de croissance : 29 ± 6 % (stratification = 0 jour) 49 ± 3 % (stratification = 50 jours) 81 ± 3 % (stratification = 75 jours) 65 ± 4 % (stratification = 90 jours)
Détails	La germination est plus lente lorsqu'il n'y a pas de stratification ou que la période est plus courte que 90 jours, mais au final une bonne proportion des graines germent (73 % et plus après 28 jours, selon la durée de stratification). Après 28 jours de croissance, il n'y a pas de différence entre les lots de 0 et 75 jours de stratification.

Établissement et implantation

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ; cette espèce pourrait être intégrée à des mélanges de graines dans une optique de biodiversité ou encore semé à la volée dans des secteurs relativement secs.
Plantations	Cette espèce est aussi un bon choix pour la production en serre. Les plantations s'établissent avec succès dans les secteurs plus secs. Dans des conditions où la nappe phréatique se rapproche de la surface du sol, elle est toutefois sensible au soulèvement gélival.
Transfert de la couche de surface du sol	Cette espèce est récalcitrante à la technique de transfert de la couche de surface du sol.

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Carex magellanica Lam.



Plante entière



Détail des épis

Photos : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Août. Les tiges éparses sont souvent trouvées parmi d'autres espèces de <i>Carex</i> .
Production	Stratification de 90 jours à 3°C
Taux de germination (selon la durée de stratification)	0 % (stratification = 0 jour) 3 ± 2 % (stratification = 50 jours) 22 ± 4 % (stratification = 75 jours) 31 ± 3 % (stratification = 90 jours)
Taux de viabilité	Les lots de graines récoltées dans la région de Bic–Saint-Fabien avaient un taux de viabilité de 74 % avant la stratification.

Établissement et implantation

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ; cette espèce pourrait être intégrée à des mélanges de graines dans une optique de biodiversité.
Plantations	Cette espèce ne s'établit pas avec succès dans les plantations monospécifiques. Elle est particulièrement sensible au soulèvement gélival.

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Eriophorum viridicarinum
(Engelm.) Fernald



Photo : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Juillet – août. Lors de la stratification, vérifier régulièrement les sacs de graines. La présence de soies abondantes peut causer des problèmes de moisissures si le substrat est trop humide.
Production	Stratification de 50 jours à 3 °C
Taux de germination (selon la durée de stratification)	32 ± 6 % (stratification = 0 jour) 76 ± 3 % (stratification = 50 jours) 27 ± 5 % (stratification = 75 jours) 22 ± 9 % (stratification = 90 jours)

Introduction et établissement

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ; pourrait être intégré à des mélanges de graines dans une optique de biodiversité.
Plantations	Cette espèce s'établit avec succès en plantations monospécifiques.

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Scirpus cyperinus (L.) Kunth



Touradon



Détail des infructescences

Photos : Julie Lajoie

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Septembre – octobre
Production	Stratification de 75 ou 90 jours à 3 °C (pas de différence significative entre les deux durées)
Taux de germination (selon la durée de stratification)	0 % (stratification = 0 jour) 29 ± 7 % (stratification = 50 jours) 41 ± 9 % (stratification = 75 jours) 55 ± 6 % (stratification = 90 jours)

Introduction et établissement

Utilisation	<p>Le <i>Scirpus cyperinus</i> est une espèce normalement trouvée en proportions modérées dans les fens naturels. Elle colonise aussi largement la tourbe minérotrophe résiduelle des tourbières abandonnées après exploitation.</p> <p>Sa présence peut être problématique lorsqu'elle forme de larges colonies monospécifiques limitant la biodiversité. C'est une espèce particulièrement productive qui forme une canopée et une masse racinaire empêchant l'implantation d'autres espèces.</p> <p>Elle peut toutefois constituer un habitat faunique de qualité pour certaines espèces d'oiseaux et de petits mammifères.</p> <p>Dans un contexte de restauration, la biomasse produite et son faible taux de décomposition contribuent à l'accumulation rapide de tourbe². Sa capacité d'établissement rapide pourrait être mise à profit pour la revégétalisation rapide de secteurs à risque d'érosion ou d'envahissement par des espèces indésirables.</p>
-------------	--

² Graf, M. D., Rochefort, L. 2009. Examining the peat-accumulating potential of fen vegetation in the context of fen restoration of harvested peatlands. *Écoscience*, 16 (2): 158-166. [En ligne] [www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrecherche/Graf_Rochefort_Ecoscience_2009_02.pdf].

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Trichophorum alpinum (L.) Pers.



Plante entière avec inflorescences



Détail des inflorescences avec graines matures

Photos : Maryse Gendron & M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Mi-juillet à mi-août
Production	Stratification de 90 jours à 3 °C
Taux de germination (selon la durée de stratification)	0 % (stratification = 0 jour) 4 ± 2 % (stratification = 50 jours) 21 ± 5 % (stratification = 75 jours) 38 ± 5 % (stratification = 90 jours)

Informations sur l'établissement/implantation

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ;; pourrait être intégré à des mélanges de graines dans une optique de biodiversité.
Plantations	Cette espèce s'établit avec succès en plantations monospécifiques à l'aide de plants produits en serre, peu importe les conditions d'humidité du sol.
Transfert de la couche de surface du sol	<i>T. alpinum</i> figure parmi les espèces favorisées par la méthode de transfert de la couche de surface du sol. Dans ce cas, la fertilisation phosphatée (250 kg/ha) a des effets positifs sur l'établissement de l'espèce.

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Trichophorum cespitosum
(L.) Hartm.



Photo : Maryse Gendron

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Fin juillet – août.
Production	Les conditions testées en laboratoire (0, 50, 75 ou 90 jours de stratification à 3 °C) n'ont pas permis de faire germer cette espèce.
Viabilité	Les lots de graines récoltées dans la région de Bic–Saint-Fabien présentaient toutefois un taux de viabilité de 38 % avant la stratification.

Introduction et établissement

Semis <i>in situ</i>	Les essais de semis <i>in situ</i> n'ont pas permis la germination de cette espèce.
Plantations	Cette espèce s'établit avec succès en plantations monospécifiques à l'aide de plants produits en serre lorsqu'elle est introduite dans des conditions sèches. À l'inverse, elle ne se maintient pas dans les secteurs où la nappe phréatique est près de la surface du sol.

Fiche d'information sur les espèces typiques des fens

Triglochin palustris L.



Plante entière avec graines matures

Détail des graines matures

Photos : M.-C. LeBlanc

Informations sur la propagation

Récolte des graines	Septembre – octobre.
Production	Stratification de 90 jours à 3°C
Taux de germination (selon la durée de stratification)	62 ± 3 % (stratification = 0 jour) 73 ± 5 % (stratification = 50 jours) 73 ± 6 % (stratification = 75 jours) 87 ± 1 % (stratification = 90 jours)
Viabilité	Les lots de graines récoltées dans la région de Bic–Saint-Fabien présentaient un taux de viabilité de 62 % avant la stratification.

Introduction et établissement

Semis <i>in situ</i>	Bons résultats de germination lorsque semés à la volée <i>in situ</i> ; pourrait être intégré à des mélanges de graines dans une optique de biodiversité. Une expérience cherche présentement à connaître l'effet de cette espèce sur la stabilisation du sol et le soulèvement gélival.
Plantations	Cette espèce s'établit avec succès en plantations monospécifiques à l'aide de plants produits en serre, peu importe les conditions d'humidité du sol.
Transfert de la couche de surface du sol	<i>T. palustris</i> figure parmi les espèces favorisées par la méthode de transfert de la couche de surface du sol. Dans ce cas, la fertilisation phosphatée (250 kg/ha) a des effets positifs sur l'établissement de l'espèce.

ANNEXE B

FEUILLES D'INVENTAIRE DE LA VÉGÉTATION ET ÉCHELLE VON POST

Site : _____

Coordonnées GPS

Parcelle _____

Représentativité: oui non

Lat: _____

Date _____

Observateur(s) _____

Long: _____

**Recouvrement
(par classe)**

**Hauteur
moyenne
(cm)**

0 = 0	3 = 26 - 50%
+ = <1%	4 = 51 - 75%
1 = 1 - 10%	5 = 76 - 100%
2 = 11 - 25%	

Recouvrement vasculaires (%) - espèces
Pour les spécimens récoltés, noter R suivi du no de récolte

*Strate A: si Hauteur A > 1m: estimés dans PP (5x5m; 1 mesure);
sinon estimé dans 4 quadrats (1x1m) (4 mesures)*

TOTAL	_____	_____	_____	_____
Vasculaire Total	_____	_____	_____	_____

**Arbustes/arbres
(A)** _____

(A) _____

Ericacées (E) _____

Herbacées (H) _____

Muscinal (M) _____

TOTAL (T) _____

(E) _____

Tourbe + litière _____

Substrat perturbé _____

Paille _____

Photos

Commentaires

(H)

Échelle ordinaire von Post utilisée pour évaluer le degré de décomposition de la tourbe (tiré de Payette et Rochefort, 2001)

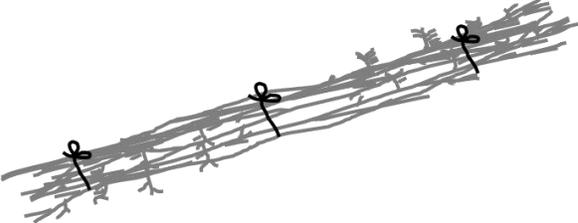
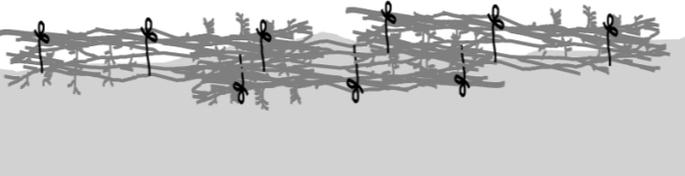
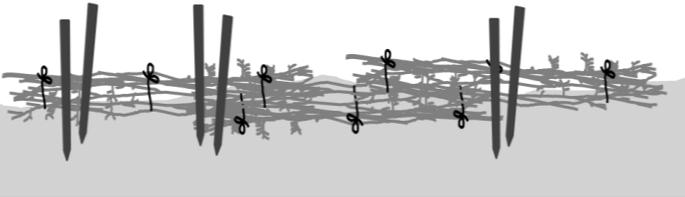
Classe	Indice	Description
FIBIQUE	H1	Tourbe non décomposée qui, lorsqu'on la presse dans la main, libère une eau presque limpide. Les résidus de plantes sont facilement identifiables. Ne contient aucun matériel amorphe.
	H2	Tourbe qui n'est pratiquement pas décomposée et qui, lorsqu'on la presse dans la main, libère une eau très peu colorée (brun-jaune). Les résidus de plantes sont encore facilement identifiables. Ne contient aucun matériel amorphe.
	H3	Tourbe très peu décomposée qui, lorsqu'on la presse dans la main, libère une eau trouble de couleur brun pâle. Aucun matériel ne s'échappe entre les doigts. Les résidus de plantes sont encore identifiables. Ne contient aucun matériel amorphe.
MÉSIQUE	H4	Tourbe peu décomposée qui, lorsqu'on la presse entre les mains, libère une eau trouble de couleur brun foncé. Quelques particules de matériel passent entre les doigts, et le matériel pressé qui reste dans la main est légèrement collant. Les résidus de plantes sont encore identifiables, quoique certains critères d'identification aient disparu.
	H5	Tourbe décomposée qui, lorsqu'on la presse dans la main, laisse échapper une eau très trouble chargée de particules organiques. Le matériel pressé qui reste dans la main est collant. La structure des résidus de plantes est assez distincte.
	H6	Tourbe plutôt décomposée dont il est difficile de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, environ le tiers du matériel s'échappe entre les doigts. Il y a très peu d'eau libre, laquelle est boueuse. Ce qui reste dans la main est assez collant, mais l'identification des constituants se fait plus facilement qu'avant le pressage.
HUMIQUE	H7	Tourbe décomposée dont il est difficile de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, environ la moitié du matériel passe entre les doigts. L'eau, S'il y en a, est très boueuse.
	H8	Tourbe très décomposée dont il est fort difficile de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, environ les deux tiers du matériel passent entre les doigts. Ce qui reste dans la main est principalement constitué de racines et de fibres qui résistent à la décomposition.
	H9	Tourbe presque entièrement décomposée dont il n'est presque plus possible de reconnaître la structure des constituants. Lorsqu'on la presse dans la main, presque tout le matériel s'échappe entre les doigts sous forme de boue.
	H10	Tourbe complètement décomposée dont la structure des constituants est indiscernable. Lorsqu'on la presse dans la main, tout le matériel s'échappe entre les doigts.

ANNEXE C

PROTOCOLE DE FABRICATION DES FAGOTS POUR LE CONTRÔLE DE L'ÉROSION

Protocole de fabrication de fagots pour le contrôle de l'érosion

Les fagots sont des cylindres de branches nouées permettant de stabiliser le sol tout en réintroduisant des espèces typiques dans les tourbières. Ils peuvent être fabriqués en utilisant des végétaux en provenance du site à restaurer, en suivant la méthode suivante :

<p>Des tiges d'un maximum de 3 cm de diamètre sont prélevées sur des arbres ou des arbustes choisis pour la fabrication des fagots, alors que les végétaux sont en dormance (printemps ou automne).</p> <p>Les branches (et éventuellement les fagots) non utilisées doivent être entreposés dans un endroit à l'abri du soleil et du vent et arrosés régulièrement pour éviter la dessiccation.</p> <p>Le <i>Spirea latifolia</i> et le <i>Salix</i> sp. ont démontré des résultats particulièrement intéressants.</p>	
<p>Plusieurs branches sont placées en alternant les extrémités (« feuilles » et « tige »), puis nouées à l'aide d'une corde naturelle (sisal ou autre) de façon à former des boudins compacts. Les fagots ne devraient pas dépasser 25 cm de diamètre et 2 m de longueur.</p>	
<p>Plusieurs fagots peuvent être fabriqués et entrelacés pour couvrir toute la zone voulue. On s'assure alors qu'il y ait un chevauchement des fagots pour éviter les brèches.</p> <p>Les fagots sont installés dans une tranchée d'une quinzaine de centimètres de profondeur.</p>	
<p>Ils sont ensuite fixés à l'aide de pieux de bois et de corde au besoin, pour les stabiliser.</p>	
<p>Avec le temps, les fagots prendront racine, capteront du matériel et stabiliseront le substrat.</p>	