



Rapport 2 : Le suivi des communautés végétales en tourbière : revue de littérature

Élaboration d'un programme de suivi de l'intégrité écologique des tourbières de la réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan



Pour Parcs Canada,

Réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan (RPNCAM)

Jacinthe Letendre
Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET)
Université Laval

Février 2007

AVANT-PROPOS

Ce rapport constitue le second rapport d'une série de trois, commandée auprès du Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) de l'Université Laval. Cette série de rapports a pour objectif l'élaboration d'un programme de suivi de l'Intégrité écologique (IÉ) des communautés végétales des tourbières de la Réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan (RPNCAM).

Les tourbières de la RPNCAM ont fait l'objet de multiples études de consultants depuis le début des années 1980. Le résumé des connaissances sur les tourbières de la RPNCAM a été présenté dans le Rapport 1. Le présent rapport poursuit le processus d'élaboration d'un programme de suivi pour les tourbières de la réserve de parc en effectuant une revue de littérature sur les méthodes qui existent au sujet du suivi de la végétation des tourbières. Ce rapport a pour objectif de guider les autorités de la RPNCAM dans la sélection d'une approche méthodologique adaptée à leurs besoins. Le troisième et dernier rapport de cette série développera le programme de suivi proposé pour les tourbières de la RPNCAM.

Jacinthe Letendre
M. Sc., Biologie végétale (postulante), rédaction
Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET)
Centre d'études nordiques (CEN)
Étudiante, Université Laval

Line Rochefort
Biologiste - écologie des tourbières, Ph.D., révision
Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET)
Centre d'études nordiques (CEN)
International Mire Conservation Group
Professeure titulaire, Université Laval

Claire Boismenu
M. Sc. Biologie, révision linguistique
Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET)
Centre d'études nordiques (CEN)
Professionnelle de recherche, Université Laval

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	6
CHAPITRE 1 : Actualité du suivi dans les tourbières	9
1.1 Au niveau local et régional	9
1.2 Au niveau provincial.....	9
1.3 À l'échelle internationale, dans les universités.....	16
CHAPITRE 2 : Survol des approches pour mesurer la végétation des tourbières, d'intérêt dans un contexte de suivi	21
2.1 Le suivi des espèces	21
2.2 Le suivi des communautés végétales	25
2.3 Mesures de paléoécologie	29
2.4 Conclusion : quelles méthodes choisir?	30
CHAPITRE 3 : Études de cas	32
3.1 Programme d'évaluation de l'Intégrité écologique de la tourbière de Burns Bog, Colombie-Britannique, Canada.....	33
3.2 Le programme de suivi Environmental Change Network du Royaume-Uni intégrant le site de tourbière de Moor-House – Upper Teesdale	38
3.3 Le programme de suivi des tourbières en Suisse	42
3.4 Mesures de suivi de la végétation des tourbières abandonnées au Québec et au Nouveau-Brunswick	46
3.5 Programme de suivi des tourbières restaurées de l'Est du Canada.....	51
3.6 Programme de suivi des tourbières restaurées au Royaume-Uni.....	54
CHAPITRE 4 : Les protocoles et installations déjà proposés dans le passé pour le suivi de la végétation dans la RPNCAM.....	59
4.1 Les consultants SOGEAM inc.	59
4.2 Del Degan, Massé & Associés Inc.	62
CHAPITRE 5 : Commentaires sur le modèle conceptuel des milieux humides d'eau douce de la RPNCAM.....	65
5.1 Modèle conceptuel soumis par l'équipe de la RPNCAM.....	65
5.2 Explication du modèle proposé par le GRET	68
CONCLUSION : Discussion sur les possibilités pour le suivi de la biodiversité, des processus naturels et des stress	77
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	79

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

TABLEAU 1 : LISTE DES RÉSERVES ÉCOLOGIQUES DU QUÉBEC RENFERMANT DES TOURBIÈRES.	11
TABLEAU 2 : ACTUALITÉ DES MESURES EFFECTUÉES DANS LES TOURBIÈRES DES PARCS NATIONAUX DU QUÉBEC	13
TABLEAU 3 : CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DE L'ÉCOSYSTÈME, SOUS-CATÉGORIES ET MESURES ÉCOLOGIQUES ASSOCIÉES POUR DÉTERMINER L'INTÉGRITÉ ÉCOLOGIQUE DE LA TOURBIÈRE BURNS BOG SELON <i>EBA ENGINEERING CONSULTANTS LTD.</i>	36
TABLEAU 4 : SOMMAIRE DES MÉTHODES DE MESURE DE LA VÉGÉTATION PRÉSENTÉES AU CHAPITRE 2 ET EMPLOYÉES DANS LES ÉTUDES DE CAS.	58
FIGURE 1 : MODÈLE CONCEPTUEL DES MILIEUX HUMIDES D'EAU DOUCE (TOURBIÈRES) SOU MIS PAR L'ÉQUIPE DE LA RÉSERVE DE PARC	66
FIGURE 2 : MODÈLE CONCEPTUEL DES MILIEUX HUMIDES D'EAU DOUCE (TOURBIÈRES) RÉVISÉ PAR LE GRET	67

INTRODUCTION

Selon la définition retenue pour le présent rapport, le suivi consiste à la collection et l'analyse de données de façon répétée dans le temps afin d'évaluer les changements dans les conditions de la végétation, et ce, dans le but de pouvoir répondre à des objectifs de gestion et de prise de décision (Elzinga *et al.*, 2001). Le terme de « suivi » se rencontre fréquemment dans la littérature scientifique en référence à des activités s'apparentant au suivi mais qui ne répondent pas à la définition ci-dessus. Par exemple, les inventaires de végétation et l'évaluation, ponctuels, de la condition d'un écosystème ne sont pas des mesures de suivi, en ce sens qu'ils ne se répètent pas dans le temps. Également, les mesures de changement dans la végétation effectuées pendant une certaine période de temps sans la précision préalable de seuils attendus et prédéterminés ne représentent pas un réel suivi de la végétation au sens de la définition ci-haut. Cette dernière activité peut être définie par le terme de « surveillance » (Elzinga *et al.*, 2001). Afin d'obtenir le plus d'exemples de méthodologies possibles, nous avons effectué une revue de littérature portant sur les travaux de suivi et de surveillance à long terme en tourbière. Cette revue de littérature couvre l'Amérique du Nord et le Nord de l'Europe, c'est-à-dire les régions présentant des tourbières similaires à celles qui se trouvent dans réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan (RPNCAM).

Les études impliquant des mesures sur le terrain à long terme sont peu représentées dans la littérature scientifique en écologie. Par exemple, lors d'une revue d'articles parus dans la publication *Ecology* entre 1977 et 1987, moins de 2 % d'entre eux comportaient un échantillonnage de terrain mené pendant cinq ans ou plus (Tilman, 1989). Pour les tourbières, les études portant sur l'évolution de la végétation à long terme et impliquant un échantillonnage de terrain sont d'autant plus rares que la période requise d'observations doit être longue. En effet, les dynamiques de la végétation sont plus lentes en tourbière que pour plusieurs écosystèmes, ce qui fait en sorte qu'elles font rarement l'objet de suivi, notamment en ce qui concerne les tourbières ombrotrophes dominées par le genre *Sphagnum* (Bérubé et Lavoie, 2000; Pellerin et Lavoie, 2003). Néanmoins, certains travaux récents effectuant des relevés de végétation sur des tourbières

anciennement étudiées nous indiquent qu'il est parfois possible d'observer des changements à une échelle plus rapide que celle qui est attendue. Ainsi, sur une période de 50 ans, des chercheurs ont noté pour une tourbière non perturbée de Suède une diminution de la richesse des espèces dans les secteurs minérotrophes riches alors que les secteurs plus acides demeuraient plus stables; changements interprétés par des processus d'acidification autogènes potentiellement amplifiés par la pollution atmosphérique (Gunnarsson *et al.*, 2000). Néanmoins, la démonstration de changements rapides dans la végétation de tourbière demeure peu commune.

En conséquence, nous avons trouvé très peu de publications scientifiques incluant un échantillonnage de la végétation à long terme pour les tourbières. Donc, en plus d'investiguer les bases de données de publications scientifiques, nous avons interrogé plusieurs chercheurs d'envergure internationale en écologie des tourbières et étendu nos recherches aux organismes et agences gouvernementales responsables de la conservation de tourbières afin d'avoir accès à diverses ressources, tels les rapports techniques.

Pour le présent rapport, afin de pouvoir accompagner les autorités de la RPNCAM dans leur choix de mesures de suivi à mettre en place dans les tourbières de la réserve de parc, nous avons opté pour la présentation des informations suivantes. Le chapitre 1 présente les résultats de nos investigations sur l'existence de mesures de suivi en tourbière actuellement en cours aux niveaux local et régional (Conseils Régionaux de l'Environnement), provincial (parcs nationaux du Québec et réserves écologiques) et international (chercheurs dans les universités). Le chapitre 2 propose de façon théorique les approches de mesures de la végétation applicables pour la végétation de tourbière et qui sont pertinentes dans un contexte de suivi. Le chapitre 3 présente des études de cas de programmes de suivi orientés sur la végétation, déjà mis en place ou qui sont au stade de proposition, pour des tourbières naturelles ou perturbées. Ces programmes proviennent d'organismes de conservation ayant fait appel à des chercheurs, d'agences gouvernementales ou de groupes de recherches universitaires. Le chapitre 4 aborde les programmes de suivi des écosystèmes terrestres anciennement proposés pour la RPNCAM. Finalement, le chapitre 5 inclut nos commentaires et modifications au modèle

conceptuel des milieux humides d'eau douce (tourbières). La pertinence des mesures les plus courantes dans les programmes présentés pour le suivi de la biodiversité, des processus naturels et des stress dans les tourbières sera évaluée en conclusion à la lumière de la description de l'écosystème effectuée lors de l'élaboration du modèle conceptuel.

CHAPITRE 1 :

Actualité du suivi dans les tourbières

1.1 Au niveau local et régional

En sollicitant d'abord les 16 Conseils Régionaux de l'Environnement (CRE) du Québec, puis les diverses ressources vers lesquelles ils nous ont référé, nous avons été mis au fait d'une seule initiative locale d'échantillonnage dans les tourbières.

Le Comité de bassin de la rivière Fouquette nous a fait parvenir un rapport produit par la Direction de l'aménagement de la faune de la région du Bas-Saint-Laurent. Ce rapport présente les résultats d'un inventaire des amphibiens, reptiles et micromammifères présents dans trois tourbières naturelles et perturbées localisées dans le bassin versant de la rivière Fouquette (Cerruti, 2004). Toutefois, il ne présente pas de mise en place d'un réseau de suivi mais bien seulement un inventaire de la faune.

Personne ressource :

François Gagnon
Coordonnateur
Comité de bassin de la rivière Fouquette
eperlan@fouquette.qc.ca

1.2 Au niveau provincial

Afin d'augmenter nos chances de découvrir des tourbières demeurant dans un état non perturbé et dont un certain intérêt pour leur conservation aurait été manifesté, nous nous sommes intéressés aux tourbières du Québec présentes sur des terres publiques et soumises à une protection légale. Au Québec, la protection des tourbières est assujettie essentiellement à trois lois, soit : la *Loi sur les réserves écologiques* (L.R.Q., 1997, chap. R-26.1), la *Loi sur les parcs nationaux* (L.C., 1988, chap. N-14) et la *Loi sur les parcs*

(L.R.Q, 1995, chap.P-9; Poulin et Pellerin, 2001). Nous nous sommes donc adressé directement aux responsables des réserves écologiques et des parcs provinciaux.

Au Québec, 19 réserves écologiques (Tableau 1) possèdent des tourbières notables sur leur territoire (Poulin *et al.*, 2004) et 6 d'entre elles ont été créées spécifiquement dans une optique de conservation de tourbières (Poulin et Pellerin, 2001). D'ailleurs, les tourbières d'une des réserves possèdent vraisemblablement des caractéristiques très similaires aux tourbières de la RPNCAM. En effet, la réserve écologique de Point-Heath sur l'île d'Anticosti a été créée afin de protéger des falaises et des tourbières caractéristiques d'un environnement marin et d'un substrat calcaire de la région de l'Anticosti-Minganie et des Îles-de-la-Madeleine (MDDEP, 16/11/2006). Nous sommes entrés en communication avec M. Réal Carpentier, du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, afin d'obtenir de l'information sur l'existence de prises de mesures dans les tourbières des réserves écologiques du Québec. Il nous a affirmé qu'aucune installation sur les sites, aucun suivi, ni aucun programme permettant leur mise en place sous la responsabilité du gouvernement n'existait pour les tourbières des réserves écologiques. Certains chercheurs y travaillent néanmoins à la suite de l'obtention de permissions et les résultats de leur travaux sont disponibles pour la majorité des cas dans le réseau des publications scientifiques.

Personne ressource :

Réal Carpentier

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
Chef

Division des réserves écologiques et de la conservation volontaire

Direction du patrimoine écologique et des parcs

Téléphone : (418) 521-3907, poste 4764

Télécopieur : (418) 646-6169

real.carpentier@mddep.gouv.qc.ca

Tableau 1 : Liste des réserves écologiques du Québec renfermant des tourbières.
Source : Poulin et al. (2004).

Réserve écologique	Création	Localisation (source : DDEP, 16/11/2006)	Superficie des tourbières (ha)
Pin-Rigide (du)	1977	Saint-Antoine-Abbé	17
Tantaré (de)	1978	MRC de La Jacques-Cartier	2
Pointe-Heath (de la) *	1978	Île d'Anticosti	1859
Lac-Malakisis (du)	1978	MRC de Témiscamingue	65
Thomas-Sterry-Hunt *	1988	MRC Montmagny	53
Thomas-Fortin	1990	MRC Charlevoix	2
Louis-Babel	1991	MRC Manicouagan	1177
Irène Fournier	1991	monts Berry	15
Bog-à-Lanières (du) *	1992	MRC Haut-Saint-Maurice	430
Lac-à-la-Tortue (de) *	1992	MRC Centre-de-la-Mauricie	566
William-Baldwin *	1992	MRC Abitibi	293
Dunes-de-la-moraine-d'Harricana (des)	1994	MRC Rouyn-Noranda	291
Grands-Ormes (des)	1994	MRC Charlevoix-Est	5
Tourbières-de-Lanoraie (des) *	1994	MRC d'Autray	415
Matamec (de la)	1994	MRC Sept-Rivières	1488
Grand-Lac-Salé (du)	1996	Île d'Anticosti	809
Léon-Provencher	1999	MRC Bécancour	165
Rivière-aux-Brochets (de la)	1999	Montérégie	125
Chicobi	2002	Abitibi	450

* : Réserves créées spécifiquement pour la protection d'écosystèmes tourbeux à l'état naturel
(Poulin et Pellerin, 2001)

Au Québec, plusieurs parcs provinciaux renferment également des tourbières (Poulin *et al.*, 2004). Les parcs provinciaux travaillent actuellement à implanter un programme de suivi de l'intégrité écologique (PSIE) qui les incite à mettre en place diverses mesures. Nous avons contacté par téléphone ou par courriel tous les parcs nationaux du Québec pour connaître l'existence de mesures dans les tourbières. Les personnes ressources et les résultats de ces communications sont présentés dans le Tableau 2. Le parc de Miguasha a été exclu de cet inventaire.

Résumé des communications :

Nous avons noté toutes les interventions ou mesures effectuées dans les tourbières des parcs nationaux du Québec dont nous ont fait mention leurs responsables dans le Tableau 2. Plusieurs parcs provinciaux ont effectué ou effectuent aujourd'hui des inventaires ponctuels de la végétation présente dans leur(s) tourbière(s). Nous ne considérons pas cet exercice comme un suivi. La mesure de suivi la plus communément répandue dans les tourbières des parcs est la mesure de la profondeur de la nappe phréatique par rapport à la surface (suivi de l'état de la nappe phréatique).

Tableau 2 : Actualité des mesures effectuées dans les tourbières des parcs nationaux du Québec

Parc	Présence de tourbière(s)	Mesures effectuées	Personne ressource et contact préférentiel
Frontenac (de)	1 tourbière mixte (111 ha)*	(1) suivi de la nappe phréatique , à raison d'une fois par semaine pour 13 semaines; (2) suivi phénologique (floraison) d'environ 15 espèces pour des fins de diffusion (visites); (3) suivi d' abondance de 4 espèces d'orchidée à raison de chaque semaine la 1ere année et aux 2 semaines les années subséquentes.	René Charest Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. charest.rene@sepaq.com
Grands-Jardins (des)	plusieurs tourbières (>130 ha)* dont : T. du mont du Lac-des-Cygnés et T. du lac Malbaie	(1) La tourbière du mont du Lac-des-Cygnés: possède la palse la plus septentrionale du Québec- l'Université Laval y a installé une station météorologique (météo atmosphérique et mesures dans le sol) ; le parc ne fait pas de mesures supplémentaires; (2) La tourbière du lac Malbaie: Protocole établi pour tenter le suivi de la <i>Drosera linearis</i> ; cette espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable a été identifiée dans le plan directeur du parc en 1981 ; depuis 2 ans à raison de 2 jours et 4 personnes par année, les autorités du parc tentent de retracer cette espèce.	Sandra Garneau Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. (418) 439-1228
Pointe-Taillon (de la)	plusieurs tourbières (3 780 ha)*	pas de suivi (intérêt au développement prochain de mesures de suivi)	Dominique Crépin Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. crepin.dominique@sepaq.com
Anticosti (d')	plusieurs tourbières (20 000 ha)*	(1) suivi de l'état de la nappe phréatique	Éric Savard Responsable des opérations savard.eric@sepaq.com
Mont-Tremblant (du)	plusieurs tourbières (750 ha; surtout minérotrophes)*	(1) étude produite lors de l'aménagement d'un sentier ne donnant lieu à aucune identification d'espèce rare; (2) aucun suivi.	Véronique Vermette Resp. de la Conservation par intérim vermette.veronique@sepaq.com

* : Sources : Poulin et al. (2004)

Parc	Présence de tourbière(s)	Mesures effectuées	Personne ressource et contact préférentiel
Mont-Saint-Bruno (du)	1 tourbière minérotrophe (2 ha)*	(1) dernier inventaire de la végétation remonte à 1980; (2) éradication du roseau commun à raison de 3 fois par an depuis 3 ans.	Donald Rodrigue Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. rodrigue.donald@sepaq.com
Jacques-Cartier (de la)	1 tourbière: T. du Lac Barrette	(1) plusieurs inventaires de la végétation y ont été effectués notamment par des chercheurs de l'Université Laval; (2) suivi de l'état de la nappe phréatique .	Lise Genoît Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. (418) 528-8787
Aiguebelle (d')	1 tourbière	(1) suivi de l'état de la nappe phréatique	Suzanne Trudel Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. trudel.suzanne@sepaq.com
Bic (du)	1 tourbière	(1) tourbière très petite sans intérêt évident au niveau de la botanique (Claude Lavoie, U. Laval, comm. pers. 2006)	Marlène Dionne Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. dionne.marlene@sepaq.com
Gaspésie (de la)	plusieurs sites étant potentiellement des tourbières	pas de suivi spécifique aux tourbières	Claude Isabel Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. (418) 763-7494
Île-Bonaventure-et-du-Roché-Percé (de)	pas de tourbière	n/d	Roger St-Arnaud Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. (418) 782-2240
Îles-de-Boucherville (des)	pas de tourbière	n/d	Danielle Chatillon Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. chatillon.danielle@sepaq.com

* : Sources : Poulin et al. (2004)

Parc	Présence de tourbière(s)	Mesures effectuées	Personne ressource et contact préférentiel
Mont-Mégantic (du)	pas de tourbière	n/d	Patrick Graillon Resp. de la Conservation graillon.patrick@sepaq.com
Mont-Orford (du)	1 tourbière minérotrophe	pas de suivi	Claudia Lascelles Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. lascelles.claudia@sepaq.com
Monts-Valin (des)	1 tourbière ombrotrophe	(1) inventaire de la végétation en cours; la liste des espèces n'est pas encore complète; (2) prévision d'un suivi de la nappe phréatique.	Claude Pelletier Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. (418) 674-1200
Oka (d')	pas de tourbière	n/d	Mathieu Lemay Technicien en milieu naturel lemay.mathieu@sepaq.com
Plaisance (de)	pas de tourbière	n/d	Jean-François Houle Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. houle.jeanfrancois@sepaq.com
Saguenay (du) et Saguenay-Saint-Laurent	n/d	n/d	n/d
Hautes-Gorges-de-la-Rivière-Malbaie (des)	pas de tourbière d'importance	n/d	Miriane Tremblay Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. tremblay.miriane@sepaq.com
Yamaska (de la)	pas de tourbière	n/d	Alain Mochon Resp. du Service de la Conser. et de l'Éduc. (450) 776-7183

1.3 À l'échelle internationale, dans les universités

Nous avons interrogé différents chercheurs universitaires spécialisés en écologie des tourbières de l'Amérique du Nord et de l'Europe sur l'existence:

- (1) de travaux de suivi des communautés végétales en tourbière;
- (2) d'installations permanentes servant à évaluer la végétation sur des tourbières ou d'installations qui sont restées en place pendant plusieurs années et qui ont mené à des publications.

Voici la liste des chercheurs pour lesquels nous avons obtenu une réponse pertinente :

Jill L. Bubier

Environmental Studies Program

Department of Earth and Environment, Mount Holyoke College, USA

Clapp Laboratory

Marjorie Fisher Associate Professor of Environmental Studies

jbubier@mtholyoke.edu

Patrick Faubert

Department of Ecology and Environmental Science, University of Kuopio, Finland

Researcher

ekolog@uku.fi

Louise Fillion

Directrice

Département de géographie, Université Laval

Professeure titulaire

louise.fillion@cen.ulaval.ca

Raimo Heikkilä

Kainuu Regional Environment Center

Research Center of Friendship Park, Finland

Researcher

raimo.heikkila@saunalahti.fi

Edgar Karofeld

Institute of Ecology, Tallinn Pedagogical University, Estonia

Researcher

edgar.karofeld@ut.ee

Leila Korpela

The Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Unit, Finland
Researcher
www.metla.fi/index-en.html
leila.korpela@metla.fi

Claude Lavoie

Centre de recherche en aménagement et développement
Département d'aménagement, Université Laval
Professeur titulaire
claude.lavoie@ame.ulaval.ca

Tim Moore

Department of Geography, McGill University
Professor
tim.moore@mcgill.ca

Serge Payette

Conservateur, Herbarium Louis-Marie
Chaire de recherche nordique en écologie des perturbations
Département de Biologie, Université Laval
Professeur titulaire
serge.payette@bio.ulaval.ca

Stéphanie Pellerin

Institut de recherche en biologie végétale
Jardin botanique de Montréal
stephanie.pellerin.1@umontreal.ca

Monique Poulin

Groupe de recherche en écologie des tourbières
Département de phytologie, Université Laval
Professeure adjointe
monique.poulin@plg.ulaval.ca

Line Rochefort

Titulaire de la Chaire de recherche industrielle en aménagement des tourbières
Groupe de recherche en écologie des tourbières
Département de phytologie, Université Laval
Professeure titulaire
line.rochefort@fsaa.ulaval.ca

Résumé des communications:

Les informations fournies par les chercheurs ont confirmé qu'il existe peu de suivi à long terme sur la végétation des tourbières, autant en Amérique du Nord que dans le Nord de l'Europe. Trois sites de tourbières ont fait l'objet de mention par différents chercheurs, soit la tourbière de Lakkasuo en Finlande, la tourbière de Burns Bog en Colombie-Britannique et la tourbière de la Mer Bleue en Ontario. Certains chercheurs ont également fait mention de l'intérêt prononcé pour le suivi des écosystèmes en Angleterre et en Écosse sans spécifier de sites particuliers. M. Claude Lavoie nous a fait mention d'installations dont il était le responsable permettant de faire le suivi de la végétation dans des tourbières abandonnées à la suite de l'exploitation de la tourbe. Mesdames Line Rochefort et Monique Poulin nous ont fait part d'installations permanentes mises en place dans des tourbières abandonnées après récolte de la tourbe et dans des tourbières en restauration végétale pour lesquelles le suivi est dirigé par le Groupe de recherche en écologie des tourbières.

À la suite de nos investigations sur les sites recommandés par les différents chercheurs, nous avons découvert l'existence d'un programme de suivi au stade de proposition ou en application pour la tourbière de Burns Bog, pour la tourbière de Moor-House – Upper Teesdale en Angleterre de même que des programmes de suivi généraux pour les tourbières de la Suisse, les tourbières abandonnées du Québec et du Nouveau-Brunswick et les tourbières restaurées de l'Est du Canada et du Royaume-Uni. Ces programmes constituent les études de cas présentées au chapitre 3. Ils sont orientés sur les communautés végétales. Lorsqu'ils incluent d'autres types de mesures, telles les mesures de facteurs abiotiques ou de d'autres organismes vivants, nous en faisons mention sans décrire en détail la méthodologie d'échantillonnage.

En ce qui a trait aux sites de Lakkasuo et de la Mer Bleue mentionnés par les chercheurs, ils ne seront pas présentés dans ce rapport. Aucun suivi de la végétation à long terme n'est effectué à la tourbière de la Mer Bleue (J. Bubier, Mount Holyoke College, comm. pers., 2006). Les seules installations permanentes de mesures de la végétation

actuellement présentes sur le site sont celles faisant partie d'une expérience sur les dépositions azotées débutée en 2002 et dont les résultats sont en soumission pour publication. En général, le contrôle des conditions environnementales et l'application de traitements dans les études expérimentales rapportés dans la littérature scientifiques les rendent peu pertinentes à titre d'exemples méthodologiques pour les autorités de la RPNCAM. Par exemple, l'étude sur l'effet des dépositions azotées effectuée à la tourbière de la Mer Bleue simule ce stress par un traitement d'application de solutions fertilisantes dans des parcelles (J. Bubier, Mount Holyoke College, comm. pers., 2006). En ce qui concerne la tourbière de Lakkasuo, bien qu'elle soit souvent incluse dans les publications scientifiques, très peu de résultats sont disponibles sur le suivi des communautés types de tourbière. Vingt-quatre unités de mesure de la végétation y sont présentes depuis des décennies le long d'un trajet d'excursion inauguré au cours des années 1961 à 1963 par le *Department of Peatland Forestry* de l'Université d'Helsinki (Laine *et al.*, 2004). Toutefois, les étudiants y effectuent couramment des mesures de la végétation dans un contexte académique sans que ces résultats ne soient compilés par les chercheurs (E.-S. Tuitilla, U. of Helsinki, comm. pers., 2006). Des secteurs de la tourbière et certains situés à proximité qui ont subi un drainage sont également les hôtes de plusieurs douzaines d'unité de mesure de la végétation mises en place dans les années 1950 à 1960 (Laine *et al.*, 2004). Ces secteurs sont toutefois majoritairement arborescents maintenant et les méthodes de mesure qui y sont utilisées sont davantage propres au domaine forestier.

Le peu de littérature disponible pour le suivi des tourbières repose en partie sur le fait que ce sujet est peu propice aux publications scientifiques, ce qui nous a été confirmé par les chercheurs. La littérature portant sur le suivi des communautés végétales est constituée en grande partie de rapports techniques internes de groupes universitaires ou d'agences/organismes gouvernementaux ou de protection des écosystèmes. D'ailleurs, une importante part des informations obtenues sur les programmes et qui sont incluses dans le présent rapport provient de ce type de littérature. Toutefois, cette situation restreint la disponibilité des informations sur le suivi des communautés végétales, car l'accès aux documents est limité et le texte est parfois écrit en langue étrangère.

Monsieur Edgar Karofeld, par exemple, nous a fait part de suivis à long terme effectués depuis des années en Estonie mais dont les méthodes et résultats ne sont pas publiés, à l'exception de certains rapports non accessibles de nos jours. Également, un vaste programme de suivi des tourbières en Estonie a fait l'objet d'une réorganisation il y a dix ans mais les méthodes ne sont pas encore suffisamment concertées pour fait l'objet de publications autres que des rapports de recherche appliquée. De même, M Raimo Heikkilä nous a entretenu de mesures de suivi en lien avec la restauration des tourbières en Finlande mais pour lesquelles aucune publication n'est disponible en langue anglaise. Il a également mentionné des suivis en cours en Russie (*Karelian Research Centre, Petrozavodsk*) mais dont les résultats sont publiés uniquement en russe.

CHAPITRE 2 :

Survol des approches pour mesurer la végétation des tourbières, d'intérêt dans un contexte de suivi

Nous présentons dans ce chapitre les mesures de végétation pertinentes pour la végétation de tourbière dans un contexte de suivi. Ces mesures peuvent porter sur les espèces ou sur les communautés végétales. Nous avons également inclus une brève présentation de l'intérêt de la paléoécologie pour le suivi de la végétation.

2.1 Le suivi des espèces

Les mesures effectuées sur la végétation sont souvent orientées sur les espèces. Ces mesures peuvent être de nature qualitative (présence/absence, condition de la population, etc.) ou quantitatives (couvert, fréquence, etc.). Les mesures quantitatives fréquemment employées pour caractériser la végétation sont indiquées **en gras** dans le texte sur fond grisé ci-dessous et sont par la suite définies en détail dans des encadrés pointillés. Leur pertinence dans un contexte de suivi est aussi indiquée. En ce qui a trait aux mesures qualitatives, elles visent principalement à décrire la population d'une espèce, par exemple par sa taille (décompte ou estimé de tous les individus, des juvéniles, des adultes pouvant se reproduire ou non, des individus sénescents), son aire d'occupation, la présence de signes d'herbivorisme ou de maladie (Elzinga *et al.*, 2001). Dans un contexte de suivi, les mesures qualitatives ont pour avantages d'être généralement simples à planifier, à effectuer et à évaluer, de pouvoir couvrir un plus large territoire ou une grande part de la population d'intérêt et sont souvent plus faciles à vulgariser pour la diffusion (Elzinga *et al.*, 2001). Dans leur ouvrage de méthodologie, Elzinga *et al.* (2001) présentent une liste des attributs (mesures quantitatives et qualitatives) qu'il est pertinent d'évaluer pour les espèces végétales dans un contexte de suivi :

- **densité**
- **couvert**
- **fréquence**

- biomasse
- taille de la population (décompte ou estimé)
- aire d'occupation de la population
- condition (vigueur, couleur, pourcentage des parties endommagées ou mortes)
- taille des individus (hauteur, diamètre basal, biomasse)
- capacité à la reproduction (nombre de fleurs, pourcentage de succès de floraison, nombre de fruits, production de graines)
- graines (survie, densité)
- plantes à fleurs (densité ou pourcentage des plantes qui peuvent se reproduire)
- densité ou pourcentage des plantes marquées par l'herbivorisme ou autre lésion
- mortalité (densité ou pourcentage d'individus morts)

La densité

La densité est le nombre d'unités comptées par unité de surface et se mesure généralement par le décompte du nombre d'individus de l'espèce dans des quadrats (Bullock, 1996; Elzinga *et al.*, 2001).



La densité répond bien à des changements liés à la mort ou à l'apparition de nouveaux individus mais répond peu aux changements liés à la vigueur. Dans un contexte de suivi, la densité est une mesure peu efficace pour une végétation longévive et dont la réponse aux changements se traduit par une réduction du couvert ou de la biomasse plutôt qu'à travers la mortalité (Elzinga *et al.*, 2001). On pourrait associer ces dernières caractéristiques à plusieurs espèces de tourbière.

La fréquence

La fréquence est la proportion des unités d'échantillonnage avec présence de l'espèce par rapport à toutes les unités d'échantillonnage (Bullock, 1996; Elzinga *et al.*, 2001).



Dans un contexte de suivi, la fréquence est une mesure appropriée pour le suivi d'espèces envahissantes. Elle est par contre difficile à interpréter biologiquement car un changement dans la fréquence peut être associé soit à un changement dans la distribution sur le site, soit à un changement dans la densité d'une espèce, soit dans les deux phénomènes (Elzinga *et al.*, 2001).

Le couvert

Mesure de la surface couverte par les parties aériennes d'une plante lorsque l'on regarde en projection verticale, généralement exprimée en pourcentage et souvent en classes de pourcentage (Bullock, 1996; Elzinga *et al.*, 2001).



Le couvert est une mesure très utilisée car elle égalise la contribution des espèces abondantes et petites et de celles rares et grandes. Dans un contexte de suivi, le couvert est une mesure proche de la biomasse ou de la production annuelle et peut ainsi servir de substitut. Par contre, à la différence de la fréquence ou la densité, la mesure de couvert est très sensible au moment de la mesure pendant de la saison de croissance et demande plus d'organisation pour l'échantillonnage. De plus, l'interprétation d'un changement dans le couvert est compliquée par le fait que ce dernier peut-être dû à un changement de la densité (apparition/disparition) ou de la vigueur (Elzinga *et al.*, 2001).

Ces trois mesures peuvent être prises selon diverses méthodes. Nous présentons ici quelques méthodes reconnues et utilisées pour la végétation de tourbière.

Méthode par quadrats

Les quadrats sont généralement des cadres de forme carrée servant à déterminer les surfaces à travers le site d'étude sur lesquelles portent les observations. Ils peuvent être de formes et de tailles variables. La taille d'un quadrat doit varier en fonction de la végétation à l'étude. Les tailles allant de 0,01 à 0,25 m² sont souvent utilisées pour les bryophytes et les lichens tandis que la végétation d'herbacées ou de petits arbustes, telle qu'en tourbière, requiert des quadrats de 0,25 à 16 m² (Bullock, 1996). Pour les quadrats de grande taille, on choisit généralement des cadres non rigides. Les quadrats sont utilisés pour les mesures de couvert, de densité, de biomasse et de fréquence (Bonham, 1989; Bullock, 1996; Elzinga *et al.*, 2001). Ils peuvent être distribués sur le site soit de façon aléatoire, selon une stratification (par exemple à travers les types de végétation) ou systématiquement le long de transects (voir méthodes suivantes).

Méthodes par transects

1- L'échantillonnage linéaire, permet d'estimer la densité ou le couvert. Il est possible de mesurer la densité en comptant le nombre d'individus de l'espèce qui touchent la ligne de transect (pour tout le transect ou à des intervalles réguliers; Bullock, 1996). Le couvert (%) s'évalue pour sa part en additionnant la longueur des portions du transect qui sont couvertes par l'espèce et en divisant cette somme par la longueur totale du transect (Bullock, 1996; Elzinga *et al.*, 2001).

2- La méthode du transect orienté sur un gradient consiste à mettre en place un transect afin d'échantillonner l'ensemble des variations floristiques d'un site d'étude. Pour atteindre cet objectif, le transect est généralement positionné le long d'un gradient environnemental (altitude, géologie, etc.; Bullock, 1996).

3- La méthode du transect en bande consiste à positionner des quadrats le long d'un transect. Des mesures de couvert ou de fréquence peuvent être déduites pour chacun de ces quadrats et la variation rencontrée le long du transect peut être mise en relation avec les gradients environnementaux (Bullock, 1996). Si les quadrats sont trop près l'un de l'autre, on considère le transect comme l'unité d'échantillonnage (Elzinga *et al.*, 2001).

Méthode par points

La méthode d'échantillonnage par points consiste à noter les espèces (présence/absence) interceptant un point d'échantillonnage (Bullock, 1996; Elzinga *et al.*, 2001). Généralement, les points d'échantillonnage sont localisés le long de transects. Ainsi, en pratique, le point d'échantillonnage est souvent déterminé à l'aide d'une tige de métal que l'on déplace le long du transect; les espèces dont une partie touche la pointe de la tige sont notées (Bullock, 1996). Une évaluation du couvert (%) est produite en additionnant le nombre de points touchant l'espèce et en divisant par le nombre de points total. Si les points sont trop près l'un de l'autre, on considère le transect comme l'unité d'échantillonnage (Elzinga *et al.*, 2001).

Nous pouvons également ajouter le cas particulier des arbres et des arbustes pour lesquels des méthodes distinctes de mesure de densité ont été développées (Bullock, 1996). Ces méthodes s'appliquent par ailleurs en milieux humides boisés (U.S. EPA, 2002). On y réfère souvent sous le vocable de « méthodes de distance » car la mesure de densité est communément extraite de la distance entre des points aléatoires et des individus ou encore entre des individus identifiés aléatoirement et d'autres individus; la sélection des individus à étudier dépend alors de la méthode choisie (Bullock, 1996; Elzinga *et al.*, 2001; U.S. EPA, 2002).

Encadré 1 : Installations permanentes ou sporadiques?

Les quadrats, transects ou points entrant dans les diverses méthodes peuvent être positionnés de façon « permanente », c'est-à-dire qu'ils demeurent au même endroit tout au long du programme de suivi. Ils peuvent également faire l'objet d'un repositionnement lors de chaque nouvelle séance de mesures, nous référons à cette situation par le terme « installations sporadiques ».

Lorsque la végétation est considérée comme stable, et ainsi que la corrélation entre les mesures effectuées dans le temps est élevée, les installations

permanentes ont un net avantage sur les mesures sporadiques. Elles permettent un échantillonnage plus réduit dans l'espace (Elzinga *et al.*, 2001).

Les installations permanentes représentent également un avantage important pour l'interprétation des mesures. En effet, lors de la mise en place et de l'utilisation d'installations permanentes, les caractéristiques propres à l'habitat de la végétation pour laquelle les mesures sont effectuées sont souvent bien documentées (Elzinga *et al.*, 2001).

Par ailleurs, si les installations permanentes nécessitent plus de temps pour la mise en place au début de l'opération, elles peuvent entraîner une économie de temps les années subséquentes (Elzinga *et al.*, 2001).

Par contre, les ressources financières requises pour la mise en place d'installations permanentes sont souvent plus élevées que pour des mesures sporadiques (Elzinga *et al.*, 2001).

De plus, on a observé des effets de compaction sur la végétation de tourbière entourant des quadrats permanents pour lesquels les mesures étaient effectuées aux 3 à 5 ans (Shaw et Wheeler, 1995).

2.2 Le suivi des communautés végétales

Les communautés végétales peuvent être décrites par la présence, l'abondance et l'organisation des différentes espèces qui les composent. Toutefois, elles peuvent également faire l'objet d'un suivi orienté sur l'ensemble de la communauté. Parmi les approches permettant de faire le suivi des communautés végétales, on trouve notamment des méthodes orientées sur les groupes fonctionnels, sur les caractéristiques structurales, sur des indicateurs ou encore des méthodes qualitatives (Elzinga *et al.*, 2001).

Les groupes fonctionnels (ou guildes) sont des groupes d'espèces qui occupent les mêmes fonctions ou qui ont les mêmes exigences d'habitat dans un écosystème. Il est possible de travailler avec les groupes fonctionnels au niveau de l'échantillonnage ou au niveau de l'analyse. En effet, tout d'abord, l'échantillonnage peut être effectué directement sur les groupes d'espèces sans identifier individuellement les espèces ou encore uniquement sur les espèces d'un certain groupe. Deuxièmement, les mesures peuvent être récoltées pour toutes les espèces et dans ce second cas, l'utilisation du concept de groupe fonctionnel se fait au niveau de l'analyse, soit pour en simplifier les conclusions (Elzinga, *et al.*, 2001).

Les caractéristiques de structure décrivent l'habitat sans regard aux espèces. Ce sont par exemple le couvert total, le couvert par strate, la hauteur de la végétation, la biomasse totale, le taux d'individus mort, etc. Effectuer le suivi des changements dans la structure peut être une mesure efficace qui exige peu d'identification des espèces et ainsi peu de connaissances taxonomiques (Elzinga *et al.*, 2001).

Il est également possible d'effectuer le suivi d'indicateurs comme substituts à des mesures directes de l'attribut d'intérêt lorsque ce dernier est difficile à mesurer. Les indicateurs peuvent être des espèces, des facteurs environnementaux ou d'habitat ou encore des menaces (Elzinga *et al.*, 2001). Par exemple, il est possible de faire le suivi de certaines espèces indicatrices de la condition écologique d'un milieu ou indicatrices de perturbations spécifiques. À ce titre, l'Agence de Protection Environnementale des États-Unis (U.S. EPA) fournit une vaste revue de littérature sur les espèces (microbes, plantes vasculaires, algues, invertébrés, poissons, amphibiens et reptiles, oiseaux) indicatrices de l'intégrité biologique des milieux humides d'eau douce (pour ex., voir Adamus et Brandt, 1990).

Quoiqu'elles puissent également s'appliquer pour le suivi des espèces, les mesures qualitatives sont tout particulièrement indiquées pour le suivi des communautés. Les méthodes qualitatives regroupent notamment l'évaluation générale des conditions du site (par ex. : présence d'espèces introduites, de perturbations, de grands changements dans la structure générale de la végétation tel que par accroissement du couvert forestier), la prise de photographies des stations d'échantillonnage, la prise de photographies répétée à des points fixes sur le site, l'inventaire des espèces composant les communautés, la cartographie des limites ou de la structure des communautés à l'aide de la télédétection (Elzinga *et al.*, 2001).

Encadré 2 : La télédétection et le suivi de la végétation de tourbière

Plusieurs applications des images de télédétection, photographies aériennes et images satellitaires, sont pertinentes à un programme de suivi. Les photographies aériennes peuvent être utilisées pour identifier la présence d'éléments de perturbations sur le site tels que des sentiers ou des infrastructures. Les photographies panchromatiques sont alors suffisantes pour répondre à la tâche. Toutefois, la télédétection est également tout particulièrement pertinente dans un contexte de suivi pour cartographier les différentes communautés de tourbière à intervalles dans le temps et ainsi permettre de noter des changements dans la végétation, qu'ils soient naturels ou non. Qu'en est-il alors de la pertinence des différents types d'images de télédétection pour remplir cette tâche?

Les photographies aériennes panchromatiques :

La photo-interprétation de photographies noir et blanc (1 :10 000), appuyée par divers supports d'information telles que des données de terrain ou diverses cartes thématiques, a permis de cartographier et de suivre l'évolution de six types de végétation non perturbée dans des tourbières d'Estonie (Aavisko, 1993). Les classes, très générales, identifient essentiellement la nature de la tourbière (par ex. : minérotrophe, ombrotrophe, forestière). La comparaison d'images des années 1950, 1960 et 1980 dans cette étude a tout de même permis de conclure sur l'accroissement des types de végétation plus forestiers et la diminution des types plus ouverts. Un intervalle de 15 ans entre les photographies aériennes est proposé pour les tourbières naturelles dominées par les changements autogènes alors qu'un intervalle plus court devrait être favorisé en présence de pressions anthropiques (Aaviksoo, 1993).

Les photographies infrarouges couleurs :

Des photographies aériennes infrarouges couleurs de 1995 numérisées (1: 30 000) et panchromatiques de 1946 (1 : 20 000) ont été utilisées pour évaluer les changements dans la végétation des tourbières de Lakkasuo et Konilampi en Finlande. L'échantillonnage biphasé avec stratification a été employé pour classifier la végétation en 16 classes dont neuf sont relatives à une végétation non perturbée (par ex. : minérotrophe à cypéracées, partiellement forestière riche à herbacées). La comparaison avec un échantillonnage de terrain a permis d'observer que la classification a été réalisée avec une précision de 66,5 % pour les photographies aériennes infrarouges couleurs. Sur la base d'une comparaison avec une interprétation visuelle des photos, la classification des neuf types de végétation non perturbée présents sur les images panchromatiques de 1946 a été effectuée quant à elle avec une précision de 55,6 %. L'évolution de la végétation entre 1946 et 1995 répond fortement au drainage effectué sur le site alors que les types de végétation dominants passent de typiques de tourbière à forestiers (Holopainen et Jauhainen, 1999).

La possibilité de distinguer des classes de végétation plus précises sur les images infrarouges couleurs de 1995 de Lakkasuo et de Konilampi a été investiguée dans une autre étude. Toutefois, une analyse multivariable incluant le couvert de chaque espèce mesuré au sol ainsi que les différentes bandes spectrales de la photographie aérienne a conclu sur la difficulté de reconnaître des classes plus précises dans la végétation non perturbée (Jauhainen *et al.*, 2003).

De façon plus générale, les photographies aériennes infrarouges couleurs ont été le support privilégié des principales agences fédérales américaines pour effectuer l'inventaire des milieux humides de leur territoire (Lillesand et Kiefer, 2000).

Images aériennes à haute résolution spectrale :

Le potentiel d'application des images aériennes à haute résolution spectrale en tourbière est au stade exploratoire. Par exemple, une étude en tourbière au Manitoba a tenté de déterminer la technique statistique de regroupement entre les espèces végétales offrant les groupes les plus facilement classifiables sur une image CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*). L'approche statistique de regroupement menant à la meilleure classification de l'image (exemple de classe : platières de *Warnstorfia exannulata* / *Carex rostrata* et cypéracées) a permis une précision de classification de 62 % tel que confirmé par un échantillonnage de terrain (Thomas *et al.*, 2002).

Les images satellitaires :

L'efficacité d'images LANSAT 7/ETM+ pour la cartographie de 13 classes de végétation de tourbières du Québec par classification supervisée (2 méthodes) a été investiguée. Les classes de végétation testées étaient relativement précises (par ex. : éricacées et épinettes, grandes cypéracées). Un vaste échantillonnage de terrain dans 92 tourbières a permis d'évaluer que les images satellitaires permettent une cartographie précise des 13 classes de végétation et que les différentes méthodes de classification de ces images permettent soit une meilleure cartographie des habitats rares ou encore celle des habitats communs (Poulin *et al.*, 2002).

Dans l'ensemble, les images satellitaires présentent l'avantage dans un contexte de suivi d'offrir une couverture continue (Ozesmi et Bauer, 2002). Par exemple, l'Australie possède actuellement divers réseaux de suivi de la végétation à l'échelle régionale et nationale reposant sur une série temporelle d'images satellitaires LANDSAT dont l'un des plus importants programmes de suivi basés sur la télédétection au monde (Wallace *et al.*, 2006). Toutefois, pour l'étude de la végétation des milieux humides, les images satellitaires ne fournissent pas une information aussi détaillée que les photographies aériennes, notamment à cause de leur résolution spatiale (taille au sol d'un pixel) plus grossière (Ozesmi et Bauer, 2002; pour une revue de littérature sur l'application des images satellitaires pour les milieux humides, consulter cette publication). Par ailleurs, les nouveaux satellites tels que QuickBird ou IKONOS offrent de meilleures résolutions spatiales, soit respectivement 0,6 et 1 mètre en mode panchromatique et 2,4 et 4 mètres en mode multispectral (Lillesand et Kiefer, 2000; Digital Globe, 12/02/2007). Ils pourraient ainsi élargir les possibilités dans l'étude de la végétation. Toutefois, l'application de ces diverses images satellitaires pour la végétation de tourbière est encore au stade expérimental.

2.3 Mesures de paléoécologie

Les études paléoécologiques permettent de reconstituer les communautés végétales et les conditions environnementales passées. Elles permettent ainsi de caractériser l'effet de perturbations naturelles ou anthropiques sur la végétation. Elles représentent un ajout pertinent à la planification et à l'interprétation des résultats de programmes de suivi de la végétation, et ce, pour plusieurs écosystèmes et en réponse à divers stress (Gorham *et al.*, 2001). Par exemple, en fournissant une base de données à long terme des conditions environnementales d'un milieu, elles peuvent fournir des éléments de référence pertinents au choix de la fréquence et la durée de l'échantillonnage dans les programmes de suivi. Elles se révèlent d'une pertinence particulière pour le suivi en réponse aux changements climatiques (Gorham *et al.*, 2001). En effet, la paléoécologie d'une tourbière peut fournir l'histoire de la végétation de la tourbière de même que des forêts la ceinturant ou des peuplement forestiers régionaux. De par leur synchronisme dans divers écosystèmes, les changements dans la végétation peuvent ainsi être plus facilement liés à des modifications du climat (Lavoie, 2001a).

Les études paléoécologiques peuvent ainsi servir de complément aux programmes de suivi et répondre aux questions suivantes : (1) quelles étaient les propriétés des communautés biotiques et de l'écosystème avant et à la suite de la perturbation, (2) quel est le patron de retour vers les conditions d'écosystème fonctionnel, (3) quelles sont la nature et la magnitude des variations naturelles et la fréquence des événements extrêmes, (4) quel était le niveau de stabilité des communautés biotiques et de l'écosystème avant la perturbation et (5) les effets de perturbation naturelle et anthropique diffèrent-ils entre eux ? (Gorham *et al.*, 2001).

Par ailleurs, les tourbières constituent des milieux très propices à l'application des méthodes paléoécologiques. La matière organique qui s'y accumule par couches amasse et conserve du matériel biogénique représentant de riches archives (Bhiry et Fillion, 2001; Lavoie, 2001b). Pour un bon exemple d'application de techniques de paléoécologie pour

l'étude de l'évolution des tourbières du Québec en réponse à diverses perturbations, voir Pellerin et Lavoie (2003).

2.4 Conclusion : quelles méthodes choisir?

Parmi ces diverses mesures et méthodes disponibles pouvant être intégrées dans des programmes de suivi, nous considérons que le choix doit reposer sur les caractéristiques particulières du site d'étude et des causes potentielles de changement. Nous établirons les mesures proposées pour le suivi des communautés végétales des tourbières de la RPNCAM dans le Rapport 3.

Néanmoins, nous pouvons noter que plusieurs auteurs s'entendent sur la pertinence des quadrats permanents pour le suivi de la dynamique à long terme de la végétation. Bakker *et al.* (1996) présentent une revue de littérature des études de végétation (par ex., composition en espèces, richesse, biomasse, etc.) incluant des quadrats permanents. Ils en concluent que ces derniers sont essentiels pour l'étude de la dynamique à long terme de la végétation. En effet, les quadrats permanents fournissent des indications sur la tendance de la succession et permettent de formuler des hypothèses sur les mécanismes et les causes de celle-ci, y compris les changements climatiques ou la pollution atmosphérique. Les quadrats permanents ont permis dans les diverses études publiées à ce jour de : (1) faire la distinction entre tendance et fluctuation, (2) d'extrapoler au-delà de la période d'observation, souvent jusqu'à 20-40 ans, (3) d'améliorer l'extrapolation à d'autres sites, (4) de prédire les changements de végétation en lien à des combinaisons de facteurs environnementaux n'ayant pas cours encore et (5) de tester empiriquement certains modèles écologiques (Bakker *et al.*, 1996).

Parce qu'ils fournissent un niveau de détail et une échelle complémentaires, plusieurs auteurs reconnaissent la pertinence d'utiliser les installations permanentes de mesures au sol de concert avec la cartographie de la végétation afin d'investiguer l'évolution de la végétation à grande échelle et à long terme (Bakker *et al.*, 1996; Schuman et Ambrose, 2003; Wildi *et al.*, 2004; Wallace *et al.*, 2006). La cartographie de la végétation doit être

répétée dans le temps et peut être effectuée, ou non, à l'aide de photographies aériennes ou d'images satellites. Les quadrats permanents, quant à eux, devraient idéalement combiner le suivi de la végétation en général et de la dynamique de certaines espèces vulnérables d'intérêt (Bakker *et al.*, 1996).

CHAPITRE 3 : Études de cas

Programmes de suivi de la végétation des tourbières proposés par divers organismes, agences gouvernementales et groupes de recherche universitaires

Afin d'accompagner les autorités de la RPNCAM dans leur choix de mesures à mettre en place dans les tourbières de la réserve de parc, nous avons obtenu de l'information sur six programmes de suivi en tourbière et les présentons dans ce chapitre. Le premier de ces programmes, celui établi pour la tourbière de Burns Bog en Colombie-Britannique, est un programme de suivi de l'intégrité écologique. Nous n'avons pu trouver d'information sur la mise en place ou non de ce suivi mais nous reconnaissons sa pertinence à titre comparatif pour les autorités de la RPNCAM. Le second programme est celui d'un réseau étendu à divers milieux écologiques de tout le Royaume-Uni. Comme il s'applique notamment à une tourbière reconnue internationalement, Moor-House – Upper Teesdale, et que ce réseau est très bien développé et standardisé, nous l'avons jugé pertinent. Nous présentons également un autre programme du suivi national, soit le programme de suivi des tourbières de la Suisse. Finalement, les trois derniers programmes concernent des tourbières dont la végétation est perturbée (sites exploités pour la tourbe horticole et sites restaurés). Néanmoins, ils constituent des programmes de suivi reconnus internationalement pour les tourbières. Également, bien que la végétation ne soit pas toujours établie sur le site au moment du début des mesures, il s'agit d'une végétation propre à un écosystème fonctionnel de tourbière et les mesures y sont adaptées.

Nous présentons à la fin de chacun des quatre programmes une fiche synthèse des mesures relatives à la végétation. De même, la mise en application des approches de mesures présentées au chapitre 2 pour chacun de ces programmes est résumée dans un tableau synthèse à la fin du présent chapitre (voir Tableau 4).

3.1 Programme d'évaluation de l'Intégrité écologique de la tourbière de Burns Bog, Colombie-Britannique, Canada

La tourbière de Burns Bog est connue de la communauté scientifique de par son caractère écologique unique et parce qu'elle constitue la plus grande tourbière bombée de la côte ouest de l'Amérique du Nord (Vitt, 1999). Conséquemment, plusieurs chercheurs interrogés nous en ont fait mention pour notre recherche de suivi. Toutefois, nous n'avons pu trouver de description d'installations permettant le suivi à long terme des communautés végétales. Néanmoins, la tourbière a fait l'objet d'un processus de développement d'un programme de suivi de l'intégrité écologique que nous jugeons d'intérêt à titre comparatif pour les autorités de la RPNCAM.

La tourbière de Burns Bog est une tourbière ombrotrophe bombée d'environ 3000 hectares localisée dans le delta de la rivière Fraser (Hebda *et al.*, 2000). Originellement (4800 ha), la tourbière était dominée par une végétation ouverte de sphaignes avec quelques pins arbustifs éparses. La tourbière est aujourd'hui entourée de secteurs agricoles, résidentiels et industriels. La superficie actuelle de la tourbière a été perturbée sur près de sa moitié par diverses activités, telle que la récolte de tourbe à des fins horticoles, qui ont fortement perturbé la végétation, le régime hydrique et les processus d'accumulation de tourbe. Les effets de ces activités, incarnés notamment dans la présence de canaux de drainage toujours présents, se faisaient encore ressentir en 2000 lors de la rédaction d'un important rapport sur la tourbière (Hebda *et al.*, 2000). Néanmoins, la tourbière conserve une végétation intacte d'intérêt. En effet, la flore des secteurs naturels de la tourbière de Burns Bog est riche (181 espèces vasculaires, 168 bryophytes et lichens; Vitt *et al.*, 1999). La tourbière contient plusieurs espèces végétales à la limite de leur aire de répartition et quelques espèces vasculaires ou bryophytes identifiées comme vulnérables au niveau provincial.

La tourbière de Burns Bog fait l'objet de multiples efforts de conservation. En 1988, la *Burns Bog Conservation Society* regroupant maintenant 5000 membres a été créée dans le but de protéger et conserver la tourbière (BBCS, 22/11/2006). Cette société est très active

aujourd'hui, notamment pour la publication de documents de vulgarisation. De plus, la participation d'intervenants gouvernementaux, de scientifiques, de firmes de consultants et du public sous la direction de *BC Environmental Assessment Office* a mené à la publication en 2000 d'un rapport rassemblant une grande richesse d'information sur l'écologie de la tourbière (Hebda *et al.*, 2000). Ce rapport effectuait un inventaire exhaustif des connaissances sur l'écosystème de la tourbière afin d'identifier ce qui devait être fait pour préserver l'intégrité écologique de la tourbière et préserver la viabilité de l'écosystème, c'est-à-dire assurer le maintien des composantes biotiques importantes (populations d'espèces clés ou uniques, mosaïques d'espèces ou de communautés), de même que le maintien des processus critiques (hydrologie, accumulation de tourbe, interactions trophiques), tout en favorisant le contrôle des changements (favoriser la résilience du milieu, permettre la succession). La tourbière est maintenant une aire de conservation écologique (*Ecological Conservancy Area*). Dans l'attente du dépôt d'un rapport de gestion à long terme (100 ans), la tourbière est en grande partie fermée au public (BBCS, 22/11/2006).

3.1.1 Programme d'évaluation de l'Intégrité Écologique

Dans le cadre des travaux menant à la rédaction du rapport en 2000 (Hebda *et al.*, 2000), la firme de consultants *EBA Engineering Consultants Ltd.* a été mise en charge de développer une analyse préliminaire de l'intégrité écologique de la tourbière à l'aide d'indicateurs. Selon cette firme, les indicateurs de l'intégrité écologique d'une tourbière ombrotrophe se rapportent en théorie tout spécialement :

- (1) aux taux de décomposition et d'accumulation de matière organique;
- (2) aux processus hydrologiques (patrons, quantification);
- (3) à la distribution et aux caractéristiques des communautés végétales.

Plus spécifiquement, pour la tourbière de Burns Bog, la firme a proposé un cadre d'analyse basé sur une série de 21 indicateurs regroupés sous différentes caractéristiques essentielles de l'écosystème (Tableau 3). À l'exception des processus atmosphériques, les

caractéristiques essentielles servant de canevas à ce cadre d'analyse proviennent d'une publication générale (Harwell *et al.*, 1999). Les sous-catégories et les mesures ont été développées par la firme de consultants. La qualité de l'intégrité écologique de chacune des sous-catégories de ces caractéristiques est évaluée à l'aide d'une échelle à trois niveaux : haute (intégrité écologique élevée ou condition intacte), modérée, et basse (condition affaiblie avec une faible intégrité écologique; Hebda *et al.*, 2000). Dans le texte qui suit, les éléments présents dans le Tableau 3 sont soulignés.

Selon cette analyse, l'intégrité de la sous-catégorie de l'écoulement de surface et souterrain est élevée. Celles de la production primaire, de la résilience, de la structure de la végétation, de la connectivité du paysage et des perturbations par les feux sont modérées. Ces sous-catégories sont donc toujours fonctionnelles dans la tourbière mais ont été compromises et s'éloignent de l'état normal en tourbière non perturbée. Les sous-catégories d'étendue spatiale, de composition des communautés biotiques, de l'étendue des sols naturels ainsi que les sous-catégories relatives à l'hydrologie qui affectent le débit et la superficie des mares ont une cote d'intégrité basse. L'intégrité des autres sous-catégories n'est pas rapportée (Hebda *et al.*, 2000).

En plus de fournir une évaluation de l'intégrité écologique de la tourbière, cette analyse préliminaire constitue une base pour le suivi à long terme de la tourbière. Pour ce faire, elle devra selon les auteurs être raffinée pour ce qui est de quelques indicateurs et enrichie d'objectifs quantitatifs à atteindre (Hebda *et al.*, 2000).

Tableau 3 : Caractéristiques essentielles de l'écosystème, sous-catégories et mesures écologiques associées pour déterminer l'intégrité écologique de la tourbière Burns Bog selon *EBA Engineering Consultants Ltd. Traduction libre de Hebda et al.(2000)*.

Caractéristique essentielle de l'écosystème	Sous-catégorie	Mesure écologique (indicateur)
Qualité de l'habitat	étendue spatiale	superficie (%) de la tourbière intacte
	connectivité du paysage	n/a
	diversité structurale des habitats	relation espèce/aire
	fragmentation	n/a
Intégrité de la communauté biotique	composition	couvert des communautés dominées par les sphaignes
	structure de la végétation	envahissement du <i>Pinus contorta</i>
	espèces fauniques en danger, menacées ou vulnérables	nombre d'espèces
	espèces introduites	% espèces introduites
Processus écologiques	production primaire	production primaire des sphaignes
	résilience	régénération des sphaignes
	processus biogéochimiques	plantes indicatrices d'eutrophisation
Qualité de l'eau	caractéristiques chimiques	changement dans le pH
	polluants organo-chimiques	changement dans les polluants organo-chimiques
	métaux lourds polluants	changement dans la concentration des métaux lourds
Système hydrologique	écoulement de surface et souterrain	moyenne annuelle et patron saisonnier des écoulements
	eau libre de surface	couvert (%) eau libre de surface
	canaux d'eau souterraine	densité de canaux
Régimes de perturbation	perturbations anthropiques	couvert (%) des communautés post-perturbation
	perturbations par les feux	fréquence des feux
Sédiments/qualité du sol	étendue sols naturels	aire des sols naturels
Processus atmosphériques	émissions de méthane	changements dans les émissions de méthane

3.1.2 Utilisation d'indicateurs biologiques pour les secteurs perturbés

Le programme d'évaluation de l'intégrité écologique présenté ci-haut vise à évaluer l'intégrité de la tourbière en prenant pour référence un écosystème fonctionnel et non perturbé. Toutefois, le rapport rédigé en 2000 présente également l'option développée par la firme de consultants *Madrone Consultants Ltd* d'utiliser des espèces indicatrices afin d'évaluer les changements dans la végétation des zones perturbées de la tourbière de Burns Bog. Certaines espèces floristiques, répondant à des changements écologiques particuliers, peuvent être indicatrices de changements ou de dynamiques dans l'écosystème. L'hydrologie et la chimie atypiques des tourbières accentuent les possibilités d'utilisation d'espèces indicatrices qui doivent être adaptées à des conditions précises (Hebda et *al.*, 2000).

La première espèce indicatrice proposée est la sphaigne comme indicateur de la recolonisation végétale des secteurs ayant fait l'objet de récolte de la tourbe. D'autres espèces végétales sont proposées comme indicatrices de changements dans la nappe phréatique ou les nutriments disponibles. Le bouleau, le pin et le ptéridium sont identifiés comme indicateurs de conditions trop sèches. L'accroissement d'espèces de mousses telles que *Pleurozium schreberi* et *Dicranum scoparium* au désavantage des sphaignes indique également des conditions trop sèches. La quenouille, le saule et l'aulne indiquent l'influence d'eau minérotrophe ou un problème d'enrichissement en nutriments. Finalement, le Jonc commun est proposé comme indicateur d'une eutrophication et/ou perturbation. La comparaison du couvert de ces espèces à celui du couvert des sphaignes ou des lichens permet d'établir quand la végétation perd son caractère fonctionnel par rapport à l'écosystème de tourbière ombrotrophe. La documentation sur la flore passée est plus complète que celle sur la faune ce qui favorise l'utilisation d'espèces indicatrices floristiques pour analyser les changements en cours dans la tourbière de Burns Bog. À la suite de la première application sommaire de ces indicateurs, la firme souligne l'importance d'obtenir des mesures de la nappe phréatique pour faciliter l'interprétation des résultats.

3.2 Le programme de suivi *Environmental Change Network* du Royaume-Uni intégrant le site de tourbière de Moor-House – Upper Teesdale

Plusieurs chercheurs que nous avons interrogés sur l'existence de suivi en tourbière nous ont conseillé d'orienter nos recherches vers l'Angleterre et l'Écosse. En effet, ces pays possèdent une longue histoire en ce qui a trait à leur intérêt pour la conservation des milieux naturels et des tourbières largement perturbés de leurs territoires, notamment les tourbières de couverture des Pennines, dont il est fait mention dans plusieurs publications scientifiques. Nous avons en effet pris connaissance de l'élaboration d'un programme de suivi des écosystèmes terrestres pour le Royaume-Uni qui inclut une tourbière d'intérêt.

En 1992 débuta le vaste programme intégré de suivi environnemental à long terme ECN (*UK Environmental Change Network*) géré et financé par 14 agences et départements gouvernementaux (ECN, 22/11/2006). Ce programme vise à mieux comprendre les effets des changements environnementaux. Le réseau de suivi inclut la collecte, l'analyse et l'interprétation de données à long terme de variables physiques, chimiques et biologiques récoltées sur 12 sites terrestres et 45 sites aquatiques à travers l'ensemble du Royaume-Uni. Parmi les sites terrestres, la plupart sont des sites qui ont servi ou servent encore à l'agriculture, tels des steppes ou des pâturages. Toutefois, un des sites inclus dans le programme de suivi est à la fois la plus grande *National Nature Reserve* de l'Angleterre, une réserve de la biosphère de l'UNESCO et un *European Special Protection Area*, soit le site Moor House – Upper Teesdale situé dans les Pennines. Ce site regroupe plusieurs habitats dont de larges tourbières de couverture (ECN; 22/11/2006), ces dernières étant généralement ombrotrophes (Rydin et Jeglum, 2006). Le site abrite une station de recherche, la station *Moor House*, qui est un lieu d'étude pour les instituts et les universités depuis les années 1930. La végétation dominante du secteur est de *Moor House* est composée de *Eriophorum* spp., *Calluna vulgaris* et *Sphagnum* spp. (ECN; 22/11/2006).

Dans le cadre de son intégration au réseau *Environmental Change Network*, le site de Moor House – Upper Teesdale est l'hôte de mesures diverses. Le programme de suivi ECN inclut des mesures météorologiques, de chimie atmosphérique et des précipitations,

d'eau de surface, de sol, d'utilisation du sol, de la végétation, des invertébrés et des vertébrés. Nous rapportons dans l'encadré ci-dessous le protocole de mesures pour la végétation, standardisé pour l'ensemble des sites du réseau ECN (Rodwell *et al.*, 1996). Ces mesures ne sont donc pas conçues uniquement pour une végétation de tourbière.

Les mesures d'inventaire de la végétation, de suivi grossier et de suivi détaillé présentées dans l'encadré ci-dessous sont appliquées sur l'ensemble du site Moor House – Upper Teesdale. De plus, à l'intérieur de chacun des sites est désignée une station-cible de 1 hectare représentant la végétation dominante du site et pour laquelle toute perturbation est évitée. Au site de Moor House – Upper Teesdale, il s'agit d'un espace de tourbière de couverture, non perturbé et relativement homogène. Les mesures du suivi détaillé sont également appliquées à cette station.

1) Les mesures débutent par la **cartographie de la végétation** effectuée à une échelle de 1 : 10 000 pour les sites de moins de 50 km² et de 1 : 25 000 pour les sites de plus de 50 km². Une grille est tracée pour couvrir l'ensemble du territoire d'environ 400 cellules. Au centre de chacune de ces cellules se fait l'inventaire des espèces dans une parcelle¹ de 2 m x 2 m. La liste des espèces de plantes vasculaires, de bryophytes et de lichens y est notée. Si la végétation est arbustive ou boisée, la parcelle est de 10 m x 10 m. Sur la base de cet échantillonnage de terrain, l'appartenance des parcelles aux différents types de végétation du système national de classification est déterminée.

2) **Suivi grossier** : parmi les parcelles systématiques ayant servi à la cartographie de la végétation, 40 à 50 parcelles de 2 m x 2 m sont sélectionnées aléatoirement pour chaque site, marquées de façon permanente, puis visitées tous les **neuf ans**.

Chaque parcelle de 2 m x 2 m est divisée en 25 sous-parcelles de 40 cm x 40 cm où sont notées : la présence de chaque espèce de **plante vasculaire**, la présence des plantes invasives non pas par espèce mais par classes (**sphaignes, autres bryophytes et lichens**) ainsi que la présence de sol nu, de bois mort, d'eau libre, de litière et de roche. Les données de **fréquence** peuvent ainsi être obtenues pour chaque taxon.

Pour chaque parcelle de 2 m x 2 m sont notées : l'altitude, la pente, l'exposition, l'utilisation du sol et les formes topographiques.

¹ Dans l'usage courant, une parcelle est le terme désignant la surface spatiale où sont effectuées les observations et mesures. Lorsque la végétation est la seule variable mesurée, on peut considérer le quadrat et la parcelle comme des termes équivalents. Mais généralement, on utilise le mot parcelle pour désigner la surface spatiale où sont prises des mesures diverses et le quadrat pour référer à une unité de mesure de la végétation, plus petite, et que l'on dispose dans la parcelle.

Si une parcelle du suivi grossier se localise en milieu boisé ou dans une arbustaie, une parcelle de 10 m x 10 m est placée autour de celle de 2 m x 2 m. Les espèces d'arbres et d'arbustes présentes dans la parcelle de 10 m x 10 m sont notées ainsi que leur appartenance à des classes de cimes (par ex. : dominant : individus dont la cime se situe au-dessus du niveau général du couvert de cimes). À l'intérieur de la parcelle, dix sous-parcelles de 40 cm x 40 cm sont tirées aléatoirement dans lesquelles est noté le nombre de semis. Pour les dix arbres de plus de 5 cm de diamètre à hauteur de poitrine [dhp] les plus près du centre de la sous-parcelle sont notés : le dhp et la hauteur.

3) **Suivi détaillé** : au moins deux parcelles de 10 m x 10 m sont positionnées pour chaque type de végétation du système national de classification identifié lors de l'étape 1 pour un total d'au plus 20 parcelles par site. Le suivi détaillé se distingue du suivi grossier par la fréquence d'échantillonnage, la taille des parcelles et le détail de l'inventaire. La position de ces parcelles est choisie en tirant aléatoirement parmi les cellules de la grille servant à la cartographie ou en tirant des coordonnées géographiques. Les parcelles du suivi détaillé ne peuvent être au même endroit que les parcelles du suivi grossier. Ce suivi détaillé est aussi appliqué pour la station-cible où une parcelle de 10 m x 10 m est également installée. Les parcelles sont permanentes et visitées tous les **trois ans**.

À l'intérieur des parcelles de 10 m x 10 m, 10 sous-parcelles de 40 cm x 40 cm sont tirées aléatoirement. Pour chaque sous-parcelle sont notées : la présence de chaque espèce de **plante vasculaire et invasculaire**; la présence de sol nu, de bois mort, d'eau libre, de litière et de roche.

Pour chaque parcelle de 10 m x 10 m sont notées : l'altitude, la pente, l'exposition, l'utilisation du sol et les formes topographiques.

Les autorités de *Environmental Change Network* ont déterminé qu'il était plus efficace de noter la présence/absence d'espèces végétales que de tenter d'en évaluer le couvert. Elles ont également déterminé qu'il était préférable au niveau statistique d'avoir un grand nombre de petites parcelles plutôt qu'un petit nombre de grandes parcelles. Peu importe la configuration spatiale des parcelles et le type de suivi, la plus petite unité de mesure qui est entrée dans les bases de données est commune (40 cm x 40 cm).

L'analyse des données récoltées sur la végétation du site de Moor House – Upper Teesdale à l'intérieur du réseau ECN n'est pas encore disponible à ce jour.

Fiche synthèse des principales mesures répétées relatives à la végétation

- √ 40 à 50 parcelles de 2 m x 2 m (ou 10 m x 10 pour arbres/arbustes) avec mesures aux neuf ans. Mesure de présence/absence des plantes vasculaires par espèce, des plantes invasculaires par classe (sphaignes, bryophytes et lichens) dans des sous-parcelles de 40 cm x 40 cm pour produire la fréquence des taxons.
- √ Mesures sur les arbres et arbustes pour les parcelles de localisées en milieu boisé ou dans une arbustaie (relevés par espèces et par classes de cimes, nombre de semis, diamètre à hauteur de poitrine, hauteur).
- √ 20 parcelles de 10 m x 10 m avec mesures aux trois ans. Mesure de présence/absence des plantes vasculaires et invasculaires par espèce dans des sous-parcelles de 40 cm x 40 cm pour l'étude des changements dans les types de végétation.

3.3 Le programme de suivi des tourbières en Suisse

À la suite d'un référendum mené en 1987, la Suisse s'est dotée de règlements stricts de protection et de restauration, le cas échéant, des milieux tourbeux (Grünig *et al.*, 2005). La responsabilité de respecter les législations fédérales quant à la préservation et la restauration des milieux repose maintenant sur 26 cantons (Grünig *et al.*, 2005). La législation fédérale stipule que les milieux tourbeux ne doivent pas perdre de leur superficie et que leur diversité quant à la structure, le type, la végétation et la richesse en espèces doit être maintenue ou même améliorée (Grünig *et al.*, 2005). Afin de s'assurer du respect de ces législations, le *Advisory Service for Mire Conservation*² a été mandaté en 1993 par l'Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage de mettre sur pieds un programme de suivi national et à long terme des milieux tourbeux (Grünig *et al.*, 2005).

Dans ce contexte, trois grands inventaires ont été menés au niveau national. De ces inventaires, 550 tourbières ombrotrophes, 1150 tourbières minérotrophes et 90 paysages tourbeux³ ont été qualifiés d'importance nationale (Grünig *et al.*, 2005). L'objectif du programme de suivi est d'évaluer les changements dans la végétation pour ces milieux d'importance nationale dans l'optique de statuer sur l'efficacité des mesures de protection (Küchler *et al.*, 2004). Le suivi exhaustif de tous les milieux tourbeux d'importance nationale semblait de prime abord des plus informatif mais les coûts encourus seraient beaucoup trop grands (Centre de protection des marais, 14/02/2007). Ainsi, l'approche favorisée par le programme suisse de suivi est de limiter les mesures à certains milieux représentatifs. Les conclusions tirées de l'étude de ces milieux se veulent applicables à tous les milieux tourbeux d'importance nationale.

² Le nom de ce service a été traduit en français sur leur site internet par « Centre de protection des marais ».

³ Il est à noter que le terme anglais utilisé pour désigner les milieux tourbeux dans le programme suisse est « mire ». Le concept de « mire » s'apparente à celui de tourbière (ou « peatland » en anglais). Il désigne les terrains humides où croît une végétation pouvant former de la tourbe (Rydin et Jeglum, 2006). Ainsi, un « mire » se définit par un dépôt de tourbe recouvert d'une végétation ayant le potentiel d'accumuler de la tourbe et s'utilise fréquemment dans les études de botanique et d'écologie. Par ailleurs, le terme « mire » est davantage utilisé en Europe et celui de tourbière « peatland » en Amérique du Nord (Rydin et Jeglum, 2006).

La sélection des milieux tourbeux à étudier peut être résumée ainsi :

Plan d'échantillonnage : (Centre de protection des marais, 14/02/2007)

- le territoire suisse a d'abord été quadrillé de cellules de **1 km x 1 km**;
- 2033 cellules de 1 km x 1 km contenaient au moins une portion d'un des milieux d'importance nationale;
- 103 cellules ont été choisies selon une **répartition aléatoire stratifiée** parmi ces 2033 cellules. La sélection aléatoire a été stratifiée selon les critères suivants :
 - les aires géographiques avec peu de milieux ont eu un poids plus grand;
 - la préférence a été accordée aux milieux de basses ou de hautes altitudes par rapport à ceux d'altitude moyenne;
 - les tourbières ombrotrophes ont eu un poids plus grand que les tourbières minérotrophes, ces dernières étant 10 fois plus fréquentes;
- les cellules de 1 km x 1 km de territoire pouvaient contenir plus d'une portion de milieu. Chacune des sections a alors été identifiée séparément par un « centre de gravité »;
- au total, les 103 cellules sélectionnées contenaient 336 portions de milieux, soit 91 en milieu ombrotrophe et 245 en milieu minérotrophe.

Lorsque la question de choisir la meilleure mesure pour détecter les changements dans les habitats s'est présentée aux autorités du programme de suivi suisse, une tourbière faisait déjà l'objet d'un programme de restauration (Gross Moos) et les mesures tentées sur ce site ont pu servir de guide pour les autorités (Grünig *et al.*, 2005). Il a été déterminé que le couvert de végétation et les indicateurs de richesse floristique qui peuvent en être tirés pouvaient fournir l'information nécessaire sur la condition du site, la qualité des habitats et l'effet des changements environnementaux. De plus, le suivi de la végétation s'est avéré le plus économique. La végétation fut donc retenue comme la composante à mesurer dans le programme suisse de suivi des tourbières et diverses alternatives ont été évaluées pour analyser les changements dans la végétation, notamment à l'aide des essais effectués à la tourbière de Gross Moos (Grünig *et al.*, 2005).

Les essais effectués à la tourbière de Gross Moos ont d'ailleurs fait ressortir certaines constatations quant aux mesures de végétation. Par exemple, ils ont permis de déterminer que l'usage d'une liste réduite d'espèces (sans les mousses), par rapport à celui d'une liste de toutes les espèces, entraîne une perte d'information importante sur la richesse quantitative des espèces. Le programme national de suivi des tourbières rejette donc

l'usage d'une liste réduite d'espèces (Grünig *et al.*, 2005). Les travaux effectués à la tourbière de Gross Moos ont surtout permis de tracer la ligne directrice du programme de suivi des tourbières de la Suisse. En bref, ce programme a pour objectif de cartographier les patrons de végétation et de distribution des communautés végétales de façon répétée dans le temps et d'effectuer des relevés limités de végétation au sol. Cette approche vise à apporter une preuve quantifiable de changements dans les milieux tout en limitant le nombre de relevés sur le terrain coûteux et dommageables pour l'objet d'étude (Centre de protection des marais, 14/02/2007). Les travaux menés au site de Gross Moos ont permis de tester diverses méthodes de cartographie de la végétation, comme des relevés de végétation effectués uniquement sur le terrain (300 unités de 15 m² placées systématiquement), une cartographie tracée à la main sur des photographies aériennes infrarouges couleurs par un écologiste sur le terrain ou encore une combinaison d'analyses en stéréoscopie de photographies aériennes infrarouges couleurs et de relevés sur le terrain (Grünig *et al.*, 2005). Finalement, une méthode s'est avérée beaucoup moins coûteuse que les autres tout en apportant une image réaliste de la situation de la tourbière. Il s'agit d'une méthode alliant des images de télédétection, des modèles de surface et une interprétation traditionnelle de photographies aériennes, qui permet d'identifier des unités de surface homogènes parmi lesquelles sont sélectionnées un nombre limité d'unités faisant l'objet de relevés de végétation sur le terrain (Grünig *et al.*, 2005). Pour le moment, le programme suisse de suivi des tourbières procède à une identification d'unités homogènes où sont effectués des relevés de terrain. Il n'utilise toutefois pour se faire que des photographies aériennes.

Suite à la première étape d'établissement du plan d'échantillonnage (cf p.44), les mesures évaluées sont donc les suivantes :

Mesures : (Centre de protection des marais, 14/02/2007)

- la procédure implique la classification des portions de milieux en **unités de surface homogènes** sur des **photographies aériennes** sur la base de leur couleur et leur texture. Parmi les 103 cellules sélectionnées dans le programme suisse, 20 000 unités de surface homogènes ont été identifiées (Grünig *et al.*, 2005);
- sur la base que les surfaces qui se ressemblent sur les photographies aériennes ont des végétations similaires, les mesures sur le terrain peuvent se limiter aux différentes unités de surface homogènes des portions de milieux;

- sur le terrain, pour chaque unité de surface homogène est notée :
 - la **liste des espèces** de plantes vasculaires et de mousses,
 - le **couvert** (% recouvrement) des espèces de plantes vasculaires et de mousses.

Les différentes cartes de végétation produites dans le cadre du programme de suivi des tourbières de la Suisse sont disponibles (en allemand) sur le site de *Advisory Service for Mire Conservation* pour le premier inventaire (1997-2001; Centre de protection des marais, 14/02/2007). Diverses cartes d'indicateurs écologiques sont également fournies. Selon l'information disponible sur le site Internet, un second inventaire a eu lieu en 2003-2005. La comparaison des données des divers inventaires (cartes et relevés de terrain) permettra d'étudier les changements dans la végétation et les limites du milieu.

Fiche synthèse des principales mesures répétées relatives à la végétation

- √ Liste et couvert des espèces de plantes vasculaires et de mousses pour des unités de surface homogène identifiées sur des photographies aériennes.
- √ Cartographie des patrons de végétation et de distribution des communautés végétales.

3.4 Mesures de suivi de la végétation des tourbières abandonnées au Québec et au Nouveau-Brunswick

Plusieurs pays proposent diverses méthodes pour effectuer le suivi des tourbières abandonnées après exploitation de la tourbe. Toutefois, nous nous sommes limité à présenter le programme de suivi développé pour le Québec et le Nouveau-Brunswick pour deux raisons : nous considérons qu'il représente le programme de référence en Amérique du Nord et la végétation ciblée est celle des tourbières boréales canadiennes.

Le dépôt de tourbe accumulé dans les tourbières représente un intérêt pour plusieurs industries. En Amérique du Nord, la tourbe est exploitée depuis le début du 20^e siècle essentiellement à des fins horticoles (Warner et Buteau, 2000). Lorsque l'exploitation du dépôt de tourbe s'est terminée, plusieurs de ces tourbières exploitées ont été laissées à l'abandon (Poulin et *al.*, 2005). Les tourbières abandonnées n'ont généralement plus aucune couverture végétale, ce qui permet l'amorce d'une revégétation naturelle de la surface. Cette dernière s'effectue plus ou moins facilement dépendamment de la technique utilisée pour la récolte de la tourbe (Rochefort, 2001). Plusieurs études mesurent le retour de la végétation dans les tourbières abandonnées et certaines d'entre elles effectuent un suivi de la recolonisation végétale naturelle étendu sur plusieurs années.

La quasi-totalité des tourbières abandonnées du centre du Québec, du Bas-Saint-Laurent et du Lac-Saint-Jean, de même que celles de la Péninsule Acadienne et de l'Est du Nouveau-Brunswick, font partie d'un réseau de suivi de la recolonisation végétale en cours depuis 12 ans et effectué par le Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) réunissant des chercheurs de l'Université Laval et de trois autres universités canadiennes. Ce suivi a débuté lors des étés de 1994 et 1995 au cours desquels 26 tourbières abandonnées ont fait l'objet d'un vaste inventaire (Poulin et *al.*, 2005). Lors de cet inventaire, le couvert (% recouvrement) des différentes strates de végétation (arbres, éricacées, herbacées, sphaignes, mousses autres que les sphaignes, lichens, eau et tourbe nue) a été évalué selon une échelle semi-quantitative (0 %, 1 à 10 %, 11 à 25 %, 26 à

50 %, 51 à 100 %) pour l'étendue totale de la tourbière. Une marche systématique dans les tourbières permettait de fournir cet estimé pour chaque secteur des tourbières. Par la suite, une sélection aléatoire proportionnelle et stratifiée à travers les différents types de structure de la végétation (strates dominantes) pour chaque site a permis de sélectionner un total de 250 sections de tourbières afin d'y effectuer des relevés détaillés. Les relevés détaillés reposaient sur la méthode d'*échantillonnage par points*. Tel que présenté au chapitre 2, cette technique consiste à déplacer une tige de métal le long d'un transect et de noter les espèces végétales touchant à cette tige lors d'arrêts à des intervalles fixes. Dans le cas du suivi effectué par le GRET, le dénombrement de chaque espèce de plantes vasculaires, bryophytes et lichens touchant la tige a été effectué pour 10 positions équidistantes le long de 10 transects équidistants par section de tourbière. L'inventaire de la végétation a été complété par des mesures d'épaisseur de dépôt de tourbe (à l'aide d'une tige d'acier), de profondeur de la nappe phréatique (à l'aide d'un trou creusé dans la tourbe), de degré de décomposition de la tourbe (à 10 cm de profondeur; échelle de von Post) et de mesures de pH et de conductivité électrique pour l'eau de surface échantillonnée au centre de chaque section de tourbière inventoriée (Poulin *et al.*, 2005).

Le suivi des tourbières abandonnées mené par le GRET a été répété lors des étés 2005 et 2006. Les mêmes tourbières ont été visitées. De plus, 35 nouvelles sections ayant fait l'objet d'exploitation ont été ajoutées au réseau de suivi (M. Poulin, U. Laval, comm. pers, 2006). Les mêmes protocoles d'inventaire de végétation et les mêmes mesures de paramètres physiques ont été appliqués. La position des transects pour la méthode d'échantillonnage par points a été déterminée de nouveau (installation sporadique). Les données recueillies lors du suivi de la recolonisation végétale des tourbières abandonnées du Québec et du Nouveau-Brunswick (2005-2006) n'ont toutefois pas encore été analysées (M. Poulin, U. Laval, comm. pers, 2006).

Certaines tourbières faisant partie de ce réseau de suivi de la recolonisation végétale ont également fait l'objet d'un suivi plus détaillé à travers diverses études, notamment celles de Cacouna-Station et de Rivière-du-Loup. Toutes deux sont situées dans le Bas-Saint-Laurent. À la suite de l'abandon des activités de récolte de tourbe en 1989, la tourbière de

Cacouna-Station a fait l'objet d'un suivi orienté sur la recolonisation végétale qui a débuté en 1994 (Lavoie et Rochefort, 1996) et qui s'est poursuivi en 1997 et 1998 (Bérubé et Lavoie, 2000; Girard *et al.*, 2002). En 1994, l'étude de la végétation portait sur trois secteurs de la tourbière qui se différençaient par la nature de l'exploitation y ayant eut cours (tranchées *versus* aspiration; Lavoie et Rochefort, 1996). Le même secteur aspiré a été revisité en 1998 et les transects identifiés en 1994 ont été repris (installations permanentes; Bérubé et Lavoie, 2000). L'étude s'est également penchée sur la végétation des tranchées en 1997, toutefois, les tranchées visitées n'étaient pas les mêmes qu'en 1994 (Girard *et al.*, 2002).

Le procédé de mesure de la végétation est le même que celui utilisé par le GRET pour l'ensemble des tourbières abandonnées, soit l'*échantillonnage par points*. Les espèces de plantes vasculaires, de bryophytes et de lichens touchant un bâton de 1 cm de diamètre déplacé et positionné à tous les 4 m le long de huit transects (264 m de long et 4 m de séparation) ont été notées aux mêmes endroits de la section aspirée en 1994 et 1998 (Lavoie et Rochefort, 1996; Bérubé et Lavoie, 2000). Dans les secteurs de tranchées, les espèces ont été notées à tous les 2 mètres le long de six ou sept transects (90 à 180 m de longueur et 2 à 3 m de séparation) en 1994 et en 1997 (Lavoie et Rochefort, 1996; Girard *et al.*, 2002). Des mesures sur les arbres ont été ajoutées aux relevés de végétation. L'arbre situé le plus près dans un rayon de 4 m autour d'un point positionné à tous les 4 ou 8 m le long des transects portant des chiffres impairs a fait l'objet de mesures de dendrochronologie en 1994 et 1997 et de hauteur et de diamètre à hauteur de poitrine en 1994 (Lavoie et Rochefort, 1996; Girard *et al.*, 2002). Ces mesures ont été remplacées pour le secteur aspiré en 1998 par une mesure de la hauteur de tous les arbres dans un quadrat de 25 x 28 m pour éviter de perturber davantage les arbres (Bérubé et Lavoie, 2000). Des mesures de paramètres physiques (profondeur de tourbe, nappe phréatique, chimie de l'eau) ont été acquises lors de la caractérisation de nouveaux secteurs étudiés, soit en 1994 et 1997 (Lavoie et Rochefort, 1996; Bérubé et Lavoie, 2000; Girard *et al.*, 2002). De nombreuses études hydrologiques ont également été menées à la tourbière de Cacouna-Station dans le but de mieux définir les conditions nécessaires au rétablissement de la végétation (Rochefort, 2001).

Seule l'étude de 1998 a été rédigée dans l'optique précise de rapporter les résultats d'un suivi de la recolonisation végétale de la tourbière de Cacouna-Station entre deux années. Dans cette étude, les relevés de végétation de 1994 et 1998 ont été comparés statistiquement dans leur ensemble et pour la fréquence de chaque espèce prise individuellement. On a démontré que les relevés de végétation différaient entre 1994 et 1998, notamment par l'accroissement du couvert d'éricacées, par l'apparition de cinq nouvelles espèces en 1998 et par la présence de nombreuses plantules de bouleaux cette même année.

La tourbière de Rivière-du-Loup est la plus grande tourbière ombrotrophe de la région du Bas-Saint-Laurent (Lavoie *et al.* 2005). Elle a été exploitée pour la production de tourbe horticole sur une grande partie de sa surface. Deux sections abandonnées depuis 14 ans ont fait l'objet d'un suivi sur une période de cinq ans. Sur chacune de ces deux sections, un quadrat de 10 m x 20 m, subdivisé en 50 sous-quadrats de 2 m x 2 m, a été délimité (Lavoie *et al.*, 2005). En juin de chaque année entre 1998 et 2002, le couvert (% recouvrement) de chaque espèce de plantes vasculaires, de bryophytes et de lichens a été évalué selon une échelle semi-quantitative (0 %, <1 %, 1 à 10 %, 11 à 25 %, 26 à 50 %, 51 à 75 %, 76 à 100 %) dans chaque sous-quadrat. L'évolution de la végétation à travers les années a été évaluée en comparant la classe de recouvrement médiane de chaque espèce dans chaque sous-quadrat et en faisant le total de toutes les médianes des sous-quadrats. Les arbres présents sur le site en 1998 ont été cartographiés et ont fait l'objet les années subséquentes d'une mesure de leur statut (vivant/mort) et de leur taille.

Cette étude portait également une attention particulière à la dynamique de la population d'*Eriophorum vaginatum* en lien avec ses capacités colonisatrices des sites abandonnés après exploitation, mais nous ne rapporterons pas les mesures qui y sont associées. À chaque semaine de la période estivale en 2000 et 2001, la nappe phréatique a été mesurée à l'aide de puits et la teneur en eau volumique du sol a été mesurée à l'aide d'une sonde pour chaque quadrat. Au début de l'étude, une analyse chimique de tourbe et une mesure de l'épaisseur de tourbe ont été effectuées dans chaque quadrat. Cette étude a permis d'affirmer que sur une période de cinq ans, le couvert d'*E. vaginatum* a décliné, celui des

éricacées a augmenté, et que le bas niveau de nappe phréatique (40 cm sous la surface) explique en grande partie l'échec de recolonisation des espèces végétales typiques de tourbière.

Fiche synthèse des principales mesures répétées relatives à la végétation

Programme général :

√ 250-300 sections de tourbière visitées aux ± 10 ans.

√ 10 transects par section.

√ Relevé (couvert) des plantes vasculaires, bryophytes et lichens à l'aide d'un échantillonnage par points.

Tourbière de Cacouna-Station :

√ 3 sections de tourbière visitées à un intervalle de quatre ans.

√ Relevé (couvert) des plantes vasculaires, bryophytes et lichens à l'aide d'un échantillonnage par points.

√ Mesures sur les arbres (hauteur, diamètre à hauteur de poitrine, dendrochronologie).

Tourbière de Rivière-du-Loup :

√ 2 sections visitées à un intervalle de cinq ans.

√ 1 quadrat de 10 m x 20 m par section.

√ Couvert (% recouvrement) des espèces de plantes vasculaires, bryophytes et lichens par classes de recouvrement pour 50 sous-quadrats de 2 m x 2 m.

√ Mesures sur les arbres (cartographie initiale, vivant/mort, taille).

3.5 Programme de suivi des tourbières restaurées de l'Est du Canada

Comme pour le suivi de la végétation des tourbières abandonnées après exploitation de la tourbe, plusieurs pays proposent des mesures de suivi pour la végétation des sites en restauration. Nous présentons l'approche de suivi de l'Est du Canada pour les mêmes motifs que ceux exposés pour les tourbières abandonnées, car nous considérons qu'elle représente le programme de référence en Amérique du Nord et parce que la végétation ciblée est celle des tourbières boréales canadiennes. Ce programme est issu des recherches du Groupe de recherche en écologie des tourbières (GRET) se déroulant essentiellement au Québec et au Nouveau-Brunswick. Néanmoins, il est d'intérêt pour un territoire plus vaste, puisque son application actuelle s'étend notamment aux États-unis (Minnesota).

La restauration des tourbières au Canada s'applique essentiellement aux sites de tourbières ayant fait l'objet d'exploitation à des fins de production de tourbe horticole (Rocheffort, 2001). Les tourbières ayant ainsi subi une extraction de leur dépôt de tourbe se retrouvent intensément perturbées. Cette perturbation s'exprime notamment à travers un retrait de la végétation de surface, l'absence de graines permettant la recolonisation, un assèchement important et une instabilité des conditions hydrologiques. L'intervention humaine par la restauration est souvent nécessaire afin de rétablir un couvert végétal et une hydrologie permettant le retour d'un écosystème fonctionnel et accumulateur de tourbe pour ces sites exploités. Depuis le début des années 1990, le GRET a développé et mis en pratique une approche de restauration basée essentiellement sur une réintroduction végétale, un remouillage du substrat et une amélioration des conditions d'établissement du couvert, notamment par une couverture de pailis et une fertilisation (Quinty et Rocheffort, 1997; Rocheffort, 2001; Rocheffort *et al.*, 2003). Afin de suivre le succès de cette restauration végétale, le GRET a mis en place un réseau de suivi de la végétation à long terme.

Le programme de suivi des tourbières restaurées de l'Est du Canada inclut un suivi de l'établissement de la végétation et un suivi de l'avifaune. Le suivi des oiseaux, effectué

par points d'écoute, a débuté en 1993 et la fréquence d'application est de trois ans (Desrochers, 2001; A. Desrochers, U. Laval, comm. pers.). Quant au suivi de la végétation, il repose essentiellement sur des mesures effectuées dans des parcelles permanentes d'une dimension de 5 m x 5 m (S. Boudreau, U. Laval, comm. pers., 2006). Les parcelles sont distribuées de façon à représenter toutes les communautés végétales, et ce, de façon proportionnelle à leur présence sur le site. Par ailleurs, les parcelles permanentes ont initialement fait l'objet lors de leur mise en place d'analyses chimiques (pH, conductivité électrique, éléments chimiques) et physiques (profondeur du dépôt, masse volumique apparente et degré de décomposition) de la tourbe. La profondeur de la nappe phréatique a également fait l'objet de mesures hebdomadaires la première année du suivi. Ces mesures pourront être répétées si le besoin se manifeste et la fréquence de répétition de ces mesures sera alors déterminée selon les objectifs de suivi pour chacun des sites restaurés. Le suivi de rétablissement de la végétation a une fréquence ciblée de deux ans et inclut les mesures suivantes effectuées dans les parcelles permanentes (S. Boudreau, U. Laval, comm. pers., 2006) :

- **couvert** de chaque **strate** de végétation (arbres/arbustes, éricacées, herbacées et mousses, de même que tourbe nue ou litière, substrat perturbé et total) exprimé en classes de recouvrement;
- **hauteur** moyenne de chaque **strate**;
- **couvert** (% recouvrement) de chaque **espèce vasculaire** effectué pour la superficie totale de la parcelle pour les arbres/arbustes de plus de 1 m de hauteur ou pour quatre quadrats de 1 m x 1 m disposés dans la parcelle pour les espèces des autres strates (arbres/arbustes si < 1 m, éricacées, herbacées et mousses);
- **couvert** (% recouvrement) **total** de la strate muscinale, des différents **groupes muscinaux** (sphaignes, lichens, autres mousses), puis de chacune des **espèces de bryophytes et de lichens** pour 20 quadrats de 25 cm x 25 cm disposés dans la parcelle permanente;
- compilation de **données climatiques** à la station météorologique la plus proche afin d'assister à l'interprétation des données.

Jusqu'à maintenant, la technique de restauration développée par le GRET a été appliquée à grande échelle sur 11 sites au Québec et au Nouveau-Brunswick par le groupe de recherche lui-même, par les compagnies de production de tourbe ou encore par des consultants (GRET, 2006). À l'heure actuelle, le GRET est responsable d'effectuer le suivi à long terme du succès de restauration et de l'établissement de la végétation de l'ensemble de ces sites. Sommairement, le programme de suivi effectué par le GRET à travers les sites de tourbières restaurées du Québec et du Nouveau-Brunswick regroupe 220 parcelles permanentes (GRET, 2006). Une tourbière restaurée près de Rivière-du-Loup, celle de « Bois-des-Bel », est également une station d'étude spécifique pour laquelle, en plus des suivis réguliers, sont effectués des suivis des flux de carbone, des populations microbiennes et un suivi détaillé de l'hydrologie (Rochefort, 2001; Andersen, 2006; Andersen *et al.*, 2006; Shantz et Price, 2006).

La compilation des données récoltées par le GRET pour le suivi des tourbières restaurées de l'Est du Canada est en cours. Ainsi, les résultats des analyses issues de ce suivi n'ont pas encore fait l'objet de publications.

Fiche synthèse des principales mesures répétées relatives à la végétation

- √ 220 parcelles permanentes (11 tourbières) visitées aux deux ans.
- √ Parcelles permanentes de 5 m x 5 m.
- √ Mesure de couvert et de hauteur des strates de végétation.
- √ Mesure du couvert des plantes vasculaires (espèces) ainsi que des bryophytes et lichens (espèces, groupes muscinaux et total).

3.6 Programme de suivi des tourbières restaurées au Royaume-Uni

Plusieurs sites de tourbières perturbées font l'objet d'interventions visant leur restauration et de mesures de suivi de l'effet de ces interventions à travers le monde. En plus du programme de suivi pour les tourbières restaurées de l'Est du Canada, nous avons décidé d'inclure celui du Royaume-Uni car il s'agit d'un essai de programme normalisé et uniforme à tous les sites de tourbières de la région. La Finlande a également proposé récemment un programme uniforme pour le pays pour le suivi de la restauration des tourbières (voir Hokkanen *et al.*, 2005). Toutefois, comme le guide explicatif de ce programme est écrit pour le moment en finnois, il ne nous est pas possible d'en rapporter le contenu. D'autre part, ce programme national finlandais est au stade d'ébauche.

Les tourbières ombrotrophes du Nord-ouest de l'Europe ont été en grande partie détruites ou intensément perturbées par l'agriculture, l'afforestation ou l'exploitation de la tourbe depuis le début du XIXe siècle. Par la suite, ce sont les activités de drainage qui sont devenues le principal facteur de dégradation de ces milieux. Plusieurs organismes de conservation du Royaume-Uni s'intéressent depuis des décennies à la protection et la restauration des tourbières drainées (Johnson, 1997).

Des projets de restauration visant la réhabilitation des conditions hydrologiques et de la végétation de tourbière ombrotrophe ont cours dans plusieurs tourbières de cette région, notamment dans les *National Nature Reserves*, depuis le début des années 1980 (Shaw et Wheeler, 1995). En 1992, l'agence de conservation *English Nature* débutait un vaste programme de quatre ans visant la conservation et la réhabilitation des tourbières les plus importantes au niveau scientifique et couvrant les plus grandes superficies au Royaume-Uni. Des interventions ont été effectuées sur de nombreux sites de tourbières colonisés par une végétation perturbée afin de les restaurer en milieux accumulateurs de tourbe (Johnson, 1997).

Dans le cadre de ce programme, l'agence a publié une revue des suivis effectués sur douze tourbières restaurées du Royaume-Uni, certaines mesures étant en cours

localement depuis des décennies (voir Shaw et Wheeler, 1995). Parmi ces tourbières, six furent incluses dans le programme de 1992 de *English Nature* (Shaw et Wheeler, 1995; Johnson, 1997). Les principales composantes faisait l'objet d'un suivi à travers les tourbières sont le niveau de la nappe phréatique, la végétation et, de façon moins commune, les invertébrés et les oiseaux (Shaw et Wheeler, 1995). Un suivi général par photographies à point fixes⁴ et par photographies aériennes a également été effectué sur certains sites. Les installations consistaient dans la plupart des cas en une série de puits d'observation de la nappe phréatique installés le long de transects et de quadrats permanents de végétation associés à ces puits (Johnson, 1997). La lecture des puits d'observation était généralement faite à tous les 15 jours, toutes les semaines ou de manière continue à l'aide d'un système de mesure électronique (Shaw et Wheeler, 1995). La taille des quadrats permanents variait à travers les sites entre 0,25 m² et 4 m², le format le plus commun étant de 1 m². Le nombre de quadrats par site variait de moins de 10 à plus de 100. On y mesurait la plupart du temps le couvert (classes de recouvrement) de l'ensemble de la végétation ou d'espèces clés. Le couvert des plantes vasculaires était généralement évalué à l'espèce. Celui des bryophytes et lichens était également évalué à l'espèce ou pour l'ensemble des espèces de ces catégories (total). La fréquence d'échantillonnage était également variable. Les mesures de végétation ont été effectuées à tous les ans, pendant 2 à 10 ans, à trois sites. À l'un des sites, un suivi a également été fait dans 42 quadrats permanents à tous les 3 ou 5 ans pendant 20 ans. Toutefois, une fréquence de cinq ans a été privilégiée pour la plupart des sites (Shaw et Wheeler, 1995).

La mise en commun des différentes mesures de suivi des tourbières restaurées a permis de conclure sur la pertinence des diverses mesures. Dans le cas des tourbières restaurées, la végétation et l'hydrologie s'avèrent être les deux composantes prioritaires à mesurer. La mesure de la nappe phréatique est souvent utilisée comme un des indicateurs des conditions hydriques d'un site. Des mesures de données climatiques (minimalement les

⁴ Le suivi par photographies à points fixes consiste à identifier des localisations sur les sites d'étude à partir desquelles des photographies, au sol, peuvent être prises à certains intervalles (1 à 10 ans) à un moment de l'année constant. Ces localisations devraient idéalement comprendre, le cas échéant, les transects ou les quadrats inclus dans le programme de suivi, ainsi que les types de végétation et les habitats principaux. Le suivi par photographie à points fixes ne permet pas de statuer sur la condition du site mais est un outil pertinent de soutien à l'interprétation et à la diffusion pour un public non familier (Shaw et Wheeler, 1995).

données quotidiennes de précipitations et de températures minimale et maximale), de variations topographiques, de qualité de l'eau (pH, conductivité électrique) et de déplacement des écoulements (piézomètres) peuvent aussi être d'intérêt pour le suivi des conditions physiques. En regard à la végétation, la combinaison de diverses mesures devrait être favorisée (quadrats permanents, quadrats sporadiques, transects, espèces indicatrices, etc.). Au nombre des espèces indicatrices de perturbation, le *Juncus effusus* est proposé comme indicateur d'eutrophisation. Les *Sphagnum recurvum*, *S. fimbriatum* et *S. squarrosum* ainsi que la quenouille, le roseau commun, le saule et l'aulne sont proposés comme indicateurs d'un enrichissement en nutriments. Certaines essences forestières arborescentes (bouleau, pin) et muscinales (*Pleurozium schreberi*) de même que les lichens du genre *Cladonia* sont proposées comme indicateurs d'assèchement. D'autre part, la prise de photographies à des points fixes de manière répétée et l'usage de photographies aériennes (tous les 5 à 10 ans) sont des outils pertinents à intégrer dans un programme de suivi pour évaluer les changements dans les habitats. Les oiseaux, quoique non prioritaires pour le suivi des tourbières restaurées, peuvent être utilisés à titre d'indicateurs de l'état de l'écosystème. Le suivi des invertébrés s'avère par contre dispendieux et exigeant en temps. Il s'avère également difficile à régir à l'aide de cibles à atteindre (Shaw et Wheeler, 1995).

Après cette revue des suivis en cours sur les tourbières restaurées et après la tenue d'un atelier regroupant les agences gouvernementales et les ONG du Royaume-Uni, l'agence *English Nature* a proposé un programme simplifié et uniforme de suivi en tourbière restaurée devant être utilisé à l'échelle nationale (Johnson, 1997).

En voici les lignes directrices par rapport à la méthodologie :

- **cinq** puits d'observation de la **nappe phréatique** (permettant d'enregistrer la valeur la plus haute et la plus basse) combinés à un instrument de mesure des variations topographiques doivent être installés à chaque site et la lecture doit se faire tous les **mois**;
- des **photographies aériennes** permettant de voir l'eau libre de surface doivent être prises tous les **deux ans**;

- les **données climatiques** de la station la plus proche doivent être consultées;
- le couvert (% recouvrement) de la végétation doit faire l'objet de mesures tous les **cinq ans** dans des **quadrats permanents** de 1 m² situés près de puits à nappe phréatique;
- une **cartographie** (SIG) des communautés végétales permettant l'accumulation de tourbe doit être faite conjointement aux mesures dans les quadrats permanents (à tous les **cinq ans**);
- si les ressources le permettent, l'étendue d'espèces indicatrices d'**invertébrés** peut être évaluée;
- les oiseaux ne doivent pas faire l'objet de suivi (seule la cartographie des colonies de goélands peut être d'intérêt).

On doit noter que l'objectif premier de ce programme est le suivi des changements hydrologiques et dans un deuxième temps des changements biologiques et le retour de la fonction d'accumulation de tourbe pour des sites restaurés. Ce programme d'ordre général proposé à l'échelle nationale peut être enrichi de mesures supplémentaires au niveau local afin de mieux répondre aux problèmes spécifiques de chaque site. Les mesures développées à l'échelle locale peuvent porter sur :

- la prise de photographies à des points fixes afin d'évaluer la structure de la végétation et l'eau libre de surface;
- les oiseaux;
- les espèces rares;
- un suivi hydrologique caractérisant l'efficacité des installations de régulation des conditions hydrologiques comme les barrages, le cas échéant;
- les autres composantes permettant d'augmenter la valeur d'interprétation du site (par ex. : éléments archéologiques).

Fiche synthèse des principales mesures répétées relatives à la végétation

√ Quadrats permanents de 1 m x 1 m visités à tous les cinq ans. Mesure du couvert (% de recouvrement).

√ Cartographie des communautés végétales.

Tableau 4 : Sommaire des méthodes de mesure de la végétation présentées au chapitre 2 et employées dans les études de cas.

	Méthode par quadrats	Méthode par transects	Méthode par points	Qualitatives	Groupes fonctionnels	Caractéristiques de structure	Espèces indicatrices	Qualitatives
	Espèces				Communautés			
Burns Bog (prog. d'éval. de l'IE)					Communautés dominées par les sphaignes (couvert)		Plantes indicatrices d'eutrophisation	1.Esp. introduites 2.Envahissement du <i>Pinus</i> (struc.) 3.Perturbations
Moor-House / Upper-Teesdale	Fréquence (parcelles permanentes)			1.Condition de la population d'arbres 2. Présence/absence (1;2) parcelles perm.				
Tourbières Suisse	Couvert							Cartographie des communautés
Tourbières abandonnées QC/NB			Couvert (éch. par points)					
Cacouna-Station			Couvert (éch. par points, en partie permanent)	Condition de la population d'arbres				
Rivière-du-Loup	Couvert (quadrats permanents)			Condition de la population d'arbres				
Tourbière restaurées est du Canada	Couvert (parcelles permanentes)					Couvert et hauteur des strates		
Tourbières restaurées Royaume-Uni	Couvert (quadrats permanents)				Communautés accumultrices de tourbe (cartographie)			1.Cartographie des comm. 2.Photos à des points fixes

CHAPITRE 4 :

Les protocoles et installations déjà proposés dans le passé pour le suivi de la végétation dans la RPNCAM

4.1 Les consultants SOGEAM inc.

Un protocole de suivi environnemental des milieux écologiques de la RPNCAM a été développé en 1988 par la firme de consultants SOGEAM inc. Les mesures incluses dans ce suivi ont été appliquées dans une première campagne de terrain en 1988 puis reprises en partie au cours des étés 1989 et 1991. Leur analyse a fait l'objet d'un rapport produit par la firme FORAMEC en 1992.

Dans un premier temps, la firme SOGEAM inc. a présenté un rapport contenant une synthèse bibliographique des impacts de la récréation sur les milieux naturels, une hiérarchisation des milieux écologiques de la RPNCAM en fonction de leur capacité de support théorique et de leur fragilité face aux activités de récréation et une revue de littérature sur les stratégies d'échantillonnage et les méthodes les plus couramment utilisées pour évaluer l'impact de la récréation (Gratton *et al.*, 1989, tome 1). À la lumière de ces informations, la firme a proposé un protocole de suivi de l'impact des visiteurs sur les milieux écologiques de la RPNCAM.

Ce rapport indique que l'ensemble des groupements végétaux de tourbières ont une faible résistance au piétinement, notamment les groupements des tourbières minérotrophes non riveraines. D'ailleurs, la végétation des tourbières ombrotrophes est reconnue comme étant très sensible aux véhicules tout-terrain alors que 40 passages sont suffisants pour détruire la totalité du couvert végétal dans les sentiers (Ross, 1991). Toutefois, la fragilité des milieux humides serait atténuée par une vitesse de récupération plus grande que celle des milieux secs selon les consultants. La firme SOGEAM inc. a donc davantage orienté son suivi sur les milieux secs. Dans le protocole de suivi soumis par la firme SOGEAM inc., des secteurs de la Grande Île, de l'île Quarry, de l'île Niapiskau de

même que l'ensemble de l'île Nue de Mingan et de la Petite île au Marteau ont été sélectionnés pour faire l'objet de mesures en raison de leur fragilité, de leur représentativité et de leurs types de végétation. La position des stations d'échantillonnage à travers ces îles a été choisie sur la base de leur aptitude à rendre compte des impacts appréhendés par l'utilisation des visiteurs, c'est-à-dire en fonction des composantes d'intérêt (végétation, géomorphologie, etc.) qu'elles comportent et des aménagements appréhendés. Aucune station d'échantillonnage n'a été positionnée dans la végétation de tourbière. Au cours de l'été 1988, à l'aide d'une première campagne de terrain, 36 stations d'échantillonnage ont été retenues, incluant sept stations témoins, ainsi qu'un transect sur l'île Nue de Mingan servant au suivi de la dispersion des visiteurs. La très grande majorité de ces stations sont situées dans une végétation de lande (Gratton *et al.*, 1989, tome 1). Les landes ont également été reconnues comme le milieu le plus sensible aux activités de randonnée et d'hébergement par le Groupe Dryade Ltée (1986).

En fonction de l'objectif du suivi, les mesures effectuées à chacune des stations différaient. La majorité des stations visaient un suivi de l'utilisation diffuse, c'est-à-dire des déplacements aléatoires des visiteurs. Les autres stations avaient pour but de suivre l'utilisation canalisée (c'est-à-dire la présence de visiteurs le long des sentiers), l'utilisation localisée (c'est-à-dire au site de camping de l'île Nue de Mingan), la dispersion des visiteurs sur l'île Nue de Mingan, les prélèvements de plantes rares sur la falaise, les prélèvements de fossiles et l'impact des visiteurs sur les formes de levées de plage et sur les formes périglaciaires. La majorité de la végétation présente dans ces stations est propre à la lande (Gratton *et al.*, 1989, tome 1).

La mise en place du protocole de suivi a d'abord nécessité la description générale du milieu pour chacune des stations. Celle-ci a été effectuée dans une placette-échantillon⁵ de 400 m² (20 m x 20 m ou 10 m x 40 m) localisée dans la station et incluait des informations sur le milieu physique et une description de la végétation. À l'intérieur de ces placette-échantillons, ont été appliqués divers protocoles en fonction du type de suivi.

⁵ Terme propre à la foresterie. Lorsqu'elle est permanente, la placette-échantillon est l'unité d'échantillonnage établie pour le suivi à long terme où sont effectués toute sorte d'observations.

Pour le suivi de l'utilisation diffuse, un transect de 20 m a été positionné de manière à intercepter le passage éventuel de visiteurs. Des placettes⁶ de 50 cm x 50 cm ont été échantillonnées à tous les mètres le long de ce transect. Pour le suivi de l'utilisation canalisée, trois transects équidistants de 5 m ont été positionnés perpendiculairement au sentier. Neuf placettes de 20 cm x 50 cm ont été placées au centre du sentier, immédiatement de part et d'autre de celui-ci et à 1 m, 2 m et 5 m de distance. Des mesures de largeur et de profondeur du sentier ont été notées. Pour le suivi de l'utilisation localisée, deux transects de 60 mètres de longueur ont été positionnés de façon croisée. Des placettes de 50 cm x 50 cm ont été placées à tous les 3 m. Dans les placettes de ces trois types de suivi, les variables suivantes ont été mesurées :

- superficie (%) occupée par le sol minéral, le sol organique, la litière et les débris végétaux;
- superficie (%) occupée par les différentes strates de végétation;
- recouvrement de chaque espèce végétale (à 1 % près si < 10 % et par tranche de 10 % si > 10 %);
- dénombrement des individus ou des thalles par espèce pour les plantes d'intérêt;
- présence de défoliation, blessure et flétrissement par espèce.

Pour le suivi de la dispersion des visiteurs sur l'île Nue de Mingan, deux observateurs devaient marcher à 5 m de distance le long d'un transect traversant la pointe nord de l'île afin de noter les indices de perturbations liés au piétinement des visiteurs. Et finalement, pour le suivi du prélèvement de plantes rares dans la falaise, le protocole prévoyait de suivre qualitativement, à l'aide de photographies, certaines colonies de plantes rares. Les autres suivis ne concernent pas la végétation (Gratton *et al.*, 1989, tome 1).

Le fonctionnement de ces protocoles a été testé lors d'une campagne de terrain en août 1988. Les données ont été prises à 32 des 36 stations prévues. L'application des protocoles a varié légèrement pour certaines placettes-échantillons mais l'ensemble a respecté le protocole établi (Gratton *et al.*, 1989, tome 1). En 1989, 15 des placettes-échantillons ont été visitées à nouveau et une placette-échantillon a été ajoutée à la liste. En 1991, 12 des placettes-échantillons ainsi que le transect de l'île Nue de Mingan ont été

⁶ Placette est l'équivalent du quadrat. Il s'agit de l'unité d'échantillonnage de la végétation.

échantillonnés. Certaines mesures préconisées ont été retirées du protocole de mesure de suivi à cause des difficultés qu'elles présentaient, soit le dénombrement des individus ou des thalles pour les plantes d'intérêt et la présence de défoliation, de blessures et de flétrissement par espèce (FORAMEC, 1992).

Les résultats de ce suivi ont démontré tout d'abord que la principale difficulté résidait dans la détection des impacts du piétinement à travers les changements de recouvrement végétal. En effet, la subjectivité des mesures de couvert fait en sorte que la variation interannuelle est grande. Les évaluations des différents observateurs entraînent des différences qui dépassent le seuil critique recommandé pour déterminer une transformation critique du milieu, soit 20 %. À l'aide de certains tests statistiques, les auteurs ont néanmoins pu déterminer que pour la majorité des placettes-échantillons, il n'y eu aucune modification liée au piétinement, du moins à l'extérieur des sentiers prévus. Selon les auteurs, le réseau de stations de suivi est adéquat pour suivre l'impact des visiteurs sur les milieux fragiles de l'archipel. Cependant, des modifications permettant de réduire le temps accordé pourraient être appliquées compte tenu du peu de changement noté.

4.2 Del Degan, Massé & Associés Inc.

L'étude de Del Degan, Massé & Associés Inc. (1998) a proposé l'implantation d'un réseau permanent de suivi des écosystèmes terrestres pour la réserve de parc (Del Degan, Massé & Associés Inc., tome 5).

Le réseau proposé dans ce programme de suivi est constitué de 24 placettes-échantillons permanentes de forme circulaire (400 m²) mises en place en 1996. Ces placettes-échantillons ont été localisées à travers tous les groupements arborescents, de même qu'à travers les principaux groupements arbustifs, tels qu'identifiés par le Groupe Dryade Ltée (1986). Par la suite, les placettes-échantillons ont été associées aux différents types forestiers afin de faire la correspondance avec les catégories des cartes écoforestières.

Parmi ce réseau, trois placettes-échantillons se retrouvent en tourbière soit :

(1;2) tourbière minérotrophe non riveraine; placettes no. 9-2 et 12-2;

(3) tourbière minérotrophe riveraine de platière; placette no. 8-2.

Par ailleurs, lorsque l'on utilise la classification du Groupe Dryade Ltée (1986), quatre placettes-échantillons supplémentaires pourraient être positionnées en tourbière. En effet, les groupements végétaux suivants sont représentés :

(1) *pessière noire* à *Pleurozium schreberi* et *Sphagnum capillifolium* (tourbière ombrotrophe); placette no. 11-1

(2) *pessière blanche* à *Sphagnum warnstorffii* et *Tomenthypnum nitens* (tourbière minérotrophe non riveraine); placette no. 4-1

(3;4) *pessière blanche* à *Cornus stolonifera* ou peupleraie boréale à *Cornus stolonifera* ou groupement à *Salix* spp. (tourbière minérotrophe riveraine de cuvette); placettes no. 7-1 et 7-2

En 1996, diverses mesures ont été effectuées dans les placettes-échantillons. La plupart de ces mesures étaient relatives aux arbres (échantillonnage dendrométrique, régénération des essences arborescentes, continuité de combustible, spatialisation de la localisation des arbres). Toutefois, le programme de mesure contenait également un dossier photographique, un relevé des variables du site (caractéristiques du sol et topographiques), un relevé des données relatives à l'habitat faunique (quantité de débris ligneux, brout, nombre de chicots résineux ou feuillus dénombrés par classe de diamètre) et un relevé complet de la végétation selon les différentes strates (arborescente, arbustives supérieures et inférieures, herbacées, muscinale et lichénique).

Le sondage effectué en 1998 constituait la phase initiale du programme de suivi. Les résultats de ce sondage sont rapportés pour chacune des placettes-échantillons sur des fiches synthèses dans le tome 5 de l'étude de Del Degan, Massé & Associés Inc. (1998). Le mandat de la firme de consultants dans leurs rapports de 1998 s'arrêtait à

l'établissement de ce programme. Nous ne pouvons donc fournir aucun résultat sur l'évolution de la végétation observée dans le cadre de ce suivi.

CHAPITRE 5 :

Commentaires sur le modèle conceptuel des milieux humides d'eau douce de la RPNCAM

Le but du modèle conceptuel est de créer une carte des relations entre les différents éléments (biodiversité, processus et stress) des tourbières afin de pouvoir mieux cerner les meilleures mesures à mettre en place pour le suivi (A. Robillard, RPNCAM, comm.pers., 2006). Les formes grises indiquent les composantes principales de l'écosystème. Les formes bleues illustrent les processus liant ces composantes entre elles. Les formes vertes sont les processus naturels de perturbation et les formes rouges sont les perturbations d'origine anthropique (stress).

5.1 Modèle conceptuel soumis par l'équipe de la RPNCAM

La Figure 1 présente le modèle conceptuel des tourbières soumis par l'équipe de la RPNCAM. À défaut de commenter chacune des interactions de ce modèle et d'y proposer des modifications, nous présentons une nouvelle schématisation du modèle conceptuel (Figure 2). Cette nouvelle schématisation met l'emphase sur les composantes de la végétation, de la tourbe et de l'eau.

Figure 1: Écosystème des milieux humides d'eau douce (Tourbières)

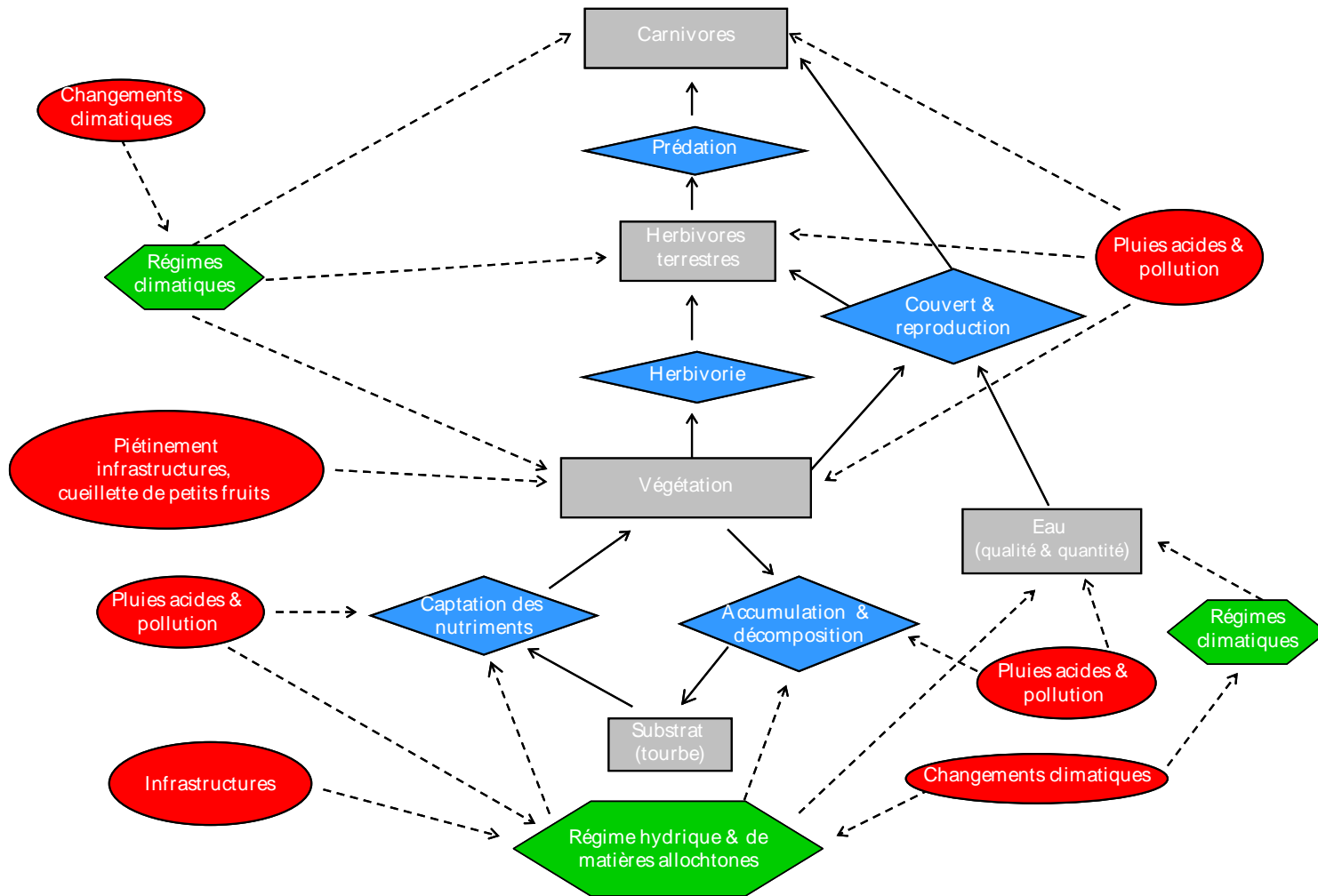
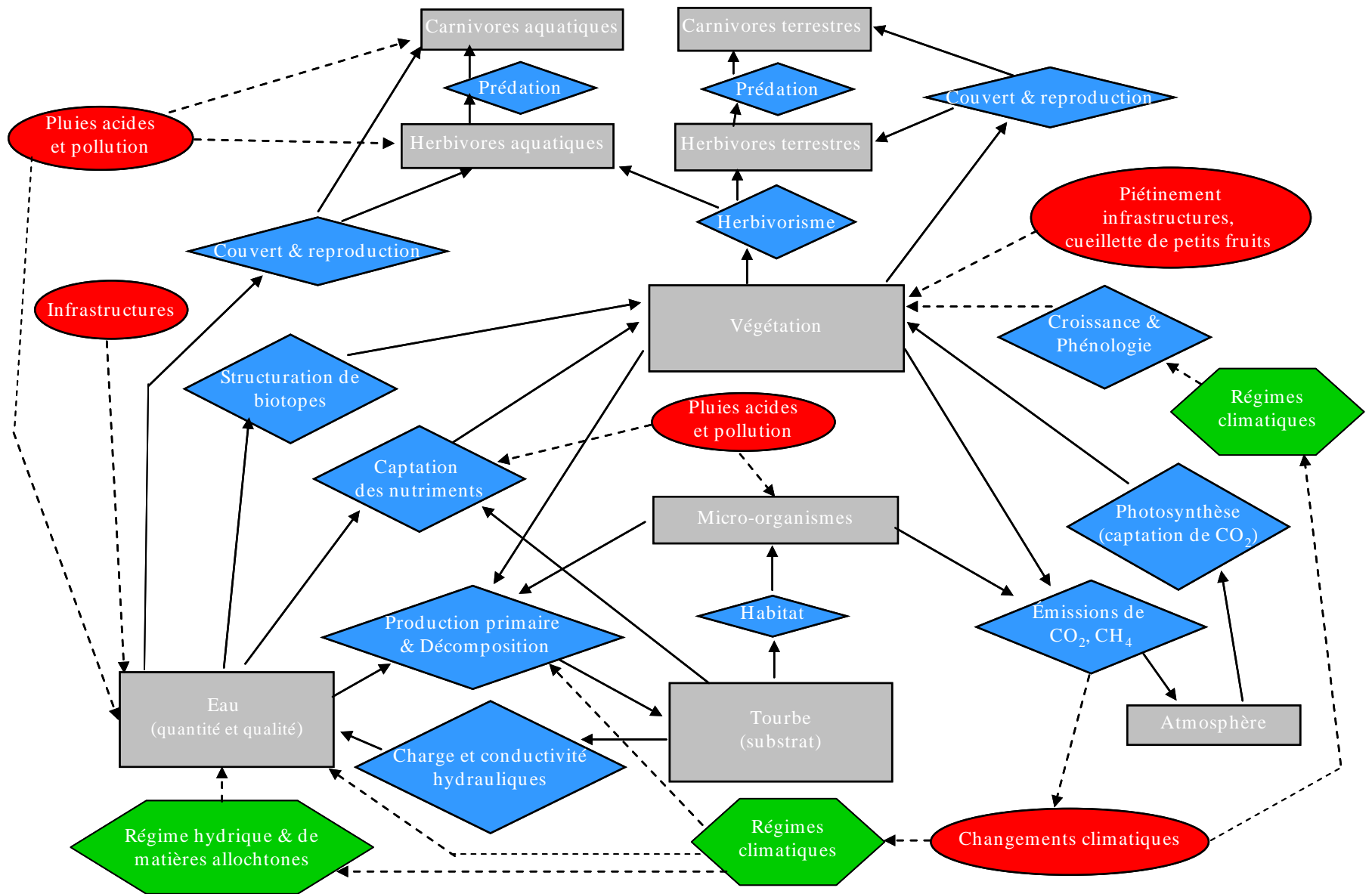


Figure 2: Écosystème des milieux humides d'eau douce (Tourbières)



5.2 Explication du modèle proposé par le GRET

Nous proposons donc une réorganisation des éléments du modèle conceptuel de la RPNCAM (Figure 2). Les interactions présentées dans le nouveau modèle conceptuel sont décrites dans le texte qui suit. Afin d'aider le lecteur à repérer les interactions dans le modèle conceptuel, les composantes, les processus et les stress entrant dans l'interaction principale sont soulignés. La littérature citée pour appuyer la présentation des interactions est présente à titre indicatif et ne se veut pas exhaustive. L'organisation de ces éléments constitue un essai, le modèle conceptuel proposé pourrait être amélioré par l'apport de l'opinion de d'autres spécialistes.

Les composantes

L'eau (quantité et qualité)

La quantité d'eau réfère à la présence physique de l'eau, ses mouvements verticaux et son écoulement (Rydin et Jeglum, 2006). La profondeur de la nappe phréatique, mesure de la quantité d'eau, est l'une des variables les plus importantes pour la physionomie de la végétation ainsi que pour la présence et la croissance des plantes (Rydin et Jeglum, 2006). Le niveau de la nappe phréatique en tourbière ne suit pas la topographie de surface, ce qui crée des habitats caractérisés notamment par des conditions hydriques différentes que l'on nomme « biotopes ». La végétation des tourbières répond fortement à ce gradient hydrique, ou gradient dans la quantité d'eau disponible (Campbell et Rochefort, 2001).

En plus de répondre à un gradient lié à la quantité d'eau, la répartition de la végétation des tourbières répond à un gradient dans la chimie de l'eau, ou qualité de l'eau (Glaser *et al.*, 1990). On reconnaît en écologie des tourbières une dichotomie menant à deux grands ensembles de tourbières, soit les tourbières minérotrophes et les tourbières ombrotrophes auxquelles est associée une végétation bien distincte. Or, deux gradients propres à la qualité de l'eau sont proposés comme étant explicatifs du gradient ombrotrophie-minérotrophie, soit le gradient de pH/conductivité/alcalinité/cations et le gradient de la

disponibilité en nutriments (N, P et K; voir Campbell et Rochefort, 2001; Rydin et Jeglum, 2006). Par ailleurs, la disponibilité de certains nutriments (par ex. N et P) est influencée par certains paramètres du gradient pH/conductivité/alcalinité/cations (par ex. pH, Ca²⁺; Campbell et Rochefort, 2001). Sommairement, nous avons résumé l'interaction entre la végétation et la qualité de l'eau par le processus de captation des nutriments.

La quantité d'eau influence aussi la tourbe, par le processus de décomposition. Le taux de décomposition est affecté par les proportions du profil de tourbe qui sont en condition aérobie ou anaérobie; les conditions aérobie et anaérobie sont déterminées par le niveau de la nappe phréatique (Rydin et Jeglum, 2006).

En retour, la composante de l'eau est influencée par le régime climatique, le régime hydrique et de matières allochtones et par la tourbe.

L'influence du régime hydrique et des matières allochtones sur la qualité de l'eau diffère selon la nature minérotrophe ou ombrotrophe de la tourbière. En tourbière minérotrophe, l'eau circulant dans le milieu est enrichie par un contact avec le substrat rocheux sous-jacent. La qualité de l'eau est alors influencée par le régime hydrique et des matières allochtones via l'eau qui circule dans le profil de tourbe en plus d'être influencée par le régime climatique (précipitations). En tourbière ombrotrophe, l'accumulation d'un dépôt de tourbe a pour effet d'isoler la surface où croît la végétation, faisant en sorte que la qualité de l'eau en surface ne répond plus essentiellement qu'au régime climatique (précipitations). La quantité d'eau est pour sa part influencée à la fois par le régime hydrique et des matières allochtones et par le régime climatique dans les deux types de tourbières.

Également, la tourbe influence la quantité d'eau. En effet, la direction et la facilité avec lesquelles l'eau se déplace dans le profil de tourbe sont régies par la charge hydraulique et la conductivité hydraulique respectivement (Rydin et Jeglum, 2006). Or, ces deux processus répondent directement aux propriétés de la tourbe, particulièrement au degré d'humification.

La tourbe (ou substrat)

Les tourbières se définissent notamment par la présence d'un dépôt de tourbe (Payette, 2001; Charman, 2002; Rydin et Jeglum, 2006). L'accumulation graduelle de ce dépôt résulte de la dominance de la production primaire sur la décomposition. La tourbe est donc tributaire de la productivité de la végétation, qui varie en fonction des espèces, et de la décomposition régie essentiellement par l'activité des micro-organismes répondant aux facteurs d'aération (profondeur de la nappe phréatique), de qualité du substrat, de pH ou de température (Rydin et Jeglum, 2006). Par ailleurs, la nature de la végétation influencera également la formation de la tourbe via la décomposition car tous les types de végétation ne se décomposent pas aussi facilement. Par exemple, la sphaigne se décompose plus lentement que les autres végétaux des tourbières ombrotrophes (van Breemen, 1995).

En retour, la tourbe influence la végétation par la captation de nutriments comme pour les autres milieux humides. Néanmoins, ce modèle d'alimentation est de moindre importance en tourbière car la tourbe est pauvre en éléments nutritifs (Caron, 2001).

Les micro-organismes

En tourbière, la présence et l'activité des micro-organismes se révèlent d'une importance particulière. En effet, les micro-organismes sont au cœur du processus de décomposition, qui en retour influence l'accumulation de tourbe (Francez, 2000). La tourbe offre l'habitat aux micro-organismes et ses caractéristiques influencent fortement l'activité de ces derniers. En bref, le facteur le plus important pour l'activité de décomposition par les micro-organismes est la nature de la tourbe et tout particulièrement la qualité de la matière organique disponible pour la décomposition (Rydin et Jeglum, 2006). Les interactions entre les micro-organismes et les autres composantes sont davantage indirectes. Notamment, la végétation agit indirectement sur les micro-organismes en influençant la nature botanique de la tourbe accumulée. De plus, nous avons également vu que la quantité d'eau influence le processus de décomposition par les micro-organismes en stimulant certaines populations selon leur préférence pour les conditions aérobie ou anaérobie, c'est-à-dire les conditions rencontrées au-dessus ou au-dessous de

la nappe phréatique. Nous avons déjà mentionné aussi que la température (régie par le régime climatique) influence grandement la décomposition par les micro-organismes. Ainsi, les interactions entre les micro-organismes et les composantes de la végétation et de l'eau, ou du processus de régime climatique, sont liées au processus de décomposition dans le modèle conceptuel plutôt qu'à la composante des micro-organismes elle-même.

Le cycle du carbone est important à la structure et au fonctionnement des tourbières (Moore, 2001). En retour, les tourbières tiennent un rôle clé dans le cycle du carbone, du gaz carbonique (CO₂) et du méthane (CH₄) à l'échelle du globe (Moore, 2001). Les micro-organismes s'allient à la végétation pour contrôler l'essentiel des cycles du CO₂ et du CH₄ dans cet écosystème. La végétation est responsable du passage du CO₂ de l'atmosphère vers la tourbière par la photosynthèse alors que les émissions de CO₂ allant de la tourbière vers l'atmosphère sont régies essentiellement par la respiration de la végétation, la respiration des micro-organismes et la décomposition qui repose sur l'activité des micro-organismes (Shurpali *et al.*, 1995; Alm *et al.*, 1999). Les émissions de méthane vers l'atmosphère sont quant à elles le résultat de l'activité des micro-organismes : au-dessous de la nappe phréatique les micro-organismes génèrent du méthane alors qu'au-dessus, ils le réduisent (Bubier *et al.*, 1995). Plusieurs travaux s'interrogent sur l'effet des tourbières sur le climat dans le contexte des changements climatiques, puisque le CO₂ et le CH₄ sont deux gaz à effet de serre importants (Gorham, 1991, Roulet, 2000). Nous avons donc inclus l'interaction peu commune entre les émissions de CO₂ et de CH₄ et les changements climatiques au modèle conceptuel.

La végétation

En plus d'être une composante clé de la biodiversité, la végétation des tourbières est au centre de nombreux processus régisseurs de cet écosystème. Les sphaignes apprécient tout particulièrement les conditions acides, froides, anoxiques et pauvres en éléments nutritifs de la tourbière. En retour, elles entretiennent elles-mêmes ces conditions, ce qui leur donne le titre « d'ingénieurs » des tourbières boréales (van Breemen, 1995; Rydin et Jeglum 2006). Toutefois, il ne nous est pas possible à travers le mode de présentation du

modèle conceptuel d'inclure les interactions se produisant à l'intérieur de la composante végétation entre les sphaignes et les autres plantes.

Les interactions impliquant la végétation ont déjà été présentées sous d'autres composantes. Nous pouvons ajouter que la croissance et la phénologie de la végétation des tourbières seront affectées par le régime climatique.

Herbivores et carnivores aquatiques

En bref, les connaissances sur les mammifères et les oiseaux en tourbière au Canada sont extrêmement limitées et il en est d'autant plus vrai pour la description des interactions entre les régimes trophiques (voir Warner et Assada, 2006). Une des explications probables à l'intérêt moindre démontré pour la faune vertébrée des tourbières est qu'aucune espèce de vertébré n'est reconnue comme étant exclusive aux tourbières, contrairement à plusieurs invertébrés (Desrochers et van Duinen, 2006).

La composante de l'eau, ainsi qu'indirectement celle de la tourbe qui crée la topographie, sont responsables de la présence de mares sur les tourbières. Ces mares offrent couvert et sites de reproduction aux herbivores et aux carnivores aquatiques. La faune des mares est principalement représentée par les arthropodes et quelques amphibiens (Desrochers et van Duinen, 2006; Rydin et Jeglum, 2006). Quoiqu'ils soient bien représentés dans les tourbières d'Europe, les oiseaux aquatiques sont beaucoup moins abondants que les oiseaux terrestres dans les tourbières du Québec (Desrochers, 2001). Parmi les espèces de la faune aquatique, les carnivores interagissent avec les herbivores par le processus de la prédation. Dans le modèle conceptuel, nous n'avons pas fait la distinction entre les organismes végétaux terrestres et aquatiques pour les tourbières; c'est donc la composante végétation dans son ensemble que nous avons liée aux herbivores aquatiques via l'herbivorisme.

Herbivores et carnivores terrestres

La végétation et la mosaïque de biotopes qu'elle présente offrent couvert et sites de reproduction aux herbivores et carnivores terrestres. La faune terrestre des tourbières est

représentée par les invertébrés se trouvant dans la tourbe, les reptiles et les amphibiens, les oiseaux et, en moindre importance, les mammifères. Les amphibiens et les reptiles sont également davantage présents dans d'autres milieux humides (Rydin et Jeglym, 2006). Les oiseaux terrestres constituent un groupe faunique très important des tourbières du Québec. En effet, ils représentent 80 % des vertébrés rencontrés en tourbière et l'ensemble des 20 espèces nicheuses les plus fréquemment retrouvées en tourbière sont des oiseaux terrestres (Desrochers, 2001).

De nouveau, les carnivores interagissent avec les herbivores par le processus de la prédation. L'herbivorisme est également présent entre les herbivores terrestres et la végétation des tourbières. De même, les tourbières minérotrophes forestières offrent des ressources alimentaires appréciées de certains rongeurs ou grands cervidés (Rydin et Jeglum, 2006). Toutefois, la végétation des tourbières ombrotrophes à sphaignes est, quant à elle, très pauvre en éléments nutritifs, ce qui fait en sorte que peu d'herbivores s'y alimentent (Rydin et Jeglum, 2006).

Les perturbations anthropiques :

Les infrastructures

L'interaction entre les infrastructures et la composante de l'eau décrit essentiellement l'impact potentiel d'une infrastructure sur le patron hydrologique de l'eau alimentant une tourbière de la RPNCAM.

Le piétinement, les infrastructures et la cueillette des petits fruits

Ces différentes perturbations anthropiques ont été regroupées ensemble, car elles ont le potentiel d'affecter la végétation en causant des blessures à des individus, qu'elles soient létales ou non.

Les pluies acides et la pollution

La pollution par voie atmosphérique est particulièrement menaçante pour les tourbières considérant qu'une partie d'entre elles ne s'alimentent qu'avec l'eau de pluie (Charman, 2002). Néanmoins, la pollution atteignant les tourbières minérotrophes par ruissellement peut également avoir un effet significatif.

Les pluies acides peuvent modifier les propriétés de la qualité de l'eau. Toutefois, plusieurs processus autogènes causent l'acidification des tourbières alors il est difficile de cerner l'apport des pluies acides sur les modifications du pH (Clymo, 1984; Charman, 2002). Il a néanmoins été démontré que, quoique moins sensibles que d'autres écosystèmes, les tourbières ombrotrophes peuvent subir un abaissement de pH en réponse aux pluies acides de l'ordre de 0,7-0,8 (Proctor et Maltby, 1998).

Il a également été démontré que l'effet des pluies acides sur la végétation était notamment perceptible dans la captation des nutriments. Des études de simulation des pluies acides ont démontré leur effet fertilisant sur la croissance des sphaignes et de la mousse *Tomenthypnum nitens* (Rochefort et Vitt, 1988; Rochefort *et al.*, 1990). Toutefois, l'effet fertilisant sur les sphaignes est de courte durée, de l'ordre de 2 à 3 ans. De plus, les sphaignes s'adaptent à l'apport en azote en diminuant leur capacité à retenir le NO_3^- qui se retrouve dans la tourbe et ainsi stimule la croissance des plantes supérieures (Woodin et Lee, 1987) au détriment des sphaignes. En résumé, l'effet stimulant ou nuisible des dépositions azotées sur les sphaignes semble être influencé par la concentration en azote de ces dépositions et la période de temps où elles prennent effet. L'apport en azote des peut également stimuler la biomasse des micro-organismes, qui en retour augmentent le taux de décomposition (Gilbert *et al.*, 1998; Aerts *et al.*, 1992).

L'enrichissement en azote (pollution) dans les tourbières peut provenir de d'autres sources que les dépositions atmosphériques, notamment par le ruissellement en provenance de zones agricoles ou résidentielles (Charman, 2002) affectant la qualité de l'eau dans le milieu. Cette pollution peut aussi apporter du phosphore participant à l'eutrophication (Charman, 2002). Cette pollution affecte également la végétation en

modifiant la dynamique entre les espèces et leur captation respective de nutriments. Par exemple, l'eutrophication pourrait diminuer la présence d'éricacées, cette dernière s'étant montrée inversement proportionnelle à la disponibilité en nutriments (tous les macronutriments à l'exception de l'azote) en tourbière ombrotrophe (Stewart et Nilsen, 1993). En général, les dynamiques de changement dans les communautés végétales sont reliées au gradient de phosphore à proximité de la source de pollution (Charman, 2002).

Les pluies acides peuvent également affecter physiologiquement la faune aquatique des milieux humides; quoique que les effets les plus importants risquent de se manifester au niveau de l'habitat (Anderson, 1986).

Les changements climatiques

L'effet des changements climatiques sur les tourbières est un sujet d'étude très prisé dans la littérature scientifique, car les tourbières tiennent un rôle clé à l'échelle du globe dans les cycles du CO₂ et du CH₄, deux gaz à effet de serre.

Dans l'ensemble, selon la plupart des recherches actuelles, les changements climatiques auront pour effet de modifier le régime climatique. La nature du changement dans le régime climatique au Québec variera vraisemblablement selon les régions (Bégin, 2006; Yagouti *et al.*, 2006). En retour, le régime climatique influencera directement ou indirectement toutes les composantes incluses dans le modèle conceptuel. Par exemple, plusieurs chercheurs reconnaissent que les changements liés aux conditions hydriques dans les scénarios de réponse aux changements climatiques seraient des plus structurants pour les tourbières (Gignac et Vitt, 1994). Par ailleurs, quoique les effets des changements climatiques sur le cycle du carbone en tourbière soient imprévisibles (Gorham, 1991; Moore *et al.*, 1998), les flux de CO₂ et CH₄ risquent d'être affectés par les modifications de la nappe phréatique mais également par la hausse des températures, par l'augmentation des concentrations de CO₂ atmosphérique ou encore par celle de la durée de la saison de croissance (Moore, 2001). Les changements climatiques peuvent également être responsables de changements dans le niveau marin. En tourbière, un changement dans le niveau de la mer peut également causer une incursion d'eau marine

dans le milieu (Charman, 2002). En milieu côtier tout particulièrement, la nappe d'eau souterraine régionale est souvent liée au niveau marin, ainsi tout changement dans le niveau de la mer risque d'affecter indirectement l'hydrologie de la tourbière. De plus, plusieurs reconnaissent l'effet des changements de température des dernières décennies sur la phénologie des plantes (par ex. GIEC, 2002; Parmesan et Yohe, 2003). Néanmoins, en raison de la nature incertaine des effets des changements climatiques, nous laissons uniquement le lien entre ces derniers et le régime climatique dans le modèle conceptuel. Les autres interactions sont indirectement héritées du changement dans le climat.

CONCLUSION :

Discussion sur les possibilités pour le suivi de la biodiversité, des processus naturels et des stress

Ce rapport avait pour objectif de rassembler les diverses mesures présentes dans la littérature permettant le suivi des communautés végétales en tourbière. Le chapitre 3 présente les différents programmes de suivi pertinents et les mesures portant sur les communautés végétales qu'ils proposent. Le cas échéant, nous avons également fait mention, sans en décrire la méthodologie, des mesures abiotiques ou mesures portant sur la faune jointes aux mesures de la végétation.

Sommairement, plusieurs études incluent des mesures du couvert des espèces végétales (Tableau 4). Au nombre des autres mesures communes relatives à la végétation, on retrouve des mesures de condition des populations des espèces arborescentes, des mesures portant sur la structure (strates) de la végétation ou encore des mesures orientées sur la cartographie des communautés végétales. Également, des mesures de profondeur de la nappe phréatique sont souvent jointes aux mesures de suivi de la végétation. Qu'en est-il de la pertinence de ces différentes mesures pour le suivi de la biodiversité, des processus naturels et des stress?

Le modèle conceptuel a permis de démontrer que la végétation constitue une composante majeure de la biodiversité en tourbière et qu'elle est au cœur de plusieurs processus. En lien au modèle conceptuel, les mesures de couvert des espèces végétales présentées dans les programmes de suivi sont des indicateurs directs de la composante de la végétation. La pertinence de la mesure de couvert par rapport à d'autres mesures de la végétation (densité, fréquence, etc.) comme témoin de la diversité végétale en tourbière sera discutée dans le Rapport 3. Pour leur mesure de couvert, plusieurs programmes de suivi impliquent l'ensemble des espèces vasculaires, de bryophytes et de lichens. Tel que présenté au chapitre 2, au moment de l'interprétation, les mesures effectuées sur les espèces peuvent être rassemblées en groupes fonctionnels ou dirigées sur des espèces

indicatrices et ainsi devenir des mesures pertinentes des communautés végétales dans leur ensemble ou alors des indicateurs de perturbations spécifiques. Les mesures de cartographie des communautés végétales constituent également des témoins directs de la composante de la végétation.

Deuxièmement, les mesures se rapportant à la structure de la végétation (par ex. : hauteur et couvert des strates) sont riches en information. D'abord elles aident à caractériser la végétation. De plus, elles peuvent s'avérer être un indice de modifications dans les conditions hydriques d'une tourbière. La mesure de la profondeur de la nappe phréatique par rapport à la surface constitue par ailleurs une des mesures de la quantité d'eau en tourbière, tel que présenté dans le modèle conceptuel. Cette mesure permet donc également de mieux définir les biotopes d'une tourbière.

Certains paramètres descriptifs de la composante de la tourbe (physiques et chimiques) ont été mesurés lors de la caractérisation initiale des sites d'étude lors de la mise en place des suivis. Néanmoins, les composantes de la tourbe et des micro-organismes sont probablement celles les moins représentées dans les programmes de suivi orientés sur la végétation que nous avons présentés. Par conséquent, le suivi des processus naturels qui leur sont associés, notamment les processus de production/décomposition et de flux de carbone, ont peu été documentés dans ce rapport.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aaviksoo, K. 1993. Changes of plant cover and land use types (1950's to 1980's) in three mire reserves and their neighbourhood in Estonia, *Landscape Ecology*, 8 (4) : 287-301.
- Adamus, P.R. & K. Brandt. 1990. Impacts on quality of Inland Wetlands of the United states : A Survey of Indicators, techniques, and Applications of Community-level Biomonitoring data, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/3-90-073.
- Aerts R., B. Wallen & N. Malmer. 1992. Growth-limiting nutrients in Sphagnum-dominated bogs subject to low and high atmospheric nitrogen supply, *Journal of Ecology*, 80 (1) :131-140.
- Alm, J., L. Schulman, J. Walden, H. Nykänen, P.J. Martikainen, & J. Silvola. 1999. Carbon balance of a boreal bog during a year with an exceptionally dry summer, *Ecology*, 80 (1) : 161-174.
- Andersen, R. 2006. Suivi de la restauration écologique des tourbières ombrotrophes : le point de vue microbiologique, *Le Naturaliste Canadien*, 130 (1) : 25-31.
- Andersen, R., A.-J. Francez & L. Rochefort. 2006. The physicochemical and microbiological status of a restored bog in Québec: identification of relevant criteria to monitor success, *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 1375-1387.
- Anderson, J.M. 1986. Les effets des précipitations acides sur les terres humides, Document de travail no. 50, Recherche sur les précipitations acides, Direction générale des terres, Conservation et protection, Environnement Canada, 42 p.
- Bakker, J.P., H. Olf, J.H. Willems & M. Zobel. 1996. Why do we need permanent plots in the study of long-term vegetation dynamics, *Journal of Vegetation Science*, 7 : 147-156.
- Bégin, Y. 2006. Le changement climatique en cours dans le Nord du Québec, Mémoire présenté à la Commission parlementaire sur les Transports et l'Environnement, sous le thème de l'impact du réchauffement climatique dans le Nord du Québec, Assemblée nationale du Québec, 18 septembre 2006, 15 p.
- Bérubé, M.-È. & C. Lavoie. 2000. The natural revegetation of a vacuum-mined peatland: eight years of monitoring, *Canadian Field-Naturalist*, 114 (2) : 279-286.
- Bhiry N. & Fillion, L. 2001. Analyse des macrorestes végétaux, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 259-274.

- Bonham, C.D. 1989. Measurements for terrestrial vegetation, John Wiley & Sons, Wiley InterScience, 338 p.
- Bubier, J.L., T.R. Moore & S. Juggins. 1995. Predicting methane emission from bryophyte distribution in northern Canadian peatlands, *Ecology*, 76 (3) : 677-693.
- Bullock, J. 1996. Plants, dans *Ecological Census Techniques, a handbook*, Sutherland, W.J. (éd.). Cambridge University Press, p.111-138.
- Burns Bog Conservation Society (BBCS). About us. [En ligne en 2002-2003], < www.burnsbog.org/about/ >, (Page consultée le 22/11/2006).
- Campbell, D.R. & L. Rochefort. 2001. La végétation, gradients, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 129-140.
- Caron, J. 2001. La tourbe et les milieux artificiels, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 399-411.
- Centre de protection des marais. Contrôle de l'efficacité de la protection des marais. [En ligne le 13 octobre 2003], < <http://www.wsl.ch/land/inventory/mireprot/besmos/projekte/projekte-fr.ehtml> >, (Page consultée le 14/02/2007).
- Cerruti, A. 2004. Évaluation de l'exploitation des tourbières sur la faune présente dans le bassin versant de la rivière Fouquette, Direction de l'aménagement de la faune de la région du Bas-Saint-Laurent, Faune Québec, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 40 p.
- Charman, D.J. 2002. Peatland systems and environmental change, John Wiley & Sons, Chichester Ltd, 301 p.
- Clymo, R.S. 1984. Sphagnum-dominated peat bog: a naturally acid ecosystem, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 305 (1124) : 487-499.
- Desrochers, A. 2001. Les oiseaux : Diversité et répartition, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 159-174.
- Desrochers, A. & G.A. van Duinen. 2006. Peatland Fauna, dans *Boreal Peatland Ecosystems*, Wieder, R. K. & D. H. Vitt (éd.). *Ecological Studies*, Vol. 18, Springer-Verlag, New York, p. 67-100.

- Del Degan, Massé & Associés Inc. 1998. Inventaire et description des écosystèmes terrestres, Réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan. Tome 5 : implantation d'un réseau permanent de suivi des écosystèmes terrestres, 54 pages + annexes non paginées.
- Digital Globe. QuickBird specifications, [En ligne en 2007], < www.digitalglobe.com/about/imaging.shtml>, (Page consultée le 12/02/2007).
- The UK Environmental Change Network (ECN). About ECN, [En ligne octobre 1997], <www.ecn.ac.uk/>, (Page consultée le 22/11/2006).
- Elzinga, C.L., D.W. Salzer, J.W. Willoughby & J.P. Gibbs. 2001. Monitoring plant and animal populations, Blackwell Science Inc., 360 p.
- FORAMEC. 1992. Monitoring 1991 : Impacts d'utilisation sur les milieux fragiles, Réserve de parc national de l'Archipel de Mingan, 35 pages + annexes.
- Francez, A.-J. 2000. La dynamique du carbone dans les tourbières à *Sphagnum*, de la sphaigne à l'effet de serre, *L'Année Biologique*, 39 (4) : 205-270.
- Gignac, L.D. & D.H. Vitt. 1994. Responses of northern peatlands to climate change : effects on bryophytes, *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 75 : 119-132.
- Gilbert, D., C. Amblard, G. Boudier & A.-J. Francez. 1998. Short-term effect of nitrogen enrichment on the microbial communities of a peatland, *Hydrobiologia*, 373/374 : 111-119.
- Girard, M., C. Lavoie & M. Thériault. 2002. The regeneration of a highly disturbed ecosystem: a mined peatland in southern Québec. *Ecosystems*, 5 : 274-288.
- Glaser, P.H., Janssens, J.A., Siegel & D. I. 1990. The response of vegetation to chemical and hydrological gradients in the Lost River peatland, Northern Minnesota, *Journal of Ecology*, 78 (4) : 1021-1048.
- Gorham, E., S. G. Brush, L.J. Graumlich, M.L. Rosenweig & A.H. Johnson. 2001. The value of paleoecology as an aid to monitoring ecosystems and landscape, chiefly with reference to North America, *Environmental Reviews*, 9 : 99-126.
- Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming, *Ecological Applications*, 1(2) : 182-195.

- Gratton, L., D. Robert, M. Chagnon, J. Levasseur et R. Perreault. 1989. Protocole pour le suivi environnemental des milieux écologiques, Tome 1 : L'évaluation et le suivi de l'impact des visiteurs sur les milieux écologiques fragiles de l'Archipel de Mingan, par les consultants SOGEAM inc., Projet 87-1156, 152 pages + annexes.
- Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). 2002. Les changements climatiques et la biodiversité, Document technique V, Gitay, H., A. Suàrez, R.T. Watson & D. Jon Dokken (dir.), 72 pages + annexes non paginées.
- Groupe de recherche en écologie des tourbières. 2006. Rapport des activités (2003-2006), Chaire de recherche industrielle du CRSNG en aménagement des tourbières, 119 p.
- Groupe Dryade Ltée. 1986. La végétation de l'archipel de Mingan. Tome 1 : Présentation de la classification et description des habitats, 108 pages + annexes non paginées.
- Grünig, A., Steiner, G.M., Gunzler, C., Graf, U., Kùchler & M., 2005. Approaches to Swiss mire monitoring, *Stapfia*, 85 (zugleich Kataloge der OÖ. Landesmuseen Neue Serie 35) : 435-452
- Gunnarsson, U., H. Rydin & H. Sjörs. 2000. Diversity and pH changes after 50 years on the boreal mire Skattlösbergs Stormosse, Central Sweden, *Journal of vegetation Science*, 11 : 277-286.
- Harwell, M.A., V. Myers, T. Young, A. Bartuska, N. Gassman, J.H. Gentile, C.C. Harwell, S. Appelbaum, J. Barko, B. Causey, C. Johnson, A. McLean, R. Smola, P. Templet & S. Tosini. 1999. A framework for an Ecosystem Integrity Report Card, *BioScience*, 49 (7) : 543-556.
- Hebda, R.J., K. Gustavson, K. Golinski & A.M. Calder, 2000. Burns Bog Ecosystem Review Synthesis Report for Burns Bog, Fraser River Delta, South-western British Columbia, Canada, prepared for Environmental Assessment Office, BC.
- Hokkanen, M., K. Aapala, A. Alanen. (Éd). 2005. Ennallistamisen ja luonnonhoidon seurantasuunnitelma. (Abstract : National plan for monitoring at restoration and management sites). *Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja.*, Sarja B 76 : 1-85.

- Holopainen, M. & S. Jauhiainen. 1999. Detection of peatland vegetation types using digitized aerial photographs, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 25 (5) : 475-485.
- Jauhianen, S., A. Rasinmäki & M. Holopainen. 2003. Drainage-driven changes in a peatland ecosystem; an aerial photographic investigation, dans *Holocene development of two boreal mires and the ecological effects of drainage and restoration*, S. Jauhiainen (auteur), Department of Forest Ecology Publications, University of Helsinki.
- Johnson, B.R. 1997. Monitoring peatland rehabilitation, dans *Conserving peatlands*. L. Parkyn, R.E. Stoneman & H.A.P Ingram (éd.), p. 323-331.
- Küchler, M., K. Ecker, E. Feldmeyer-Christe, U. Graf, H. Küchler & L.T. Waser. 2004. Combining remotely sensed spectral data and digital surface models for fine-scale modelling of mire ecosystems, *Community Ecology*, 5(1) : 55-68.
- Laine, J., V-M. Komulainen, R. Laiho, K. Minkkinen, A. Rasinmäki, T. Sallantausta, S. Sarkkola, N. Silvan, K. Tolonen, E.-S. Tuittila, H. Vasander & J. Päivänen. 2004. *Lakkasuo- a guide to mire ecosystem*, Department of Forest Ecology Publications, University of Helsinki, 123 p.
- Lavoie, C. & L. Rochefort. 1996. The natural revegetation of a harvested peatland in southern Québec : A spatial and dendroecological analysis, *Écoscience*, 3 (10) : 101-111.
- Lavoie, M. 2001a. Analyse des microrestes végétaux : le pollen, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 295-309.
- Lavoie, C. 2001b. L'analyse paléontomologique, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 289-294.
- Lavoie, C., A. Saint-Louis & D. Lachance. 2005. Vegetation dynamics on a abandoned vacuum-mined peatland: 5 years of monitoring, *Wetlands Ecology and Management*, 13 : 621-633.
- Lillesand, T.M. & R.W. Kiefer. 2000. *Remote sensing and image interpretation*, Fourth edition, John Wiley & Sons Inc., 724 p.
- Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Les réserves écologiques, des habitats protégés au naturel. [En ligne 2002], <www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/reserves/>, (Page consultée le 16/11/2006).

- Moore, T.R., N.T. Roulet & M. Waddington. 1998. Uncertainty in predicting the effect of climatic change on the carbon cycling of Canadian peatlands, *Climate change*, 40 : 229-245.
- Moore, T.R. 2001. Les processus biogéochimiques liés au carbone, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 183-197.
- Ozesmi, S.L. & M.E. Bauer. 2002. Satellite remote sensing of wetlands, *Wetlands Ecology and Management*, 10 : 381-402.
- Parmesan, C. & G. Yole. 2003. A globally fingerprint of climate change impacts across natural systems, *Nature*, 421 : 37-42.
- Payette, S. 2001. Les principaux types de tourbières, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 39-90.
- Pellerin, S. & C. Lavoie. 2003. Reconstructing the recent dynamics of mires using a multitechnique approach, *Journal of Ecology*, 91 : 1008-1021.
- Poulin, M. & S. Pellerin. La conservation, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 505-518.
- Poulin, M., D. Careau, L. Rochefort & A. Desrochers. 2002. From satellite imagery to peatland vegetation diversity: how reliable are habitat maps? *Conservation Ecology*, 6 : 2-16
- Poulin, M., L. Rochefort, S. Pellerin & J. Thibault. 2004. Threats and protection for peatlands in Eastern Canada, *Géocarrefour*, 79 (4) : 331-344.
- Poulin, M., L. Rochefort, F. Quinty & C. Lavoie. 2005. Spontaneous revegetation of mined peatlands in eastern Canada, *Canadian Journal of Botany*, 83 : 539-557.
- Proctor, M.C.F & E. Maltby. 1998. Relationships between acid atmospheric deposition and the surface pH of some ombrotrophic bogs in Britain, *Journal of Ecology*, 86 : 329-340.
- Quinty, F. & L. Rochefort. 1997. Guide de restauration des tourbières, Association canadienne de mousses de tourbe, Université Laval, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Sainte-Foy, Québec, 21 p.
- Rochefort, L. & D.H. Vitt. 1988. Effects of simulated acid rain on *Tomenthypnum nitens* and *Scorpidium scorpioides* in a rich fen, *The Bryologist*, 91 : 121-129.

- Rochefort, L., D.H. Vitt & S.E. Bayley. 1990. Growth production, and decomposition dynamics of sphagnum under natural and experimentally acidified conditions, *Ecology*, 71 (5) : 1986-2000.
- Rochefort, L. 2001. Restauration écologique, dans *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Payette, S. & L. Rochefort (éd.). Les Presses de l'Université Laval, p. 449-504.
- Rochefort, L., F. Quinty, S. Campeau, K. W. Johnson & T. J. Malterer. 2003. North American approach to the restoration of Sphagnum dominated peatlands, *Wetlands Ecology and Management*, 11 : 3-20.
- Rodwell, J.S., J.M. Sykes & M.B. Helps (Natural Environment Research Council). 1996. The UK Environmental Change Network protocols for Standard Measurements at Terrestrial Sites, Vegetation, disponible en ligne à [www.ecn.ac.uk].
- Ross, J.B. 1991. Environmental Impact of All-terrain Vehicules on bogs and barrens of the Cape Breton Highlands. Dalhousie University, Nova Scotia, (thèse), 109 p.
- Roulet, N.T. 2000. Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto protocol: prospects and significance for Canada, *Wetlands*, 20 (4) : 605-615.
- Rydin, H. & Jeglum, J.K. 2006. The biology of peatlands, Oxford University Press, 392 p.
- Schuman, C.S. & R.F. Ambrose. 2003. A comparison of remote sensing and ground-based methods for monitoring wetland restoration success, *Restoration Ecology*, 11 (3) : 325-333.
- Shantz, M.A. & J.S. Price. 2006. Hydrological changes following restoration of the Bois-des-Bel Peatland, Quebec, 1999-2002, *Journal of Hydrology*, 331 : 543-553.
- Shaw, S.C. & B.D. Wheeler. 1995. Monitoring rehabilitation work on lowland peatlands, Environmental Consultancy, University of Scheffield, No.190 - English Nature Research Reports, 205 p.
- Shurpali, N. J., S.B. Verma, J. Kim & T.J. Arkerbauer. 1995. Carbon dioxide exchange in a peatland ecosystem, *Journal of Geophysical Research*, 100 (D7) : 14,319-14,326.
- Stewart, C.N. Jr & E.T. Nilsen. 1993. Association of edaphic factors and vegetation in several isolated appalachian peat bogs, *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 120 (2) : 128-135.

- Thomas, V., P. Treitz, D. Jelinski, J. Miller, P. Lafleur & J.H. McCaughley. 2002. Image classification of a northern peatland complex using spectral and plant community data, *Remote Sensing of Environment*, 84 : 83-99.
- Tilman, D. 1989. Ecological Experimentation: Strengths and Conceptual Problems, dans *Long-term studies in ecology, approaches and alternatives*, Lickens, G.E. (éd.), Springer-Verlag, New-York, p.136-157.
- U.S. EPA. 2002. Methods for evaluating wetland condition #10: using vegetation to assess environmental conditions in wetlands. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, EPA-822-R-02-020, 38 p.
- van Breemen, N. 1995. How Sphagnum bogs down other plants, *Trends in Ecology and Evolution*, 10 : 270-275.
- Vitt, D.H., L.A. Halsey & J. Doubt. 1999. Global and regional distinctness of Burns Bog, prepared for Delta Fraser Properties Partnership and the Environmental Assessment Office, In support to the Burns Bog Ecosystem review.
- Wallace J., G. Behn & S. Furby. 2006. Vegetation condition assessment and monitoring from sequence of satellite imagery. *Ecological Management & Restoration*, 7 (1) : 31-36.
- Warner, B.G. & T. Assada. 2006. Biological diversity peatlands in Canada, *Aquatic Science*, 68 : 240-253.
- Warner, B.G. & P. Buteau. 2000. The early peat industry in Canada, 1864-1945, *Geoscience Canada*, 27 : 57-66.
- Wildi, O., E. Feldmeyer-Christe, S. Ghosh & N. Zimmerman. 2004. A note on vegetation monitoring approaches, *Community Ecology*, 5 (1) : 1-5.
- Woodin S.J. & J.A. Lee. 1987. The fate of some components of acidic deposition in ombrotrophic mires, *Environmental Pollution*, 45 : 61-72.
- Yagouti, A., G. Boulet & L. Vescoti. 2006. Projet MENV-7 : Homogénéisation des séries de températures et analyse de la variabilité spatio-temporelle de ces séries au Québec méridional Rapport no. 4 : Homogénéisation des séries de températures du Québec méridional et analyse de l'évolution du climat à l'aide d'indicateurs, par le Consortium Ouranos, 140 p.