

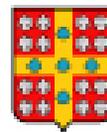
Institut de recherche
en biologie végétale

IRBV

JARDIN BOTANIQUE
DE MONTRÉAL

Université
de Montréal

UQÀM



UNIVERSITÉ
LAVAL

Rôle hydrologique et écologique régional de la tourbière de Covey hill



Stéphanie Pellerin

**Inst. Rec. Bio. Vég.
Université de Montréal
4101 Sherbrooke est
Montréal, Qc, H1X 2B2**

Marie Larocque

**Dép. Sci. Terre et atmosphère
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888 succ. Centre-Ville
Montréal, Qc, H3C 3P8**

Martin Lavoie

**Dép. Géographie
Université Laval
Pav. Charles-De Koninck
Québec, Qc, G1K 7P4**

REMERCIEMENTS

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements à la Fondation EJLB pour son support financier à la réalisation de ce projet. Nous remercions également le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Secteur faune, Direction du développement de la faune pour sa participation au projet par le prêt de sondes INW-PT2X essentielles pour le suivi des niveaux de la nappe phréatique. Finalement, nous sommes reconnaissants envers l'organisme Conservation de la Nature du Canada qui nous a permis d'accéder à ses propriétés et a facilité les contacts avec les résidents.

RÉSUMÉ

La colline de Covey qui constitue une vaste zone de recharge pour l'aquifère régional se distingue par l'abondance et de la diversité des milieux naturels qu'elle abrite. Ces milieux se caractérisent, entre autres, par la présence de plusieurs ruisseaux et sources qui servent d'habitats à deux espèces de salamandres rares. L'alimentation en eau de ces sources est en partie assurée par la présence d'une tourbière naturelle située au sommet de la colline. Les principaux objectifs du projet étaient d'étudier la dynamique hydrologique et écologique passée et actuelle de la tourbière et de mettre en place un réseau d'instruments qui permettra l'étude de son fonctionnement futur. Les objectifs spécifiques du projet étaient 1) de caractériser les échanges hydriques entre la tourbière et le reste de la colline, 2) d'établir le bilan hydrique de la tourbière, 3) de déterminer les composantes de la tourbière les plus sensibles aux perturbations, 4) d'identifier les communautés végétales présentes et de reconstituer leur évolution dans le temps, et 5) d'identifier les variables environnementales expliquant la répartition spatiale et la composition des communautés végétales. Le projet a été réalisé en trois volets : hydrologie, écologie végétale et paléoécologie. Le bilan hydrique de la tourbière indique que l'apport d'eau provient de l'aquifère environnant (52-70 %) et des précipitations (30-48 %). Les sorties se font par évapotranspiration (38-44 %) et par les ruisseaux exutoires (56-62 %). La contribution de la tourbière à l'hydrologie de la colline provient principalement de l'écoulement dans la couche de surface (acrotelme) des dépôts tourbeux qui, grâce à sa conductivité hydraulique plus élevée, contribue à l'écoulement vers les ruisseaux exutoires. Les inventaires floristiques ont permis de démontrer le haut niveau d'intégrité écologique de la végétation de la tourbière et d'identifier cinq communautés végétales distinctes, dont trois d'appartenance ombrotrophe. Les principales variables environnementales responsables de la composition des communautés végétales sont : la distance à la bordure, le pourcentage d'eau libre, le niveau de la nappe phréatique et le pH de l'eau. Les communautés ombrotrophes semblent les plus sensibles aux perturbations et notamment aux changements hydriques. Les analyses paléoécologiques indiquent que la tourbière date de plus de 12 000 ans. L'accumulation sédimentaire s'est amorcée au sein d'un petit plan d'eau dans un environnement de toundra arbustive. La tourbière a ensuite évolué vers des étapes de tourbière minérotrophe puis ombrotrophe. Un taux d'accumulation sédimentaire lent au cours de l'Holocène moyen pourrait traduire un climat plus sec à cette époque.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	2
RÉSUMÉ.....	3
TABLE DES MATIÈRES.....	4
LISTE DES TABLEAUX.....	5
LISTE DES FIGURES.....	5
LISTE DES ANNEXES.....	5
1 INTRODUCTION.....	6
2 SITE À L'ÉTUDE.....	9
3 VOLET HYDROLOGIE.....	11
3.1 MÉTHODOLOGIE.....	11
3.1.1 <i>Instrumentation</i>	11
3.1.2 <i>Géomorphologie des dépôts organiques</i>	12
3.1.3 <i>Propriétés hydrodynamiques de la tourbe</i>	12
3.1.4 <i>Géochimie de l'eau</i>	14
3.1.5 <i>Bilan hydrique</i>	15
3.2 RÉSULTATS.....	18
3.2.1 <i>Géomorphologie du dépôt organique</i>	18
3.2.2 <i>Propriétés hydrodynamiques de la tourbe</i>	20
3.2.3 <i>Bilan hydrique</i>	25
3.3 CONCLUSION.....	29
4 VOLET ÉCOLOGIE VÉGÉTALE.....	31
4.1 MÉTHODOLOGIE.....	31
4.1.1 <i>Inventaires floristiques</i>	31
4.1.2 <i>Données environnementales</i>	32
4.1.3 <i>Analyses des données</i>	33
4.2 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	33
4.2.1 <i>Caractéristiques floristiques de la tourbière</i>	33
4.2.2 <i>Groupements végétaux</i>	35
4.2.3 <i>Relations flore / environnement</i>	39
4.3 CONCLUSION.....	41
5 VOLET PALÉOÉCOLOGIQUE.....	42
5.1 MÉTHODOLOGIE.....	43
5.1.1 <i>Échantillonnage sur le terrain</i>	43
5.1.2 <i>Analyses sporopolliniques</i>	44
5.1.3 <i>Analyses macrofossiles</i>	44
5.1.4 <i>Datations au radiocarbone</i>	44
5.2 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	44
5.2.1 <i>Stratigraphie des sédiments et datations au radiocarbone</i>	44
5.2.2 <i>Histoire postglaciaire de la végétation régionale</i>	47
5.2.3 <i>Les peuplements forestiers exceptionnels</i>	48
5.2.4 <i>Histoire locale de la végétation de la tourbière</i>	49
5.2.5 <i>Informations paléoclimatiques livrées par la tourbière de la colline de Covey</i>	51
5.3 CONCLUSION.....	52
6 CONCLUSION GÉNÉRALE.....	54
7 RÉFÉRENCES.....	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Ruissellement par les exutoires et intervalles de confiance 95 %.....	28
Tableau 2. Bilan hydrique mensuel pour la partie est de la tourbière.....	28
Tableau 3. Caractéristiques environnementales pour chacun des groupements végétaux identifiés à la tourbière de la colline de Covey.....	36
Tableau 4. Recouvrement moyen des espèces selon les cinq groupements végétaux identifiés à la tourbière de la colline de Covey.....	38
Tableau 5. Résultats de l'analyse canonique des correspondances réalisée à partir des variables environnementales et des relevés floristiques de la tourbière de la colline de Covey.....	40
Tableau 6. Datations au radiocarbone de la carotte de la tourbière de la colline de Covey.....	45
Tableau 7. Principaux résultats de l'analyse macrofossile de la carotte de la tourbière de la colline de Covey.....	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation de la colline de Covey, de la tourbière et des terrains protégés.....	6
Figure 2. Localisation des stations de mesures hydrologiques au sein de la tourbière.....	12
Figure 3. Maquette expérimentale pour la mesure de la conductivité hydraulique horizontale de l'acrotelme.....	14
Figure 4. Carte piézométrique de la colline de Covey.....	16
Figure 5. Vue en coupe du profil A-B.....	19
Figure 6. Vue en coupe du profil C-D.....	19
Figure 7. Direction de l'écoulement dans la tourbière de la colline de Covey.....	20
Figure 8. Conductivité hydraulique verticale et horizontale de trois carottes.....	21
Figure 9. Conductivité électrique (a) et pH (b) de l'eau de la tourbière, des exutoires, de la nappe souterraine et des précipitations.....	22
Figure 10. Contenus en ions majeurs de l'eau de la tourbière et des exutoires.....	23
Figure 11. Variation temporelle du contenu en ¹⁸ O de l'eau de la tourbière, des exutoires, de la nappe souterraine et des précipitations.....	24
Figure 12. Composition isotopique de l'eau de la tourbière, des exutoires, de la nappe souterraine et des précipitations.....	25
Figure 13. Composition isotopique moyenne des stations P5S et P6S et droite d'évaporation de l'exutoire ouest.....	25
Figure 14. Courbe de tarage pour l'exutoire TBE1.....	27
Figure 15. Positionnement des profils d'inventaire floristique dans la tourbière.....	31
Figure 16. Dispositif pour les inventaires floristiques dans la tourbière.....	32
Figure 17. Fréquence des 15 principales espèces présentes dans la tourbière.....	34
Figure 18. Fréquence des espèces invasculaires et vasculaires présentes dans la tourbière.....	35
Figure 19. Localisation des groupements végétaux à la tourbière.....	36
Figure 20. Diagrammes d'ordinations par analyses canonique de correspondances de l'assemblage floristique de la tourbière.....	40
Figure 21. Localisation du lieu de prélèvement de la carotte pour les analyses paléocéologiques.....	43
Figure 22. Modèle de l'âge des sédiments en fonction de la profondeur pour la carotte.....	46

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Liste des taxons inventoriés dans la tourbière de la colline de Covey.....	60
Annexe 2. Liste des taxons inventoriés sur le sol minéral à proximité de la tourbière.....	62
Annexe 3. Diagramme sporopollinique simplifié des pourcentages.....	63

1 INTRODUCTION

La colline de Covey, située à proximité de la frontière Canada/États-Unis dans le sud du Québec, constitue l'extension la plus septentrionale de la chaîne de montagnes des Adirondacks (Figure 1). Vaste zone de recharge pour l'aquifère régional, la colline est aussi un site d'importance pour la préservation de la biodiversité au Québec en raison de l'abondance et de la diversité des milieux naturels qu'elle abrite. On y trouve, entre autres, les seuls peuplements matures de pruches et les seules landes de pins de la vallée du Saint-Laurent. La présence d'une vaste tourbière naturelle près de son sommet est également un fait intéressant à noter, puisque près de 80 % des tourbières du sud du Québec ont disparu ou ont été fortement perturbées depuis la colonisation du territoire. Les innombrables sources et ruisseaux temporaires présents sur la colline contribuent également à maintenir la biodiversité régionale puisqu'ils servent d'habitats à deux espèces d'amphibiens rares tant au Québec qu'au Canada, soit la salamandre sombre des montagnes (*Desmognathus ochrophaeus*) et la salamandre pourpre (*Gyrinophilus porphyriticus*).

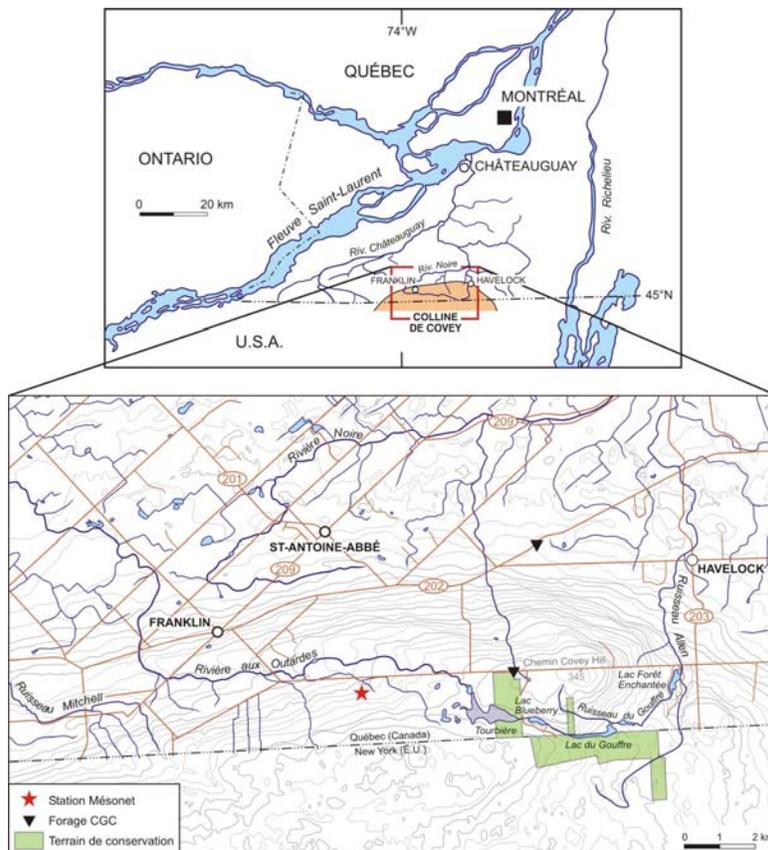


Figure 1. Localisation de la colline de Covey, de la tourbière et des terrains protégés.

L'alimentation en eau de ces sources, et donc la survie même des salamandres, est assurée par un apport constant d'eau souterraine, lui-même supporté en partie par la tourbière. Localisés directement sur le socle rocheux imperméable, les importants dépôts de tourbe ont la capacité d'emmagasiner de grandes quantités d'eau et de les relâcher graduellement au cours de l'année. La nature ombrotrophe de la tourbière et sa flore dominée par les sphaignes contribuent à sa grande capacité de rétention permettant de réduire les pertes d'eau par ruissellement au printemps et de limiter les effets d'une sécheresse estivale. En plus d'être un élément essentiel de la dynamique hydrique de la colline, la tourbière héberge certaines espèces animales et végétales rares dont la salamandre à quatre orteils (*Hemidactylium scutatum*) et l'utriculaire à scapes géminés (*Utricularia geminiscapa*).

Afin de prévenir toute perturbation directe pouvant mettre en péril l'habitat des populations de salamandres et afin de préserver des écosystèmes rares au Québec, l'organisme Conservation de la Nature du Canada a récemment acquis 122 ha de terrains sur la colline, protégeant ainsi près de la moitié de la tourbière (Figure 1). La préservation de la tourbière ne garantit toutefois pas la totale préservation de son intégrité hydrologique et écologique, car ce type d'écosystème est très sensible aux perturbations externes (Pellerin & Lavoie, 2003). De plus, une modification de l'équilibre hydrique et écologique de la tourbière pourrait réduire la quantité d'eau qui y est emmagasinée et ainsi déstabiliser la dynamique de l'ensemble de la colline. Plusieurs activités humaines comme le déboisement, le développement domiciliaire et récréatif ou la surexploitation de l'eau souterraine sur la colline et à proximité pourraient induire un tel déséquilibre. Le réchauffement climatique actuel pourrait aussi agir au détriment de l'équilibre hydrologique et écologique de la colline.

Au cours des dernières décennies, plusieurs initiatives de connaissances de la ressource en eau ont été entreprises sur le bassin versant de la rivière Châteauguay auquel appartient la colline de Covey. Parmi ces initiatives, mentionnons une vaste étude hydrogéologique régionale menée par la Commission Géologique du Canada et le Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (Nastev *et al.*, 2004). Plusieurs études portant sur les ressources hydriques et écologiques ont aussi été réalisées directement sur la colline : hydrogéochimie et populations de salamandres (Bilodeau, 2002), débits des ruisseaux et populations de salamandres (Rutherford *et al.*, 2004), dynamique de la rivière du Gouffre (Barrington & Phillon, 1993), etc. Tous ces travaux ont permis d'établir une importante base de

données sur les ressources hydriques et écologiques régionales. L'ensemble de ces actions, ininterrompues dans le temps, fait de la colline de Covey un Laboratoire naturel unique pour réaliser un suivi hydrologique et écologique à long terme (Larocque *et al.* 2006).

L'objectif principal du présent projet était d'intégrer la tourbière située au sommet de la colline de Covey au Laboratoire Naturel par l'étude de son fonctionnement passé et actuel, de même que par la mise en place d'une instrumentation qui permettra l'étude de son fonctionnement futur. Le réseau d'instruments ainsi déployé restera en place pour une période d'au moins dix ans. Le projet a été réalisé en trois volets : hydrologie, écologie végétale et paléoécologie. Grâce à ces trois volets, il a été possible de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les échanges hydriques entre la tourbière et le reste de la colline?
- Quel est le bilan hydrique de la tourbière?
- Quelles sont les composantes hydrologiques et écologiques de la tourbière les plus sensibles aux perturbations?
- Quelles sont les communautés végétales présentes dans la tourbière et comment ont-elles évolué dans le temps?
- Quels sont les liens entre la répartition spatiale des communautés végétales, les paramètres hydrologiques et les conditions physico-chimiques du site?
- Quel est l'âge de la tourbière?
- Quel est l'histoire des peuplements forestiers exceptionnels en périphérie de la tourbière?

2 SITE À L'ÉTUDE

La colline de Covey couvre une superficie d'environ 100 km² dont le sommet atteint une altitude de 340 m au dessus du niveau de la mer (Figure 1). La température et les précipitations moyennes annuelles sont respectivement de 6,1°C et de 830 mm (Environnement Canada, 2007) et sont caractéristiques d'un climat continental humide. La colline est composée de roches sédimentaires des Basses-Terres du Saint-Laurent, déformées et fracturées lors de l'orogène Appalachien (Globensky, 1986). La colline est affectée par un réseau de diaclases et elle est recouverte par endroits par une mince couche de till ou de sable d'une épaisseur maximale de 1 m (Bilodeau, 2004).

Au niveau floristique, la colline de Covey appartient au domaine bioclimatique de l'érablière à caryer cordiforme (Bouchard & Brisson, 1996) qui est le domaine le plus riche du point de vue floristique au Québec. Elle est essentiellement boisée et les coupes forestières y ont été peu nombreuses, surtout à son sommet où certains boisés actuels étaient déjà présents à l'arrivée des premiers colons. Certains peuplements sont uniques dans la vallée du Saint-Laurent. Parmi ceux-ci mentionnons les peuplements matures de pruches et les landes de pins généralement associées aux paysages nordiques. Ces dernières se caractérisent par la présence éparse de pin blanc (*Pinus strobus*), de pin rouge (*Pinus resinosa*) et de pin gris (*Pinus banksiana*) de même que par un sous-bois d'éricacées et une strate muscinale composée essentiellement de lichens. De nombreux vergers sont présents à la base de la colline et forment un élément important de l'économie régionale.

Le cortège faunique de la colline est aussi diversifié, surtout celui des amphibiens. En effet, toutes les espèces de salamandres présentes au Québec y ont été observées. Les plus abondantes sont la salamandre sombre des montagnes, la salamandre pourpre, la salamandre à deux lignes (*Eurycea bislineata*), la salamandre sombre du nord (*Desmognathus fuscus*), la salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*) et la salamandre à quatre orteils. Un hybride entre la salamandre sombre des montagnes et la salamandre sombres du Nord y est également fréquent.

Une tourbière ombrotrophe d'une superficie de 54 ha est située près du sommet de la colline, à environ 305 m d'altitude (Figure 1). Elle s'étend sur une longueur maximale de 1 370 m (axe est-ouest) et sur une largeur maximale de 670 m (axe nord-sud). La tourbière repose directement sur la roche en place (grès du Groupe de Potsdam) imperméabilisée par le dernier

passage glaciaire. Lors de la fonte des glaces, le recul du front glaciaire a dégagé un exutoire situé en amont de la colline et causé le déversement du lac Iroquois vers la vallée de Champlain (Franzi *et al.*, 2002). Le grès imperméabilisé par l'érosion de ces eaux est également appelé « Flat Rock ». Les eaux de la tourbière se déversent à l'ouest vers la rivière aux Outardes Est et à l'est vers le lac Blueberry et le ruisseau du Gouffre.

3 VOLET HYDROLOGIE

Le volet hydrologie avait pour objectif principal de comprendre la dynamique hydrique actuelle de la tourbière et de définir son rôle dans l'alimentation en eau de la colline. De plus, il visait à mettre en place un réseau d'instruments pour réaliser le suivi en continu des paramètres hydriques du site pour les dix prochaines années. Ce volet a été réalisé par Véronique Fournier, étudiante à la maîtrise, et par Marie Larocque, professeure au département des Sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM.

3.1 MÉTHODOLOGIE

3.1.1 Instrumentation

Les observations hydrologiques ont été recueillies grâce à la mise en place, entre mai et septembre 2006, d'une instrumentation permanente dans la tourbière et sur le roc à proximité. Cette instrumentation comprend 13 sondes (INW-PT2X) installées au printemps 2006 dans sept grappes de piézomètres (stations P1 à P7) situées au sein même de la tourbière (Figure 2). Ces sondes permettent le suivi en continu des niveaux et de la température de l'eau. Chaque grappe de piézomètres est formée de deux tubes de PVC insérés à des profondeurs différentes (0,5 m pour le premier et entre 0,9 et 1,5 m pour le deuxième), sauf la station P7 qui compte un seul tube à 0,5 m de profondeur. En septembre 2006, deux piézomètres d'observation ont été forés dans le roc fracturé à proximité de la tourbière. Le premier atteint une profondeur de 3 m et le second atteint une profondeur de 15 m. Cette grappe de piézomètres (station P8; Figure 2) est instrumentée de deux sondes (Solinst levelogger 3001) qui permettent le suivi en continu des niveaux et de la température de l'eau.

L'instrumentation comprend également trois sondes limnimétriques (Trutrack WT-HR) situées dans chacun des exutoires de la tourbière et qui permettent d'enregistrer en continu leurs niveaux d'eau. Ces niveaux sont par la suite convertis en débits par une courbe de tarage (courbe définissant la relation niveau/débit à une station donnée) réalisée à partir de mesures effectuées sur le terrain à l'aide d'un vélocimètre (Swoffer 2100). Le suivi des précipitations est réalisé grâce à un pluviomètre à bascule (BoxcarPro RG2-M) et un pluviomètre à lecture manuelle situés au nord-ouest de la tourbière (Figure 2). Les données de la station météorologique MESONET Covey Hill (MESONET, 2006) située sur la colline et de la station météorologique

d'Environnement Canada à Hemmingford (Environnement Canada, 2007) sont aussi disponibles (Figure 1).

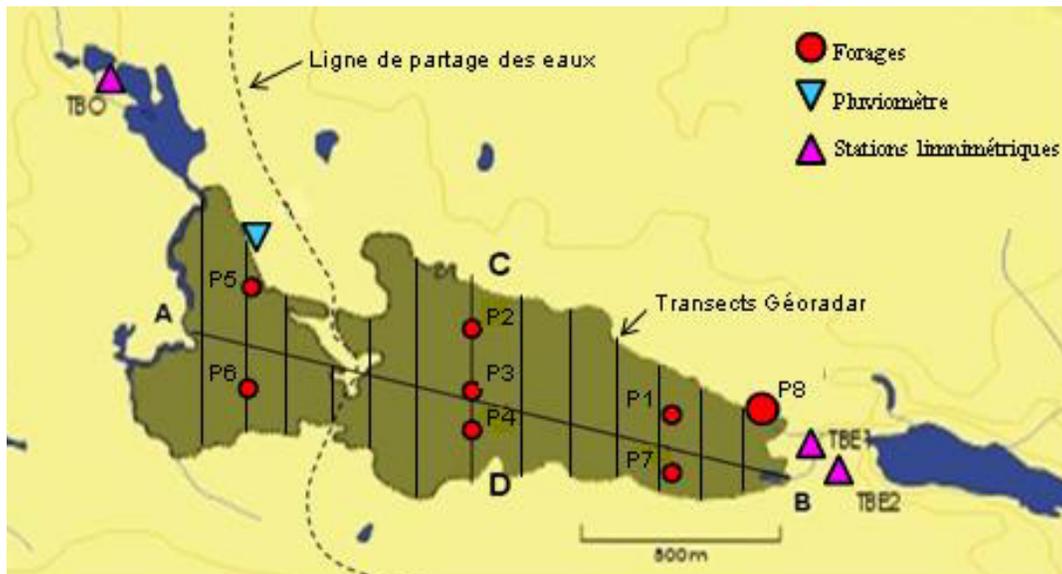


Figure 2. Localisation des stations de mesures hydrologiques au sein de la tourbière de la colline de Covey.

3.1.2 Géomorphologie des dépôts organiques

Afin d'identifier les directions d'écoulement de l'eau dans la tourbière, l'épaisseur du dépôt organique ainsi que la microtopographie de la surface et de la base du dépôt ont été retracées. L'épaisseur du dépôt organique a été mesurée à l'aide de tiges métalliques enfoncées dans le sol et d'un GPR (Ground Penetrating Radar, 400V Pulse EKKO PRO). Au total, 337 mesures manuelles ont été réalisées, selon un quadrillage approximatif de 50 m x 50 m. Les mesures GPR ont été réalisées à un intervalle de 1 m sur 13 profils nord-sud espacés de 100 m et sur un profil est-ouest (Figure 2). Les mesures manuelles d'épaisseur ont permis, entre autres, de valider les mesures GPR ($r^2 = 0,74$). La microtopographie de surface a été reconstituée sur les profils grâce à une station totale (Sokkia Set 3CII).

3.1.3 Propriétés hydrodynamiques de la tourbe

Afin de mesurer la conductivité hydraulique (K) de la tourbe en laboratoire, trois carottes de tourbe ont été prélevées à l'aide d'un carottier de type Box. Les carottes ont été récoltées à proximité des forages P1, P3 et P5 (Figure 2) et mesurent 8 cm x 8 cm x 100 cm. Chaque carotte a été découpée en sections de 8 cm de long pour l'obtention de sept cubes. La portion supérieure de la carotte (0 à 40 cm) a été enlevée pour éviter les effets de la compaction de cette partie plus compressible de la tourbe. Chaque cube a ensuite été préparé selon le protocole de

Bouma *et al.* (1981), modifié par Beckwith *et al.* (2003) et Surridge *et al.* (2005), pour la mesure de la conductivité hydraulique. Cette méthode consiste à cirer les parois du cube afin de garantir son étanchéité lors de l'essai de conductivité. La cire remplace en quelque sorte les parois d'un perméamètre traditionnel qui n'assureraient pas l'étanchéité des échantillons de tourbe. Chaque cube est ensuite saturé en eau et déposé sur un entonnoir lui servant de support. Un récipient est déposé à la sortie de l'entonnoir pour recueillir et mesurer l'écoulement. Une charge hydraulique unitaire est imposée à l'échantillon en s'assurant qu'un film d'eau est toujours présent à la surface du cube. On assume qu'une charge hydraulique de cet ordre ne devrait pas causer de turbulence étant donné la faible conductivité de la tourbe. Le gradient hydraulique est mesuré à partir de la formule suivante :

$$i = \Delta h / L = 1 \quad (1)$$

où

i = Gradient hydraulique (cm/cm)

Δh = Différence de charge = 8 cm

L = Longueur de l'échantillon = 8 cm

Ainsi, en mesurant le volume d'eau écoulé pour un pas de temps constant, la conductivité hydraulique verticale (K_v) de l'échantillon est calculée à l'aide de l'équation de Darcy :

$$K = Q/Ai \quad (2)$$

où

K = Conductivité hydraulique (cm/s)

Q = Débit (cm³/s)

A = Aire de la section transverse à l'écoulement (cm²)

i = Gradient hydraulique (cm/cm)

Lorsque l'essai est terminé, les côtés ouverts de l'échantillon sont enduits de cire, le cube est tourné et les parois latérales sont dégagées. L'essai est répété pour déterminer la conductivité hydraulique horizontale (K_h) de l'échantillon.

La conductivité hydraulique horizontale de l'acrotelme (couche supérieure compressible du dépôt qui se trouve périodiquement sous conditions aérobies) a pour sa part été mesurée en laboratoire à l'aide d'une maquette expérimentale (Figure 3; Rosa & Larocque, sous presse). Le réservoir est déposé sur une base ajustable permettant la mesure de K à différents gradients hydrauliques. Un

échantillon de l'acrotelme (25 cm x 45 cm x 30 cm) a été prélevé près de la station P1 (Figure 2) et inséré dans le réservoir. Un gradient hydraulique de 1 % a été obtenu en ajustant la base du réservoir. L'écoulement à la sortie a été mesuré et la conductivité hydraulique horizontale a été calculée avec la loi de Darcy (équation 2).

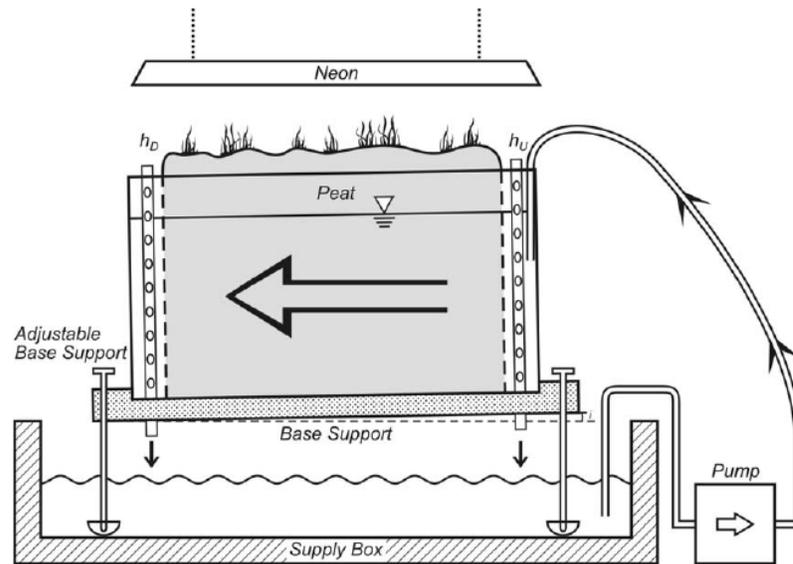


Figure 3. Maquette expérimentale pour la mesure de la conductivité hydraulique horizontale de l'acrotelme.

Finalement, la porosité effective de la tourbe (S_y) a été estimée grâce à la variation du niveau d'eau mesuré dans les piézomètres suite à chaque évènement pluvieux (Mitsch & Gosselink, 2000) :

$$S_y = P/dh \quad (3)$$

où

S_y = Porosité effective (-)

P = Précipitation (mm)

dh = Variation du niveau de l'eau durant l'évènement pluvieux (mm)

3.1.4 Géochimie de l'eau

Une campagne d'échantillonnage de l'eau a été réalisée entre mai et novembre 2006. L'échantillonnage a été effectué aux deux semaines dans les piézomètres situés dans la tourbière (piézomètres de surface seulement) et dans les exutoires de la tourbière. Les forages situés près de la tourbière ont été échantillonnés une seule fois en octobre 2006. La composition isotopique de l'eau (^{18}O et ^2H) a été déterminée par spectrométrie de masse au GÉOTOP UQAM-McGill. Le

pH et la conductivité électrique de l'eau ont été mesurés directement sur le terrain (sondes Sentix 41-3 et TetraCon 325). Le pH et la conductivité électrique ont été ajustés pour une température de 25°C et la conductivité électrique a été corrigée pour les valeurs de pH (Sjörs, 1950).

Un deuxième type d'échantillonnage a été réalisé en parallèle sur les mêmes stations en mai 2006. L'eau recueillie a été analysée au laboratoire de l'INRS-ÉTÉ par chromatographie ionique pour son contenu en ions majeurs (Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} , Na^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2}) et à l'aide d'un analyseur CID pour son contenu en carbone inorganique dissous. Ces données permettent d'identifier les différents types d'eau et d'établir des liens hydriques entre les stations.

3.1.5 Bilan hydrique

Le bilan hydrique spécifique à la tourbière a été calculé à partir des données météorologiques, piézométriques et limnimétriques enregistrées entre les mois de mai et d'octobre 2006. Un bilan mensuel a été établi afin d'identifier les variations saisonnières. Le bilan est calculé à partir de la formule suivante :

$$\Delta S + e = (P + G) - (ET + R) \quad (4)$$

où

ΔS = Variation de l'emmagasinement (mm)

e = Erreur (mm)

P = Précipitation (mm)

G = Contribution latérale de l'aquifère (mm)

ET = Évapotranspiration (mm)

R = Sortie par les exutoires (mm)

Aucun ruissellement de surface vers la tourbière n'a été observé sur le terrain. Les échanges directs avec l'aquifère sous-jacent sont considérés négligeables étant donné la présence du roc imperméable sous les dépôts organiques.

L'erreur sur la courbe de tarage réalisée à l'exutoire ouest de la tourbière limite considérablement le calcul d'un bilan hydrique précis pour ce secteur, et ce, en raison d'un lac artificiel maintenu par un barrage. Le bilan hydrique est donc calculé seulement pour la partie est de la tourbière en assumant l'absence d'échange hydrique entre les deux bassins de drainage (Figure 2).

3.1.5.1 Intrants

3.1.5.1.1 Précipitation

Les données de précipitation (P) proviennent du pluviomètre à bascule situé en bordure de la tourbière (Figure 2). Ces données ont été comparées aux mesures des stations MESONET Covey Hill et d'Hemmingford (Figure 1).

3.1.5.1.2 Contribution de l'aquifère

La carte piézométrique (Figure 4) indique un apport latéral de l'aquifère vers la tourbière (G). Cette contribution a été estimée avec la loi de Darcy (équation 2) en utilisant le gradient hydraulique mesuré entre l'aquifère et la tourbière.

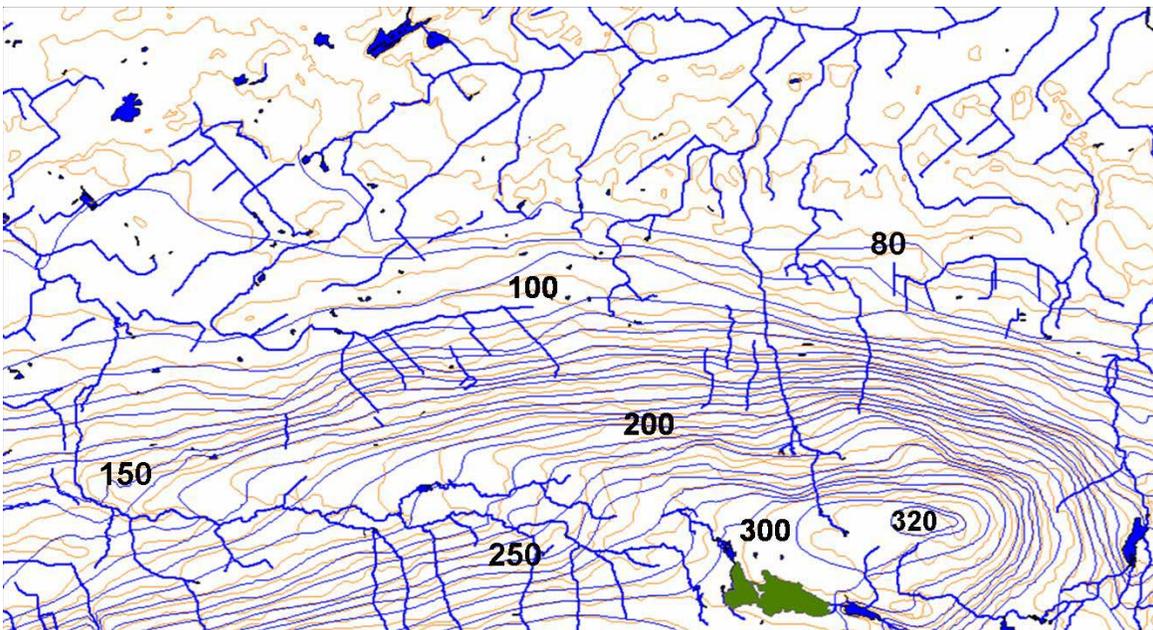


Figure 4. Carte piézométrique de la colline de Covey. La tourbière est représentée par la couleur verte, les isopièzes par les lignes bleues minces, les rivières par les lignes bleues épaisses et les isohypses par les lignes oranges.

3.1.5.2 Extrants

3.1.5.2.1 Évapotranspiration

L'évapotranspiration (ET) a été calculée à partir de deux méthodes. La première utilise les variations diurnes du niveau de la nappe dans la tourbière. Dans ce cas, il est considéré que la diminution du niveau de la nappe durant la journée n'est causée que par l'évapotranspiration

(Mitsch & Gosselink, 2000). La variation du niveau d'eau durant la journée, multiplié par la porosité effective donne une estimation de l'ET :

$$ET = dh * S_y \quad (5)$$

où

ET = Évapotranspiration (mm)

dh = Variation du niveau d'eau (mm)

S_y = Porosité effective (-)

La deuxième méthode utilise les données météorologiques (température, vitesse du vent, humidité, radiations solaires) provenant des stations de MESONET Covey Hill et d'Hemmingford. Ces données sont utilisées dans la formule de Penman-Monteith (FAO, 2007) qui donne une estimation de l'évapotranspiration de référence (ET_o) :

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n-G)+\gamma \frac{900}{T+273} u_2(e_s-e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (6)$$

où

ET_o = Évapotranspiration de référence (mm/jour)

R_n = Radiation solaire à la surface (MJ / m² jour)

G = Densité de flux du sol (MJ / m² jour)

T = Température de l'air moyenne à deux mètres du sol (°C)

u₂ = Vitesse du vent à deux mètres du sol (m / s)

e_s = Pression de vapeur à saturation (kPa)

e_a = Pression de vapeur actuelle (kPa)

3.1.5.2.2 Ruisseaux exutoires

Les débits aux ruisseaux exutoires (R) ont été calculés à partir des niveaux d'eau enregistrés en continu et des courbes de tarage établies aux exutoires (TBE1 et TBE2) du bassin est de la tourbière (Figure 2).

3.1.5.2.3 Variation de l'emmagasinement

La variation de l'emmagasinement des dépôts organiques est causée par deux mécanismes : la contraction et la compression. La contraction se produit au dessus du niveau de la nappe lorsque

l'assèchement des pores provoque une pression négative. La compression est attribuée au changement de tension causé par la fluctuation du niveau d'eau. La variation d'emmagasinement a été calculée selon Schlotzhauer & Price (1999) :

$$\Delta S = dh (S_y + bS_s) \pm d\theta \quad (7)$$

où

ΔS = Variation de l'emmagasinement (-)

dh = Variation du niveau d'eau (mm)

S_y = Porosité effective (-)

b = Épaisseur du dépôt tourbeux (mm)

S_s = Emmagasinement spécifique (mm)

$d\theta$ = Variation de la teneur en eau (-)

La variation de la teneur en eau ($d\theta$) au dessus du niveau de la nappe (principale cause de la contraction) n'a pu être mesurée sur le terrain et est considérée négligeable. S_s représente la quantité d'eau expulsée du dépôt organique lors de la compression par unité de charge (Fetter, 1994) :

$$S_s = (db/dh)/b \quad (8)$$

où

db = Compression (mm)

dh = Variation du niveau d'eau (mm)

b = Épaisseur du dépôt tourbeux (mm)

La compression a été mesurée sur le terrain deux fois par mois à chaque station en mesurant la distance de la surface des dépôts organiques à une référence fixe (Kennedy & Price, 2004).

3.2 RÉSULTATS

3.2.1 Géomorphologie du dépôt organique

Les résultats de l'étude géomorphologique montre un profil irrégulier pour le roc sous-jacent et en buttes et dépressions pour les dépôts organiques (Figures 5 et 6). L'épaisseur des dépôts tourbeux varient entre 0,1 et 3,8 m. Un affleurement rocheux est visible dans la partie ouest de la tourbière (Figure 5) et divise les dépôts tourbeux en deux bassins de drainage (Figure 2). Deux zones d'accumulation sont donc présentes de chaque côté de l'affleurement, la plus importante

étant située dans la partie est. Cette zone correspond probablement à l'endroit du commencement de la formation de la tourbière.

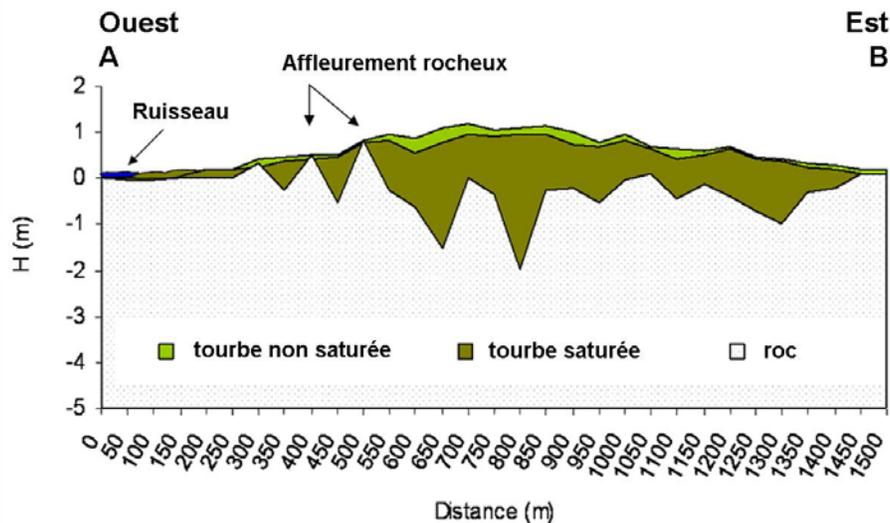


Figure 5. Vue en coupe du profil A-B. Le positionnement du profil est illustré à la Figure 2.

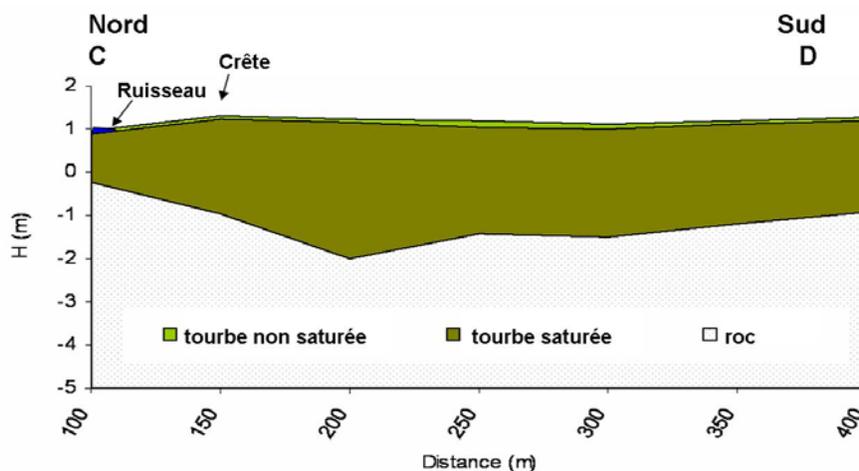


Figure 6. Vue en coupe du profil C-D. Le positionnement du profil est illustré à la Figure 2

3.2.1.1 Niveau de la nappe

L'analyse des niveaux d'eau mesurés dans la tourbière en corrélation avec la géomorphologie des dépôts tourbeux permet de mieux comprendre le système d'écoulement de l'eau dans la tourbière. Les résultats indiquent que la nappe suit la surface des dépôts organiques. Dans la partie est, la direction d'écoulement générale se fait vers les exutoires situés à l'est (TBE1 et TBE2) en passant par le centre de la tourbière (Figure 7). Une crête topographique est présente au nord et dirige l'écoulement en direction d'un ruisseau qui s'écoule vers l'exutoire est (Figures 6 et 7).

Dans la partie ouest, l'écoulement se fait du sud vers l'exutoire ouest (TBO) (Figure 7). Seulement deux stations de piézomètres sont présentes dans cette partie de la tourbière et ne permettent pas de tirer de conclusion sur l'apport latéral de l'aquifère.

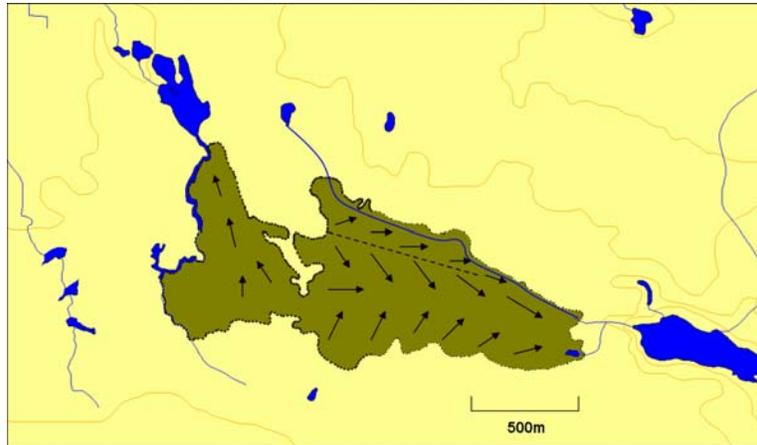


Figure 7. Direction de l'écoulement dans la tourbière de la colline de Covey. La ligne pointillée indique la crête topographique.

Le schéma d'écoulement du secteur est de la tourbière montre la présence d'une contribution provenant de l'aquifère. Cependant, les pH et les conductivités électriques de l'eau de la tourbière et des précipitations étant très similaires, il n'a pas été possible de confirmer l'importance de cette contribution.

Les fluctuations des niveaux d'eau enregistrées dans les piézomètres de surface montrent une faible réponse aux précipitations (4 cm en moyenne). Les piézomètres situés dans le catotelme (couche organique sous l'acrotelme) montrent des variations beaucoup plus faibles (1,6 cm). Ceci est une conséquence directe de la grande capacité de rétention des dépôts organiques et de l'augmentation de la capacité d'emmagasinement avec la profondeur.

L'analyse des niveaux d'eau entre les piézomètres de surface (0,5 m) et les piézomètres profonds (0,9-1,5 m) montre un gradient vertical vers le bas dans la partie est de la tourbière. Aucun gradient vertical n'est observé dans la partie ouest, probablement en raison de l'ennoisement observé dans ce secteur.

3.2.2 Propriétés hydrodynamiques de la tourbe

3.2.2.1 Conductivité hydraulique

Les conductivités hydrauliques horizontales (K_h) et verticales (K_v) sont présentées à la Figure 8. La K_h de l'acrotelme (0-40 cm) varie entre 10^{-1} et 10^{-3} cm s⁻¹ (n = 15). La K_h du catotelme

(40-100 cm) varie entre 10^{-3} et 10^{-7} cm s^{-1} ($n = 23$) et montre une décroissance avec la profondeur. Les résultats montrent que K_h est en général plus élevée que K_v sous 40 cm. Il s'avère que les fluctuations du niveau d'eau se produisent principalement dans l'acrotelme, fortement conducteur tandis que le catotelme contribue très peu à l'écoulement.

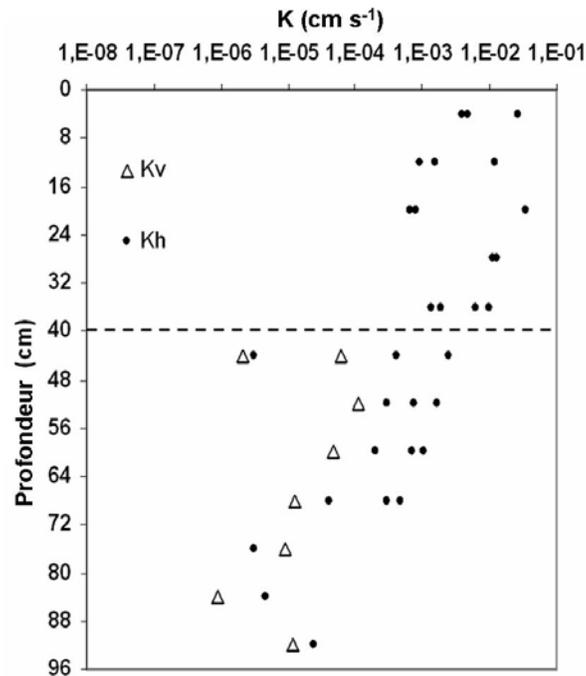


Figure 8. Conductivité hydraulique verticale (K_v) et horizontale (K_h) de trois carottes (P1; P3; P5). L'acrotelme et le catotelme sont séparés par la ligne pointillée.

3.2.2.2 Porosité effective

La porosité effective moyenne estimée à l'aide des fluctuations du niveau d'eau enregistrées dans les sept piézomètres de surface suite à chaque événement pluvieux est de 0,76 avec un écart type de 0,13 ($n = 61$). Cette méthode fournit une estimation de la porosité effective dans l'acrotelme, soit la couche qui contribue principalement à l'écoulement (Mitsch & Gosselink, 2000). Les piézomètres situés dans le catotelme réagissent trop faiblement aux précipitations pour être utilisés avec cette méthode.

3.2.2.3 Géochimie de l'eau

3.2.2.3.1 pH et conductivités hydrauliques

La Figure 9 montre que les précipitations sont peu minéralisées avec une conductivité électrique corrigée (K_{25}) entre 22 et 36 $\mu\text{S/cm}$ et un pH entre 4,2 et 4,4. L'eau échantillonnée dans les

piézomètres de surface dans la tourbière montre des pH très faibles (entre 3,7 et 5,7) et des K_{25} très basses (entre 0 et 58 $\mu\text{S}/\text{cm}$). L'eau échantillonnée aux exutoires de la tourbière a un pH généralement plus élevé que celui des piézomètres, mais une K_{25} plus faible. Le pH et la K_{25} du forage peu profond sont similaires à ceux des piézomètres dans la tourbe, ce qui pourrait s'expliquer par une alimentation de la tourbière par l'aquifère superficiel (i.e. écoulement souterrain peu profond ayant récemment rechargé l'aquifère). Le pH et la K_{25} du forage profond sont beaucoup plus élevés que ceux de la tourbe, indiquant que ce forage intercepte une eau souterraine ayant séjourné plus longtemps dans l'aquifère. La K_{25} des piézomètres dans la tourbe montre une tendance à la hausse entre juillet et août, reflétant peut-être une augmentation de la minéralisation des précipitations ou une alimentation plus importante par l'aquifère superficiel.

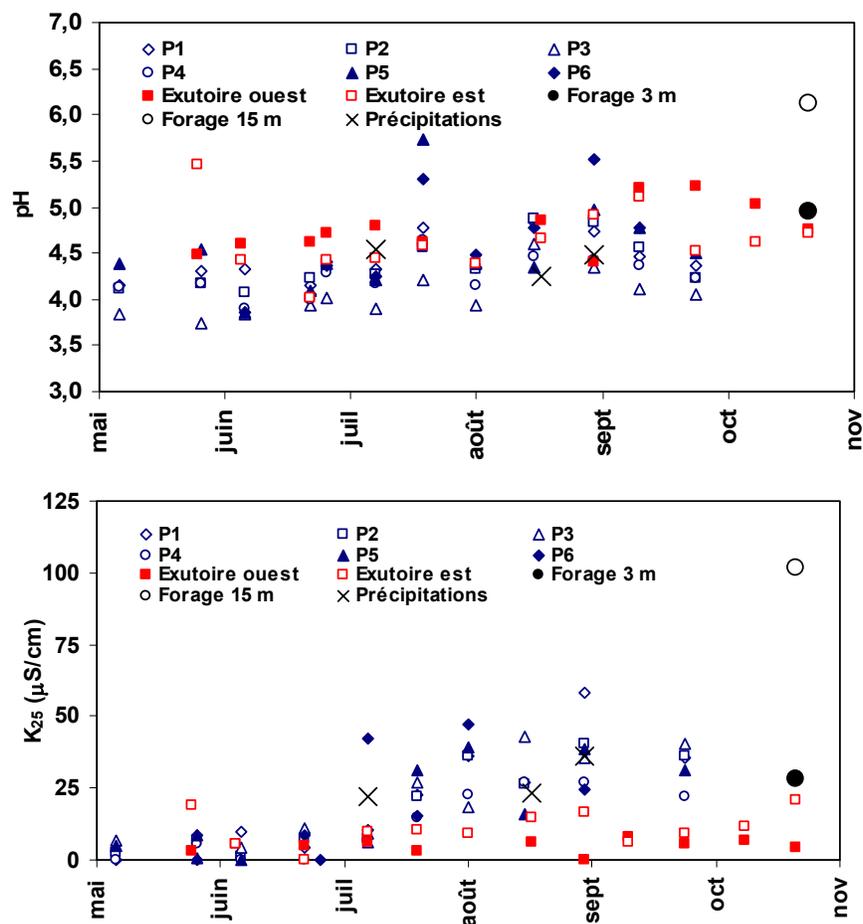


Figure 9. Conductivité électrique (a) et pH (b) de l'eau de la tourbière, des exutoires, de la nappe souterraine et des précipitations.

3.2.2.3.2 Ions majeurs

La Figure 10 présente le diagramme de Piper obtenu avec les résultats de l'analyse des ions majeurs. Ces résultats permettent de confirmer le lien hydrique entre les stations de la tourbière et ses exutoires. L'eau échantillonnée montre une forte concentration en Ca^{+2} . Les résultats obtenus aux exutoires montrent néanmoins un enrichissement en Mg^{+2} et en SO_4^{-2} comparés à l'eau échantillonnée dans la tourbière. Cet enrichissement reflète certainement l'apport du ruissellement de surface plus chargé en éléments minéraux. La composition en ions majeurs n'évolue pas selon la position des stations par rapport aux directions d'écoulement et aucune distinction entre les parties est et ouest de la tourbière n'a été identifiée.

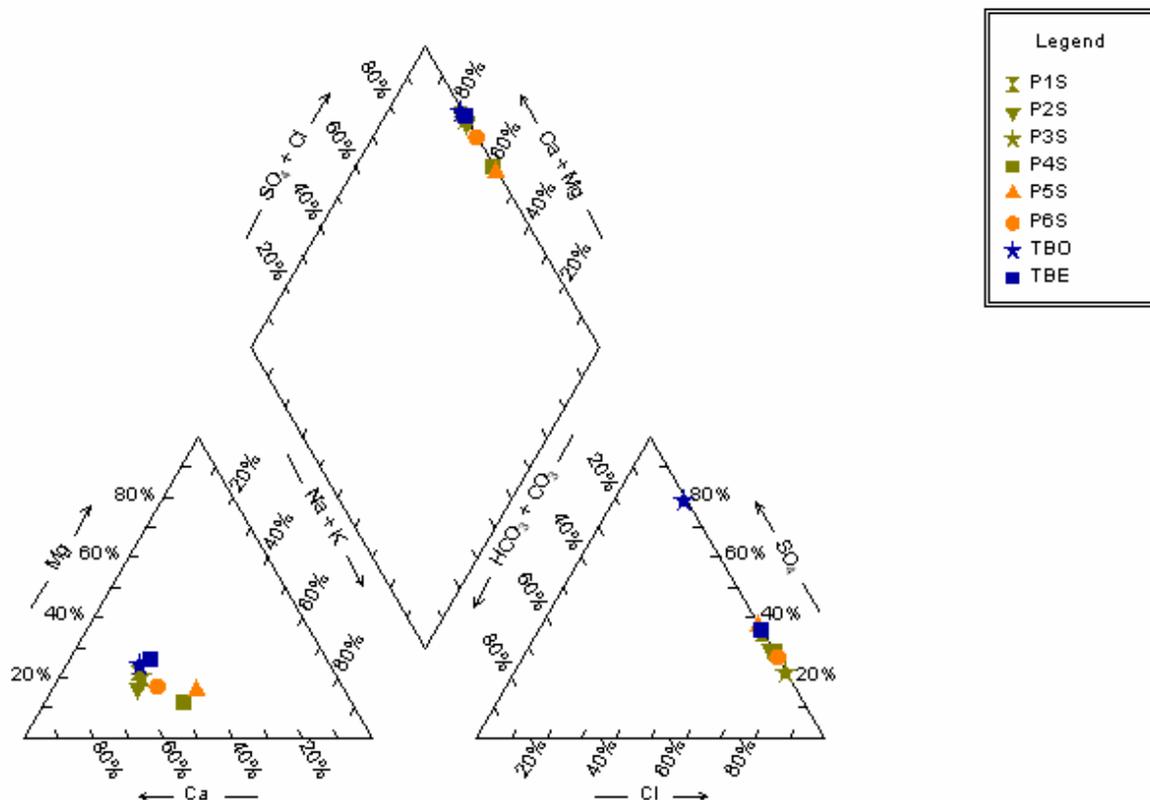


Figure 10. Contenus en ions majeurs de l'eau de la tourbière et des exutoires.

3.2.2.3.3 Isotopes stables

La Figure 11 illustre le cycle annuel du contenu en ^{18}O des précipitations. Les résultats de la variation du ^{18}O de mai à novembre 2006 montrent une réponse marquée de l'eau de la tourbière

aux précipitations dans le secteur ouest ainsi qu'aux exutoires est et ouest, avec un décalage dans le temps d'environ un mois. Les données de ^2H montrent une tendance similaire.

Dans le secteur est, deux dynamiques de recharge sont évidentes. Les contenus en ^{18}O aux stations P3 et P2 (Figure 2) sont à peu près stables dans le temps et reflètent la moyenne interannuelle de la composition isotopique des précipitations. Ceci pourrait être une conséquence du temps de résidence plus élevé de l'eau dans cette partie de la tourbière. Ce secteur contiendrait une eau plus vieille ayant un temps de renouvellement plus lent. Les stations P1 et P4 situées près de la bordure de la tourbière (Figure 2) montrent une légère réponse aux précipitations, ce qui pourrait s'expliquer par une alimentation directe de l'aquifère. Les points d'échantillonnage de l'automne montre que la partie superficielle de l'aquifère (forage 3 m) est proche de la composition isotopique de l'eau.

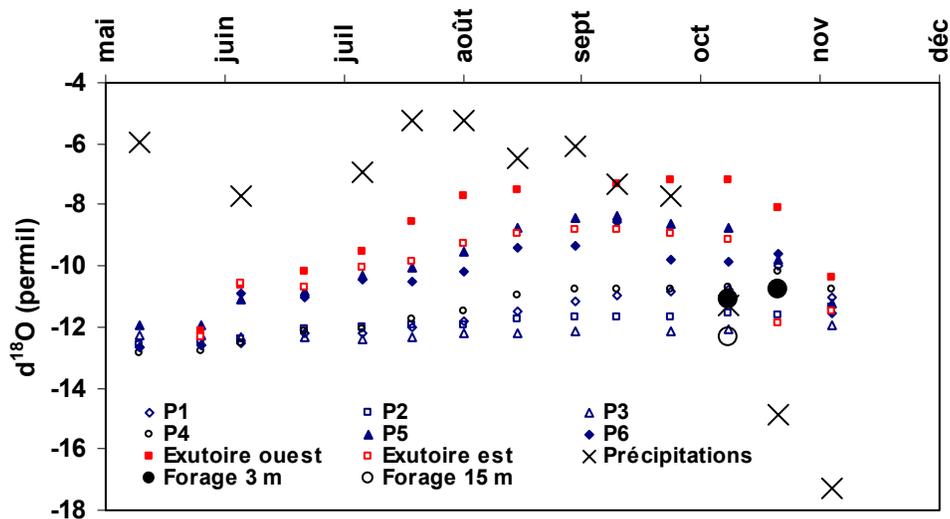


Figure 11. Variation temporelle du contenu en ^{18}O de l'eau de la tourbière, des exutoires, de la nappe souterraine et des précipitations.

La Figure 12 montre que la composition isotopique de l'eau de l'ensemble des stations, à l'exception de celle de l'exutoire ouest, suit la droite des eaux de précipitations. L'exutoire ouest de la tourbière montre un appauvrissement en ^{18}O durant la saison causé par l'évaporation des eaux du lac situé en amont de l'exutoire (Figure 13). La composition isotopique de l'eau avant évaporation correspond à la composition isotopique moyenne mesurée aux stations P5 et P6, toutes deux situées dans la partie ouest de la tourbière (Figure 2).

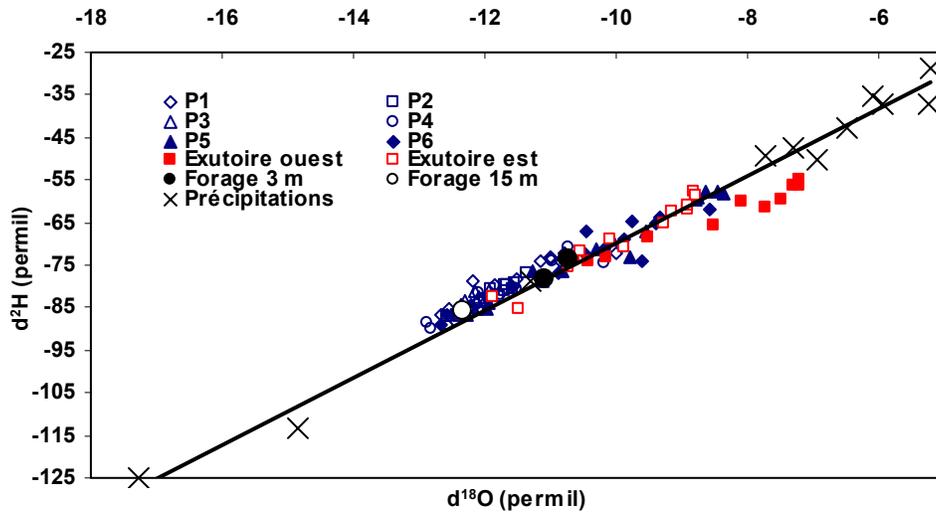


Figure 12. Composition isotopique de l'eau de la tourbière, des exutoires, de la nappe souterraine et des précipitations (trait plein).

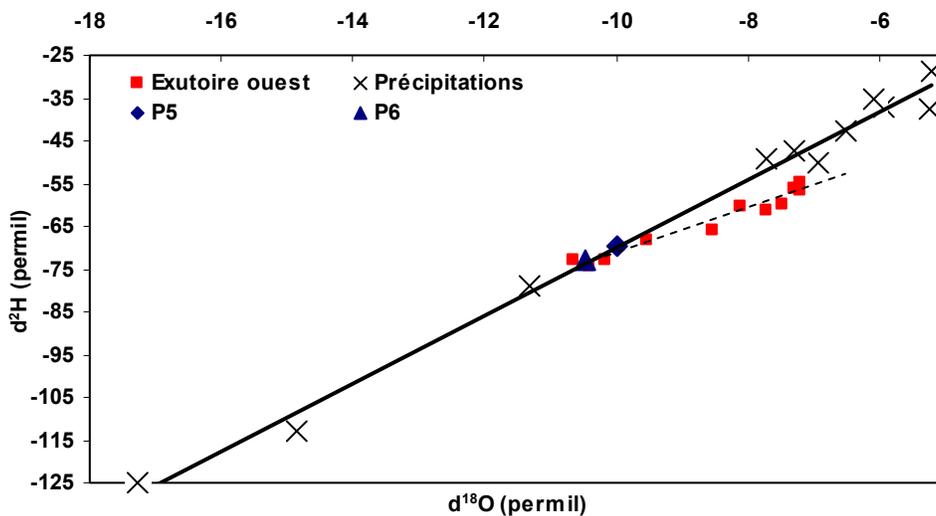


Figure 13. Composition isotopique moyenne des stations P5 et P6 et droite d'évaporation de l'exutoire ouest (trait pointillé).

3.2.3 Bilan hydrique

3.2.3.1 Intrants

3.2.3.1.1 Précipitations

Le bilan hydrique a été calculé entre les mois de mai et d'octobre 2006. Les mesures provenant du pluviomètre à bascule montre des précipitations totales de 727 mm pendant cette période. Selon Environnement Canada (2007), pour la même période, la moyenne des précipitations annuelles depuis 1961 à Hemmingford s'élève à 562 mm et 2006 serait une année record de

précipitations estivales élevées. Les mois de juin et août sont les plus pluvieux avec respectivement 185 et 135 mm. Les données de précipitation provenant de la station MESONET Covey Hill n'ont pu être utilisées en raison d'une interruption de fonctionnement de la station à plusieurs reprises de mai à octobre 2006.

Pour la période à l'étude, la station météorologique de Hemmingford a mesuré des précipitations totales de 702 mm. Cette différence avec les données du pluviomètre à bascule est probablement causée par l'altitude de ce dernier (305 m au dessus du niveau de la mer) comparée à l'altitude de la station de Hemmingford (61 m au dessus du niveau de la mer). Les données provenant du pluviomètre à bascule ont été utilisées dans le calcul du bilan hydrique de la tourbière avec une erreur instrumentale, spécifiée par le fournisseur, de 5 %. Les précipitations totales pour la période étudiée s'élèvent donc à 727 ± 36 mm.

3.2.3.1.2 Contribution latérale de l'aquifère

La contribution latérale provenant de l'aquifère du roc fracturé a été estimée en utilisant l'hypothèse que le gradient hydraulique enregistré entre le piézomètre de surface situé dans le roc (P8) et le piézomètre P1 (Figure 2) est identique sur les bordures nord et sud du secteur est de la tourbière. Deux scénarios ont été définis en utilisant des conductivités hydrauliques extrêmes et des surfaces de contact minimales et maximales entre l'aquifère et la tourbière. Les valeurs de K_h minimum et maximum mesurées dans le catotélme ont été utilisées et des valeurs de 1000 à 2000 m² de surface en contact ont été estimées à partir de la cartographie effectuée sur les dépôts tourbeux. De mai à octobre 2006, la contribution latérale de l'aquifère vers la tourbière a été estimée à 852 ± 715 mm. L'erreur obtenue montre l'importance de l'incertitude sur ce terme.

3.2.3.2 *Extrants*

3.2.3.2.1 Évapotranspiration

Les résultats montrent que l'ET estimée à partir des variations diurnes (753 mm) représente plus du double de l'ET estimée avec l'équation de Penman-Monteith (338 mm). Il est possible que la diminution du niveau de la nappe durant la journée ne soit pas causée seulement par l'évapotranspiration. Aussi, une erreur sur l'estimation de la porosité effective pourrait produire une erreur saisonnière importante sur le calcul de l'ET avec les variations diurnes. D'un autre côté, l'équation de Penman-Monteith, qui correspond à l'évapotranspiration de référence pour un

sol recouvert de gazon, pourrait sous-estimer les hauts taux d'évapotranspiration rencontrés dans une tourbière (Tiemeyer *et al.*, 2005). Pour la période à l'étude, la moyenne des deux méthodes est de 545 ± 207 mm.

En prenant la moyenne obtenus avec les deux méthodes, l'ET est supérieure durant les mois où la température excède 15°C (juin à août) avec une moyenne de 3,44 mm/jour (1,26 mm/jour écart type) et une moyenne de 2,49 mm/jour (0,99 mm/jour écart type) pour les mois durant lesquels la température est inférieure à 15°C (mai, septembre et octobre). Ces résultats se rapprochent des valeurs publiées pour des types de tourbières et de climats similaires (Owen, 1994; Shantz & Price, 2006; Van Seters & Price, 2001).

3.2.3.2.2 Exutoires

L'écoulement par les exutoires représente une part importante du bilan hydrique. Cependant, cette proportion pourrait être surestimée par l'imprécision des courbes de tarage ($r^2 = 80$ pour TBE1 et 0,88 pour TBE2). Pour ces deux exutoires, l'erreur augmente proportionnellement avec les débits (Figure 14). L'intervalle de confiance 95 % a été calculé en utilisant le logiciel SAS (Ravindra & Dayanand, 1999). Des mesures additionnelles de débits seront ajoutées au cours de l'été 2007 dans le but d'obtenir des courbes de tarage plus précises.

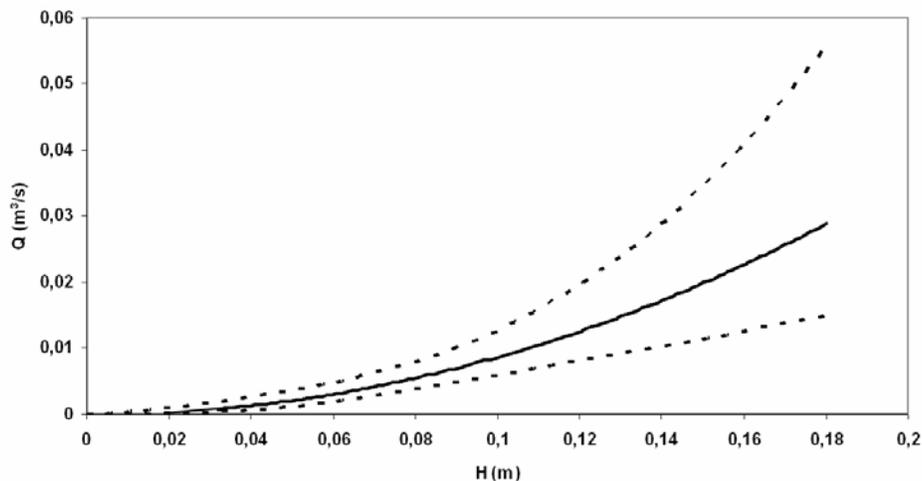


Figure 14. Courbe de tarage pour l'exutoire TBE1. Les lignes pointillées représentent l'intervalle de confiance 95 %.

Les résultats montrent que les mois de juin et octobre comportent les plus grandes erreurs (Tableau 1). Celles-ci sont probablement causées par les débits importants observés durant ces mois. Pour la période étudiée, le ruissellement par les exutoires est estimé à 1130 ± 517 mm.

Tableau 1. Ruissellement par les exutoires (TBE1 et TBE2) et intervalles de confiance 95 %.

Mois	mm	± mm
Mai	119	56
Juin	342	185
Juillet	136	59
Août	155	64
Septembre	114	54
Octobre	265	99

3.2.3.2.3 Compression et variation de l'emmagasinement

La compression des dépôts organiques n'a pu être corrélée avec la fluctuation du niveau d'eau entre les mois de mai et d'août. Une compression des dépôts tourbeux a été observée jusqu'au mois d'août (-4,5 cm) et aucun mouvement n'a été mesuré en septembre et en octobre, mois durant lesquels les niveaux d'eau ont augmenté. Ceci peut être expliqué par la méthode employée pour estimer la compression ou par les propriétés physiques de la tourbe. Puisque les piézomètres ne sont pas fixés à la tourbe, il est possible qu'ils se déplacent différemment de la surface. L'expansion de la tourbe peut se produire à des taux différents pendant les périodes humides et sèches. Schlotzhauer & Price (1999) ont noté que la compression causée par la vidange de l'eau durant la période d'étiage se produit à une vitesse cinq fois plus grande que l'expansion durant une période humide. Il est possible que la dilatation de la tourbe se soit produite après la période plus humide (octobre) qui a suivi la fin des mesures sur le terrain. La variation d'emmagasinement (ΔS) pour la période d'étude (Tableau 2) est donc de $-5,44 \pm 0,85$ mm.

Tableau 2. Bilan hydrique mensuel (mm) pour la partie est de la tourbière. Le paramètre résiduel (e) représente l'erreur sur le bilan total calculé par : entrant - sortant - variation de l'emmagasinement.

Mois	P (mm)	G (mm)	ET (mm)	R (mm)	ΔS (mm)	e (mm)
Mai	113,2	135,6	92,4	118,9	-30,4	67,9
Juin	184,8	139,3	100,7	342,3	12,0	-130,9
Juillet	106,6	148,2	120,6	135,9	-58,7	57,0
Août	135,4	145,3	94,8	154,8	13,1	18,1
Septembre	60,6	143,5	73,3	114,0	-14,4	31,2
Octobre	123,8	139,9	63,3	264,5	62,8	-83,8

3.2.3.3 Bilan hydrique mensuel

L'erreur totale sur le bilan hydrique est estimée à moins de 8 % pour les mois de mai, juillet, août et septembre. Pour les mois de juin et octobre, elle atteint 19 %. Cette importante erreur s'explique principalement par l'imprécision sur les courbes de tarages (Tableau 1) et par l'erreur estimée sur la contribution latérale de l'aquifère durant ces deux mois où de forts événements pluvieux se sont produits.

En ne tenant compte que des mois contenant les erreurs résiduelles de moins de 8 %, il est possible d'estimer la contribution de chaque paramètre dans le bilan hydrique total. Durant les mois de mai, juillet, août et septembre, les apports provenant des précipitations et de l'aquifère environnant représentent respectivement 30 à 48 % et 52 à 70 %. Une partie de cette eau retourne vers l'atmosphère par évapotranspiration (38-44 %) et par les ruisseaux exutoires (56-62 %).

3.3 CONCLUSION

Les travaux de terrain et l'analyse des données des mois de mai à octobre 2006 fournissent une compréhension globale de l'écoulement au sein de la tourbière et de ses interactions avec l'aquifère environnant et le réseau hydrique. Durant les quatre mois où l'erreur résiduelle sur le bilan total s'élève à moins de 8 %, il est possible de conclure à la présence d'un apport significatif des eaux souterraines. Les grandes erreurs causées par l'imprécision sur les courbes de tarage limitent l'interprétation pour les mois de juin et octobre. La campagne de terrain en cours permettra de réduire l'erreur sur les courbes de tarage et d'acquérir de l'information additionnelle sur l'apport de l'aquifère environnant (essais de perméabilité *in situ* dans les piézomètres de l'aquifère du roc fracturé).

Globalement, le schéma d'écoulement et les résultats du bilan hydrique ne montrent pas de lien direct entre la tourbière et l'aquifère sous-jacent. La contribution de la tourbière à l'hydrologie de la colline provient en grande partie de l'acrotelme qui, grâce à sa conductivité hydraulique plus élevée, contribue à l'écoulement vers les ruisseaux exutoires. La capacité d'emmagasinement et la faible conductivité hydraulique de la couche inférieure du dépôt organique (catotelme) permettent de maintenir une contribution en eau au réseau hydrique de la colline durant la période d'étiage.

Afin d'intégrer l'ensemble des processus agissant sur la dynamique d'une tourbière et d'évaluer les échanges d'eau avec l'aquifère, un modèle numérique d'écoulement des eaux souterraines sera développé pour le secteur d'étude en utilisant le logiciel MODFLOW. La tourbière sera représentée comme un lac (LAK3 package) en lien avec l'aquifère (Hunt, 2003). Cette approche permettra la simulation de l'écoulement souterrain dans l'aquifère du roc fracturé et dans la tourbière. Le modèle sera calibré sur les niveaux d'eau enregistrés et sur les débits mesurés. Il permettra d'estimer l'impact des perturbations hydrologiques sur le bilan hydrique de la tourbière et sur ses échanges avec l'aquifère.

4 VOLET ÉCOLOGIE VÉGÉTALE

Le volet écologie végétale avait pour objectifs de caractériser les communautés végétales actuelles de la tourbière, de comprendre les liens entre leur composition et les paramètres hydrologiques et physico-chimiques de la tourbière et d'identifier quelles sont les communautés les plus fragiles aux perturbations. Ce volet a été réalisé par Louis-Adrien Lagneau, stagiaire de l'Institut de biologie et d'écologie appliquée (Université catholique de l'ouest, Angers) et par Stéphanie Pellerin, professeure associée au département de Sciences biologiques de l'Université de Montréal et chercheuse à l'Institut de recherche en biologie végétale.

4.1 MÉTHODOLOGIE

4.1.1 Inventaires floristiques

La végétation de la tourbière a été échantillonnée le long de quatre profils (Figure 15). Ceux-ci ont été positionnés de manière à couvrir l'ensemble de la variation spatiale de la flore. Les profils de végétation correspondent aux profils géoradar, mais ils sont décalés de 5 m vers l'est afin d'éviter les secteurs perturbés par le passage du géoradar. Des placettes d'inventaire de 25 m² (5 x 5 m) ont été établies à tous les 50 m le long de chacun des profils pour un total de 66 placettes, dont sept étaient situées sur le sol minéral.

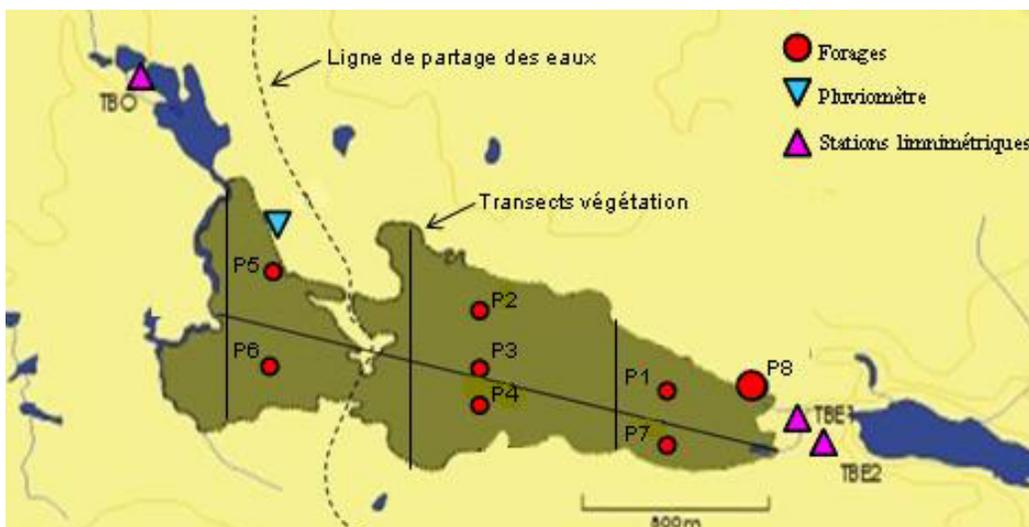


Figure 15. Positionnement des profils d'inventaire floristique dans la tourbière de la colline de Covey.

Dans chacune des placettes, la flore a été recensée à l'aide de la méthode du relevé ponctuel (Bonham, 1989). Pour ce faire, six lignes parallèles et espacées de 1 m ont été disposées à l'intérieur de chacune des placettes (Figure 16). Ensuite, la présence de toutes les espèces

vasculaires et invasculaires (mousse, sphaigne, hépatique, lichen) couvrant la projection verticale d'un point de taille réduite (diamètre : 1 cm) a été notée à tous les mètres le long de chaque ligne pour un total de 36 relevés par station. La nomenclature utilisée est celle du PLANTS Database (USDA & NRCS, 2007), sauf pour *Rhododendron groenlandicum* (Oeder) Kron & Judd.

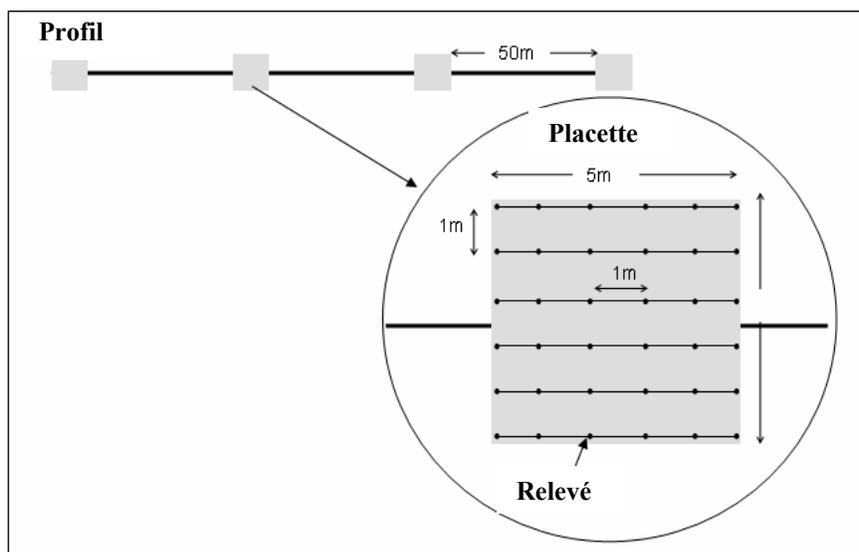


Figure 16. Dispositif employé pour les inventaires floristiques dans la tourbière de la colline de Covey.

4.1.2 Données environnementales

Le diamètre à hauteur de poitrine (1,3 m de hauteur) de tous les arbres à l'intérieur de chacune des placettes a été mesuré. Ces données ont été utilisées pour calculer la surface terrière qui sert, dans le cadre de ce projet, d'indicateur de l'importance du couvert arborescent et de l'ombrage au sol. Le recouvrement vertical d'eau libre dans chacune des placettes a aussi été estimé au pourcentage près. De plus, un suivi du niveau de la nappe phréatique a été effectué aux trois semaines entre le 1 mai et le 31 août 2007. Les mesures ont été prises dans des cavités creusées au centre de chacune des placettes. Les cavités mesuraient environ 10 x 10 cm de largeur et la profondeur variait en fonction du niveau d'apparition de la nappe. Ces cavités ont toujours été creusées dans le même type de micro-habitat (dépression) afin d'homogénéiser les valeurs. Lors du forage des cavités, deux échantillons d'eau de 25 ml ont été prélevés pour la mesure en laboratoire du pH et de la conductivité électrique. Le pH et la conductivité ont été ajustés pour une température de 25°C et la conductivité électrique a été corrigée pour les valeurs de pH (Sjörs, 1950). Puisque que les valeurs de pH et de conductivité corrigée de l'eau de surface sont relativement constantes dans les tourbières au cours de la période sans glace, un échantillonnage

unique est suffisant (Vitt *et al.*, 1995). D'autre part, dans les tourbières, la conductivité corrigée est fortement corrélée aux concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} (Vitt *et al.*, 1995; Campbell & Rochefort, 2001), qui elles expliquent en grande partie la composition et la répartition des assemblages floristiques (Malmer, 1986). L'épaisseur du dépôt organique a également été mesurée au centre des placettes à l'aide de tiges métalliques insérées dans le sol. Finalement, la distance de chacune des placettes à la bordure minérale la plus près a été mesurée à l'aide d'un système d'information géographique.

4.1.3 Analyses des données

Les données recueillies dans les sept placettes localisées sur du sol minéral n'ont pas été utilisées pour l'analyse des données. Pour réaliser les analyses quantitatives, une matrice de végétation formée des 59 placettes restantes et des espèces inventoriées a d'abord été créée. Les cellules de cette matrice sont constituées du pourcentage de relevés où chaque espèce a été notée pour chaque placette. À noter que les espèces rares (% total des relevés < 10%) ont été éliminées. La matrice comprend ainsi 47 espèces. Ensuite, une seconde matrice comprenant l'ensemble des variables environnementales caractérisant chacune des placettes a été créée.

Une analyse de classification hiérarchique a d'abord été réalisée à partir de la matrice de végétation afin d'identifier des groupes homogènes à l'intérieur des placettes. De plus, une analyse canonique discriminante a été effectuée afin d'identifier quelles étaient les espèces dont le recouvrement était significativement différent entre les groupes, et donc qui permettaient de discriminer les groupes. Enfin, une analyse canonique des correspondances (ACC) a été réalisée afin d'étudier les relations entre la composition floristique des placettes d'échantillonnage et les variables environnementales mesurées. Le degré de signification de ces relations a été testé à l'aide d'un test de Monte Carlo sans contrainte (99 permutations). La classification hiérarchique et l'analyse canonique discriminante ont été réalisées avec le logiciel SAS (Ravindra & Dayanand, 1999), tandis que l'ACC et le test de Monte Carlo ont été réalisés avec le logiciel CANOCO (Ter Braak & Smilauer, 2002)

4.2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.2.1 Caractéristiques floristiques de la tourbière

Cinquante-six taxons, dont 14 invasculaires, ont été échantillonnés dans les 59 placettes en milieux tourbeux (Annexe 1). Les placettes échantillonnées sur du sol minéral ajoutent 14 taxons

à cette liste (Annexe 2). La majorité des taxons inventoriés dans la tourbière sont des taxons préférentiels aux tourbières, ou que l'on trouve fréquemment dans ce type de milieu. D'autre part, la plupart sont associés aux tourbières ombrotrophes ou minérotrophes pauvres (Annexe 1). Aucune espèce désignée menacée ou vulnérable, ou susceptible d'être ainsi désignée (Labrecque et Lavoie, 2002) ou exotique n'a été recensée. L'absence d'espèce exotique et le nombre restreint d'espèces occasionnelles aux tourbières (Annexe 1) démontre le haut niveau d'intégrité écologique de la tourbière.

La sphaigne trompeuse (*Sphagnum fallax*) et le cassandre caliculé (*Chamaedaphne calyculata*) sont de loin les espèces dont la fréquence en pourcentage de relevés est la plus importante (Figure 17). En effet, ces espèces ont été recensées dans respectivement 69 et 58 % des relevés (total : 2124 relevés). La grande majorité des espèces identifiées sont des taxons préférentiels aux tourbières ombrotrophes, reflétant la dominance spatiale de ce type de milieu (Figure 17; Annexe 1).

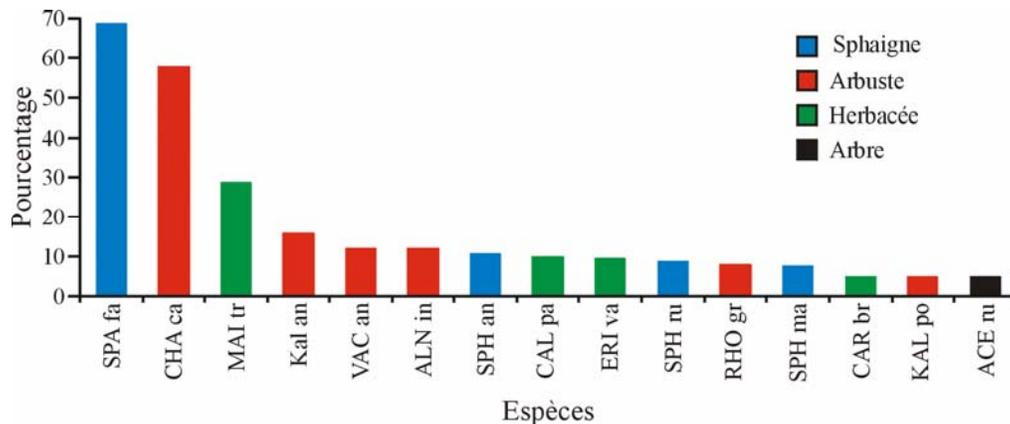


Figure 17. Fréquence (en pourcentage de relevés) des 15 principales espèces présentes dans la tourbière de la colline de Covey. Les codes correspondent aux trois premières lettres du genre et aux deux premières lettres de l'espèce (voir Annexe 1).

Le portrait diffère quelque peu lorsque la fréquence en terme de placette est prise en compte. Ainsi, les plantes vasculaires présentes dans le plus de placette sont : *Sphagnum fallax*, *Polytrichum strictum*, *S. magellanicum* et *S. angustifolium* (Figure 18a). Chez les vasculaires, les arbustes présents dans le plus de placettes sont *Chamaedaphne calyculata*, *Kalmia angustifolia*, *Alnus incana ssp. rugosa* et *Vaccinium angustifolium* (Figure 18b). Chez les arbres, seulement *Betula populifolia* et *Acer rubrum* étaient présents dans au moins 20 placettes. Pour ce qui est de la flore herbacée, *Maianthemum trifolium* est l'espèce ayant été recensée dans le plus de placettes (Figure 18c).

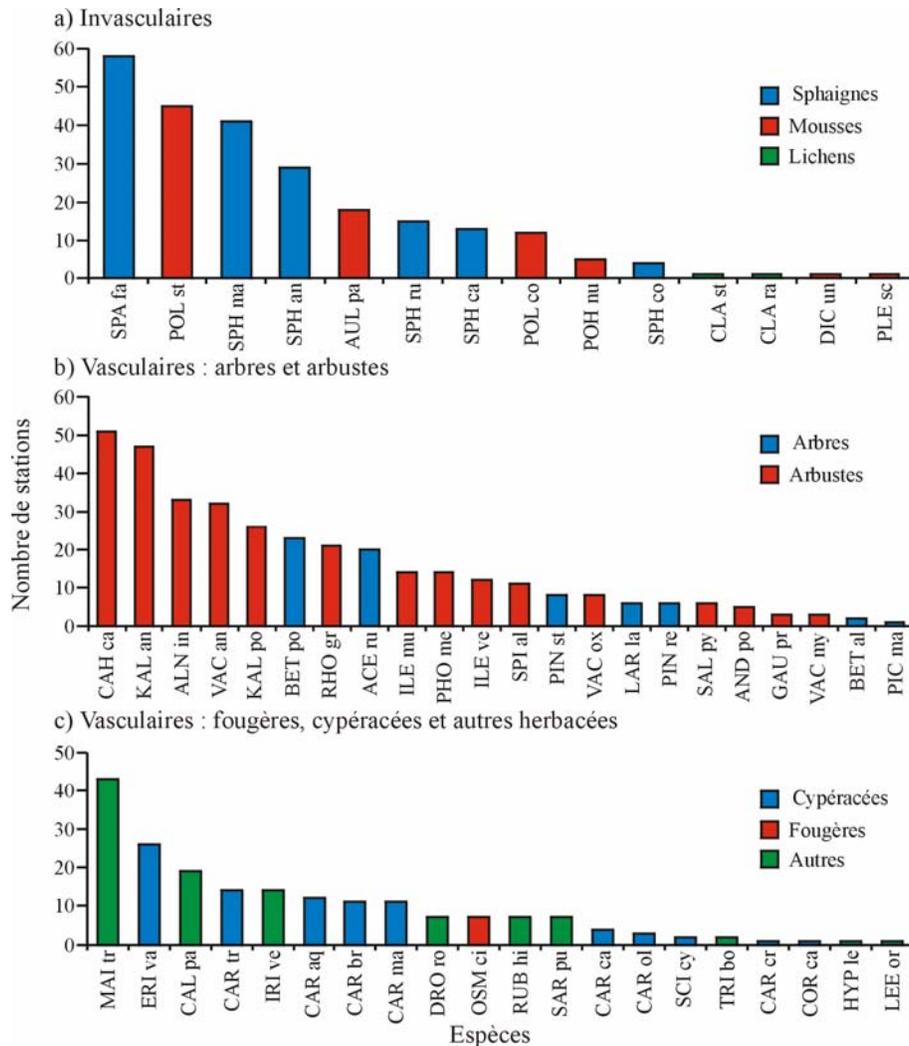


Figure 18. Fréquence (en nombre de placettes) des espèces invasives (a) et vasculaires (b et c) présentes dans la tourbière de la colline de Covey. Les codes correspondent aux trois premières lettres du genre et aux deux premières lettres de l'espèce (voir Annexe 1).

4.2.2 Groupements végétaux

L'analyse de classification a permis d'identifier cinq groupements végétaux (Figure 19), dont trois sont d'appartenance ombrotrophe et deux se rapproche des tourbières minérotrophes. Un de ces groupements constitue le lagg de la tourbière. Un lagg est la zone humide située à la marge des tourbières ombrotrophes qui collecte les eaux de percolation en provenance du dôme de la tourbière et des terres avoisinantes et qui supporte des communautés végétales qui ressemblent à celles des tourbières minérotrophes (Payette & Rochefort, 2001). Les caractéristiques environnementales sont relativement homogènes entre les groupements (Tableau 3). Étonnamment, le pH et la conductivité corrigée (K_{25}) de l'eau sont faibles même dans les

groupements se rapprochant des milieux minérotrophes. Ceci pourrait s'expliquer par l'écoulement rapide de l'eau dans les couches supérieures de l'aquifère alimentant la tourbière.

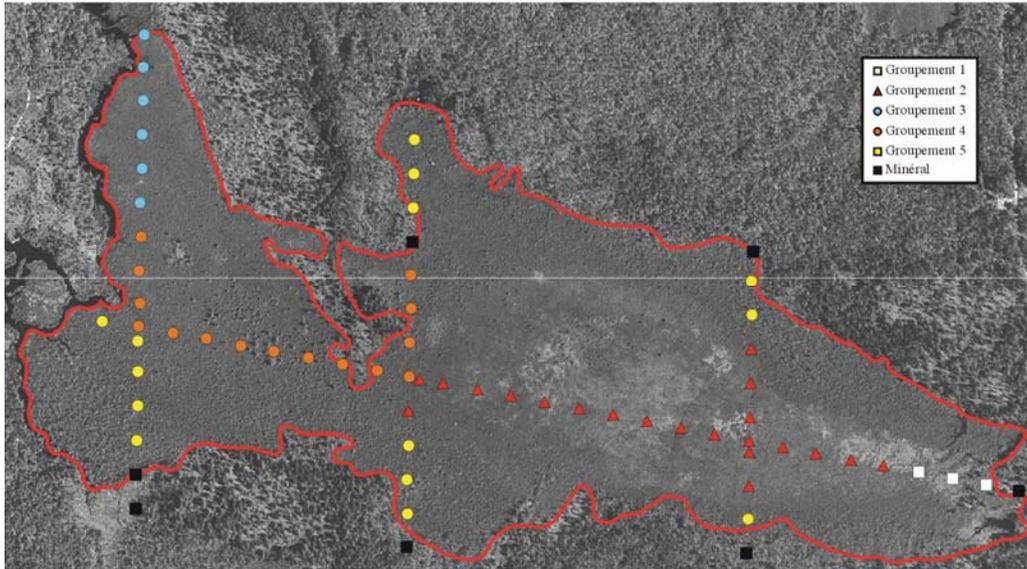


Figure 19. Localisation des groupements végétaux à la tourbière de la colline de Covey.

Tableau 3. Caractéristiques environnementales (moyenne \pm écart-type) pour chacun des groupements végétaux identifiés à la tourbière de la colline de Covey.

	Ombro.			Minéro.	Lagg
	1	2	3	4	5
Épaisseur (cm)	75 \pm 56	118 \pm 44	153 \pm 55	80 \pm 37	72 \pm 29
Eau libre (%)	0 \pm 0	7 \pm 12	24 \pm 28	27 \pm 22	41 \pm 28
pH	4,26 \pm 0,04	3,92 \pm 0,11	4,26 \pm 0,10	4,12 \pm 0,21	4,23 \pm 0,21
K ₂₅ (μ s/cm)	6,30 \pm 6,00	0,05 \pm 0,20	3,16 \pm 3,80	2,50 \pm 4,60	3,60 \pm 5,90
Surface terrière (m ² /ha)	0,20 \pm 0,20	0,04 \pm 0,01	0 \pm 0	0,8 \pm 1,2	1,7 \pm 2,9
Nappe minimale (cm)	-14 \pm 5	-25 \pm 8	-19 \pm 4	-19 \pm 5	-21 \pm 6
Nappe maximale (cm)	-6 \pm 5	-7 \pm 5	0 \pm 0	-3 \pm 2	-0 \pm 1
Distance à la bordure (m)	60 \pm 45	110 \pm 28	35 \pm 25	36 \pm 27	38 \pm 29

4.2.2.1 Groupements ombrotrophes

Les trois groupements ombrotrophes se caractérisent par une microtopographie de buttes et dépressions typique des tourbières ombrotrophes non forestières. La hauteur moyenne des buttes est relativement homogène dans les trois groupements (\pm 40-50 cm). Les dépressions sont essentiellement colonisées par des sphaignes (surtout *Sphagnum fallax*), tandis que les buttes sont surtout colonisées par des éricacées et par des sphaignes plus résistantes à la dessiccation.

Le groupement 1 comprend trois placettes à l'extrémité est de la tourbière (Figure 19). Selon l'analyse canonique discriminante, les espèces fortement associées à ce groupement sont : *Andromeda polifolia* var. *glaucophylla*, *Chamedaphne calyculata*, *Sphagnum angustifolium* et

S. capillifolium (Tableau 4). Les placettes constituant ce groupement peuvent être associées à une « Éricaçaie à *Andromeda polifolia* et *Sphagnum angustifolium* ». Le groupement 2 est constitué de 21 placettes dans la portion centrale de la partie est de la tourbière (Figure 19). Il s'agit d'une « Éricaçaie à *Chamaedaphne calyculata* et *Sphagnum fallax* ». Les espèces qui permettent de distinguer ce groupement de sont : *C. calyculata*, *Kalmia angustifolia*, *K. polifolia*, *Eriophorum vaginatum* ssp. *spissum*, *Politrichum strictum*, *S. fallax* et *S. rubellum* (Tableau 4). Le groupement 3, qui est constitué de six placettes à l'extrémité nord-ouest de la tourbière (Figure 19), est très similaire au groupement 2 et peut aussi être associé à une « Éricaçaie à *Chamaedaphne calyculata* et *Sphagnum fallax* ». Il se distingue de ce dernier par une moins grande abondance de *K. angustifolia*, de *P. strictum* et de *S. rubellum*, par la présence de *S. compactum* (Tableau 4), et par une humidité de surface beaucoup plus élevée (Tableau 3).

Tableau 4. Recouvrement moyen des espèces selon les cinq groupements végétaux identifiés à la tourbière de la colline de Covey. Seules les espèces qui sont significatives ($p < 0.05$) selon l'analyse canonique discriminante sont présentées.

Taxon	Groupements					F	p>F
	1	2	3	4	5		
<i>Acer rubrum</i>	0	0.4	0	2.6	19.7	26.6	<.0001
<i>Alnus incana</i> ssp. <i>rugosa</i>	0.9	3.8	6.4	19.6	23.3	7.3	<.0001
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>glaucophylla</i>	24.1	0	0	1.6	0	23.6	<.0001
<i>Betula populifolia</i>	1.9	0.8	0.5	6.6	1.7	7.09	0.0001
<i>Calla palustris</i>	0	0.3	4.49.3	4.4	37.2	23.2	<.0001
<i>Carex brunnescens</i>	0	0	0	0	23.5	21.2	<.0001
<i>Carex magellanica</i>	0	0	0	0.8	8.9	4.36	0.004
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	53.7	76.0	91.2	66.5	4.9	44.4	<.0001
<i>Eriophorum vaginatum</i>	10.2	23.2	0	0.6	1.1	17.2	<.0001
<i>Ilex mucronata</i>	0	0.4	0	4.2	6.0	3.16	0.021
<i>Ilex verticillata</i>	0	0.3	0	0.2	10.7	8.61	<.0001
<i>Iris versicolor</i>	0	0.1	0	0.8	18.2	9.74	<.0001
<i>Kalmia angustifolia</i>	10.2	27.2	5.1	11.1	9.0	5.42	0.001
<i>Kalmia polifolia</i>	0	9.9	1.4	7.1	0	3.99	0.0066
<i>Larix laricina</i>	0	0	0.5	4.8	0	3.68	0.0102
<i>Osmunda cinnamomea</i>	0	0.1	0	1.0	5.1	2.78	0.0361
<i>Polytrichum strictum</i>	14.8	35.2	3.7	3.2	5.1	14.3	<.0001
<i>Rubus hispidus</i>	0	0	0	0	4.7	5.76	0.0006
<i>Salix pyrifolia</i>	0	0	0	0.6	1.9	2.78	0.036
<i>Sarracenia purpurea</i>	0.9	0.9	0	0	0	2.6	0.0467
<i>Sphagnum angustifolium</i>	2.8	2.8	2.8	35.7	9.0	14.2	<.0001
<i>Sphagnum capillifolium</i>	11.1	4.1	0	0	0.2	7.74	<.0001
<i>Sphagnum compactum</i>	0	0	1.9	0.4	0	4.38	0.0039
<i>Sphagnum fallax</i>	14.8	79.6	88.4	61.1	62.2	11.7	<.0001
<i>Sphagnum rubellum</i>	0	23.1	0.5	0.2	0	5.49	0.0009
<i>Spiraea alba</i> var. <i>latifolia</i>	0	0	0	0.8	4.1	5.27	0.0012
<i>Vaccinium angustifolium</i>	2.8	2.8	2.8	35.7	9.0	14.18	<.0001
<i>Vaccinium myrtilloides</i>	0	0	0	0	0.9	2.65	0.043

4.2.2.2 Groupements minérotrophes

Les groupements minérotrophes sont situés dans la portion ouest de la tourbière et en bordure (Figure 19). Une microtopographie de buttes et dépression est aussi présente dans ces groupements, mais de façon moins marquée que dans les secteurs ombrotrophes. Ces groupements sont caractérisés par la présence d'arbustes hauts (plus de 1 m) et d'arbres et par une abondance de cypéracées et d'espèces aquatiques.

Le groupement 4 est constitué de 14 placettes dans la section centrale de la partie ouest (Figure 19) et forme une « Arbustaie à *Sphagnum fallax* ». Les espèces caractéristiques de ce groupement sont : *Alnus incana* ssp. *rugosa*, *Betula populifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Ilex mucronata*, *Larix laricina*, *Vaccinium angustifolium* et *S. fallax* (Tableau 4). Selon les espèces présentes et les caractéristiques environnementales (Tableau 3), il s'agit d'un milieu minérotrophe relativement pauvre. Ce type de milieu constitue généralement la transition entre les tourbières purement minérotrophes et les tourbières ombrotrophes. Toutefois, puisque ce groupement est situé dans la portion de la tourbière qui est affectée par la création d'un lac artificiel, il est plus probable que ce groupement soit plutôt une régression d'une tourbière ombrotrophe vers une tourbière minérotrophe. Finalement, le groupement 5 regroupe aussi 14 placettes, toutes situées en bordure de la tourbière (Figure 19). Ces placettes forment le lagg de la tourbière. Il s'agit plus spécifiquement d'un « Lagg à *Alnus incana* ssp. *rugosa* ». Les espèces clés sont : *Acer rubrum*, *A. incana* ssp. *rugosa*, *Calla palustris*, *Iris versicolor* et *S. fallax*.

4.2.3 Relations flore / environnement

Les variables environnementales prises en compte permettent d'expliquer 30 % (inertie totale / somme des valeurs propres canoniques) de la variabilité floristique de la tourbière de la colline de Covey (Monte Carlo : $p = 0.001$). La corrélation élevée entre la flore et les variables environnementales indique une forte relation entre les variables mesurées et les 47 espèces prises en compte dans le modèle (Tableau 5). Le premier axe permet d'expliquer 14 % de la variation dans le jeu de données des espèces et compte pour 46,2 % de la relation flore-variables environnementales. Cet axe représente un gradient d'humidité (nappe phréatique maximale et % eau libre), un gradient d'acidité et un gradient bordure-centre (Tableau 5). Le second axe explique 5 % de la variation dans le jeu de données des espèces et compte pour 18 % de la relation flore-variables environnementales (Tableau 5). Seule la variable Nappe phréatique minimale (donc un niveau d'eau éloigné de la surface) est relativement bien corrélée avec cet axe.

La projection des variables environnementales sur les groupements et sur les espèces indique que les espèces et les groupements ombrotrophes se situent en général au centre de la tourbière (éloignée des bordures), tandis que les espèces et les groupements minérotrophes se trouvent en bordure du site et dans les secteurs plus humides (Figure 20). Bien que les caractéristiques

environnementales (Tableau 3) semblent relativement homogènes entre les groupements, il est intéressant de noter qu'un gradient d'acidité est perceptible entre les groupes, les deux extrêmes étant le groupement 1 et le groupement 5 (Figure 20).

Tableau 5. Sommaire des résultats de l'analyse canonique des correspondances réalisée à partir des variables environnementales et des relevés floristiques de la tourbière de la colline de Covey.

Axes	1	2	3	4
Valeurs propres	0,364	0,141	0,084	0,067
Corrélation entre la flore et les variables	0,889	0,764	0,775	0,645
% cumulés de la variance				
de la relation composition floristique	14,0	19,4	22,6	25,2
de la relation flore-variables	46,2	64,0	74,7	83,2
Corrélations				
% eau libre	0,66	-0,26		
Épaisseur	-0,32	-0,07		
pH	0,73	0,33		
Conductivité	0,46	0,30		
Surface terrière	0,59	-0,22		
Distance à la bordure	-0,74	-0,46		
Nappe phréatique min.	0,29	0,61		
Nappe phréatique max.	0,75	0,02		
Inertie totale : 2,605				
Somme des valeurs propres des axes canoniques : 0,788				

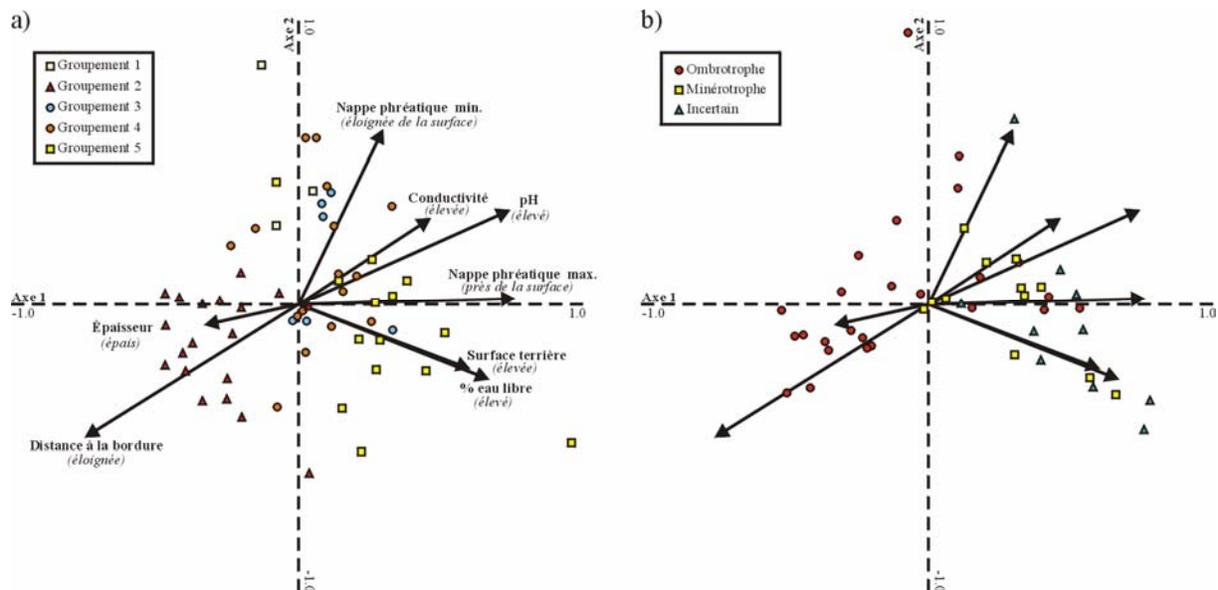


Figure 20. Diagrammes d'ordinations par analyses canonique de correspondances de l'assemblage floristique de la tourbière de la colline de Covey. Les variables environnementales sont projetées sur a) les groupements et b) les espèces selon leur statut trophique (Annexe 1).

4.3 CONCLUSION

Les inventaires floristiques ont permis de démontrer le haut niveau d'intégrité écologique de la végétation de la tourbière de la colline de Covey. En effet, aucune espèce exotique ou envahissante n'a été identifiée et la grande majorité des espèces recensées sont des espèces préférentielles aux tourbières. Nos travaux ont également permis de confirmer le caractère essentiellement ombrotrophe du site. Il s'agit de cette caractéristique qui assure l'effet réservoir hydrique de la tourbière. Les principales variables environnementales qui semblent responsables de la composition des communautés végétales de la tourbière sont : la distance à la bordure, le pourcentage d'eau libre, le niveau de la nappe phréatique et le pH de l'eau.

D'autre part, il semble que la végétation de la section ouest de la tourbière soit quelque peu affectée par la présence du lac artificiel. En effet, le nombre d'espèces aquatiques et arborescentes, dont le statut trophique est minérotrophe, est plus élevé dans cette portion de la tourbière, bien que les espèces ombrotrophes dominent. Il semble donc que le milieu ombrotrophe régresse vers un milieu minérotrophe pauvre ou un milieu de type lagg. Ce phénomène semble aussi présent dans la section est de la tourbière, mais de façon moins marquée. Dans cette section, le lagg semble gagner du terrain au détriment du noyau ombrotrophe. Ce phénomène pourrait être en partie relié aux barrages de castors situés à l'amont des deux exutoires. Par conséquent, des stations permanentes seront instaurées aux limites du lagg au cours de l'été 2007 afin de suivre sa progression spatiale et par le fait même la régression du secteur ombrotrophe. Les communautés ombrotrophes semblent en effet être les plus fragiles aux modifications de leur environnement.

5 VOLET PALÉOÉCOLOGIQUE

Les principaux objectifs du volet paléoécologique du projet étaient de reconstituer la dynamique postglaciaire de la végétation de la colline de Covey; d'examiner l'histoire des peuplements forestiers exceptionnels situés en périphérie de la tourbière (peuplements matures de pruches et landes de pins); d'obtenir l'âge de la tourbière, de caractériser les processus de sa mise en place et de comprendre son développement spatial; et de reconstituer l'histoire de la flore de la tourbière et la succession des régimes trophiques depuis son origine. Ce volet a été réalisé par Marion Bottollier-Curtet, stagiaire de l'Université de Montpellier, Anne-Marie Girard-Cloutier, étudiante au baccalauréat au département de Géographie de l'Université Laval, Martin Lavoie, professeur au département de Géographie de l'Université Laval et Stéphanie Pellerin.

Afin d'atteindre ces objectifs, deux méthodes d'investigations paléobotaniques furent employées : l'analyse sporopollinique et l'analyse macrofossile. L'analyse sporopollinique est une méthode permettant de reconstituer l'histoire à long terme du couvert végétal fondée sur l'identification des grains de pollen et des spores présents dans un échantillon sédimentaire donné ou une série d'échantillons. Le dénombrement des grains de pollen et des spores, ainsi que le pourcentage de représentation des différentes espèces identifiées dans un échantillon, constituent le spectre sporopollinique. Il est un reflet de la végétation de l'époque correspondant au dépôt de l'échantillon. L'ensemble des spectres sporopolliniques d'une série verticale et temporelle d'échantillons sédimentaires forme le diagramme pollinique. Celui-ci livre l'histoire des variations d'abondance des espèces et des populations végétales dans le temps. L'ensemble des pourcentages de représentation d'une espèce donnée, selon la profondeur ou le temps, est la courbe pollinique ou la courbe sporale. Elle traduit l'évolution de l'abondance de l'espèce. L'analyse sporopollinique livre l'histoire de la végétation qui était présente à une échelle spatiale locale (quelques dizaines de mètres), extra-locale (quelques centaines de mètres) et régionale (quelques kilomètres) (Lavoie, 2001).

L'analyse macrofossile consiste en l'identification de pièces végétales de grande taille préservées dans les sédiments (graines, feuilles, bois, charbons de bois, etc.). En raison de leur taille et de leur poids, ces pièces ne sont pas dispersées sur de grandes distances par le vent et leur identification dans une séquence sédimentaire témoigne de la présence sur place de la plante émettrice. Cette méthode permet donc d'étudier l'histoire de la végétation à l'échelle locale. Le dénombrement et l'identification des pièces macrofossiles d'un échantillon sédimentaire donné

constituent le spectre macrofossile. L'ensemble des spectres macrofossiles d'une série verticale et temporelle d'échantillons sédimentaires forme le diagramme macrofossile.

L'interprétation des données paléoécologiques repose sur un cadre chronologique basé sur la datation au radiocarbone d'échantillons sédimentaires.

5.1 MÉTHODOLOGIE

5.1.1 Échantillonnage sur le terrain

Les analyses paléoécologiques ont surtout porté sur une carotte sédimentaire récoltée à l'endroit de la tourbière où les sédiments étaient les plus épais (Figure 21). L'échantillonnage a eu lieu au mois de mai 2006. La carotte fut prélevée à l'aide d'un carottier de type Box et d'une sonde russe. Des répliquats ont été récoltés afin d'obtenir une quantité suffisante de matériel pour les différentes analyses paléoécologiques et les datations au radiocarbone. La base de la tourbe près du contact organo-minéral fut aussi échantillonnée en plusieurs autres points de la tourbière afin d'obtenir l'âge du début de l'accumulation sédimentaire à ces endroits et d'établir un modèle du développement spatial du site. Enfin, plusieurs échantillons de tourbe ont été récoltés à différentes profondeurs le long des profils de végétation afin de décrire la stratigraphie des sédiments.

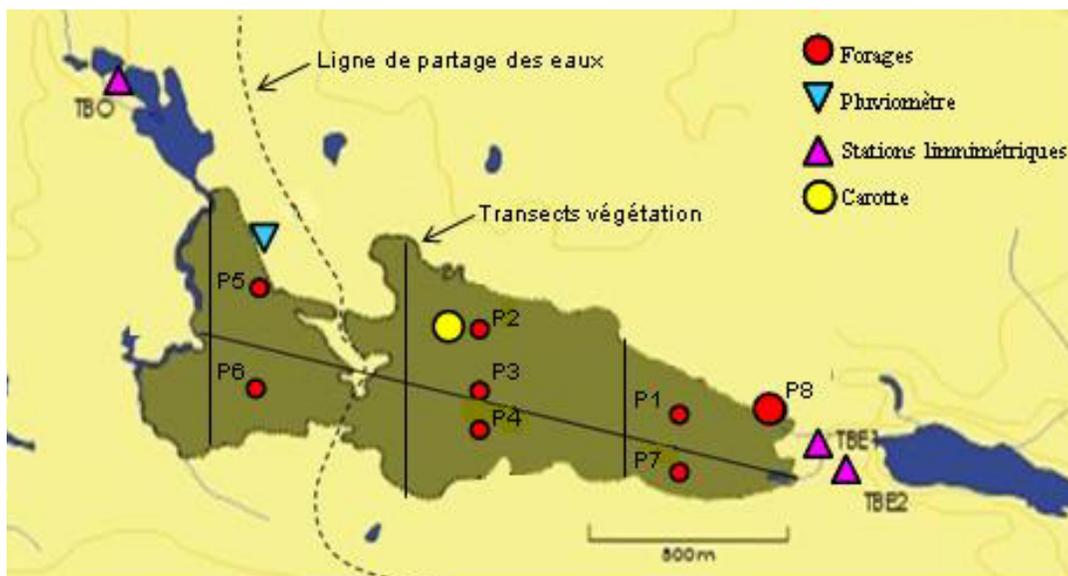


Figure 21. Localisation du lieu de prélèvement de la carotte pour les analyses paléoécologiques de la tourbière de la colline de Covey.

5.1.2 Analyses sporopolliniques

Les analyses sporopolliniques ont d'abord été réalisées à un intervalle régulier de 8 cm. La résolution des analyses sera augmentée à tous les 4 cm pendant l'été 2007. Pour chacun des niveaux analysés, un sous-échantillon sédimentaire d'un volume de 1 cm³ fut traité chimiquement en laboratoire afin d'extraire les grains de pollen, les spores et les autres palynomorphes (Faegri & Iversen, 1989). Les analyses sporopolliniques ont été réalisées au microscope à un grossissement de 400×. Un minimum de 500 grains de pollen de plantes vasculaires terricoles (somme pollinique) fut compté pour chaque spectre pollinique. Les résultats sont présentés sous la forme de pourcentages polliniques par rapport à la somme pollinique. À ce jour, 57 niveaux ont été analysés.

5.1.3 Analyses macrofossiles

Les analyses des macrorestes végétaux furent réalisées à un intervalle régulier de 4 cm, ce qui représente un total de 87 échantillons. Pour chacun des niveaux analysés, un sous-échantillon sédimentaire d'un volume de 10 à 50 cm³ a été tamisé à travers deux tamis superposés de maille respective de 425 et 250 microns à l'aide d'un jet d'eau. Les pièces macrofossiles ont été dénombrées et identifiées sous une loupe binoculaire à un grossissement de 40×. Les résultats sont exprimés pour un volume standard de 50 cm³. En plus des pièces végétales des plantes vasculaires et invasculaires, les charbons de bois, les sclérotés de champignons et les invertébrés aquatiques ont aussi été dénombrés et identifiés.

5.1.4 Datations au radiocarbone

Sept échantillons de la carotte ont été soumis pour datation au radiocarbone au Laboratoire de radiochronologie du Centre d'études nordiques de l'Université Laval (Québec) et à l'Université Irvine en Californie. À ce jour, nous avons obtenu les résultats de six échantillons. L'échantillon basal (347 cm) est présentement en cours de datation. La tourbe basale de six points d'échantillonnage est présentement soumise pour la datation au radiocarbone.

5.2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.2.1 Stratigraphie des sédiments et datations au radiocarbone

D'une épaisseur de 350 cm, la carotte est composée de deux principales unités stratigraphiques (Figure 22). À la base du profil (310-350 cm), une gyttja silteuse témoigne de la présence initiale

d'un plan d'eau peu profond. Le reste de la carotte (0-310 cm) consiste en de la tourbe dont la composition (sphaignes, restes d'herbacées, bois) varie selon les niveaux.

Un âge de 12 265-12 375 ans (années étalonnées) a été obtenu à la profondeur 300 cm (Tableau 6 et Figure 22). Ceci indique que l'accumulation des sédiments a débuté pendant l'époque du Tardiglaciaire (> ~11 500 ans avant nos jours). Malgré l'absence de date concernant la base des sédiments pour le moment, nous pouvons toutefois estimer par interpolation que l'âge de la tourbière est d'environ 13 450 ans (en assumant que le taux d'accumulation sédimentaire fut constant durant le Tardiglaciaire) (Figure 22). La tourbière de la colline de Covey est donc l'une des plus vieilles tourbières connues à ce jour au Québec.

Tableau 6. Datations au radiocarbone des échantillons de la carotte de la tourbière de la colline de Covey.

Échantillon et profondeur (cm)	Matériel daté	Âge conventionnel (années 14C BP)	Âge étalonné (années étal. BP)	No de laboratoire (U. Laval)	No de laboratoire (U. Irvine)
CH-050	Tourbe	40 ± 15	40	ULGAS-780 ULA-258	35027
CH-100	Tourbe	4530 ± 20	5055-5180	ULGAS-782 ULA-259	35028
CH-150	Tourbe	7635 ± 20	8390-8450	ULGAS-656 ULA-205	33460
CH-200	Tourbe	8055 ± 20	8795-9025	ULGAS-716 ULA-202	34487
CH-250	Tourbe	8930 ± 30	9920-10 195	ULGAS-652 ULA-203	33447
CH-300	Tourbe	10 360 ± 20	12 265-12 375	ULGAS-654 ULA-204	33459
CH-347	Gyttja silteuse	À venir	À venir	À venir	À venir

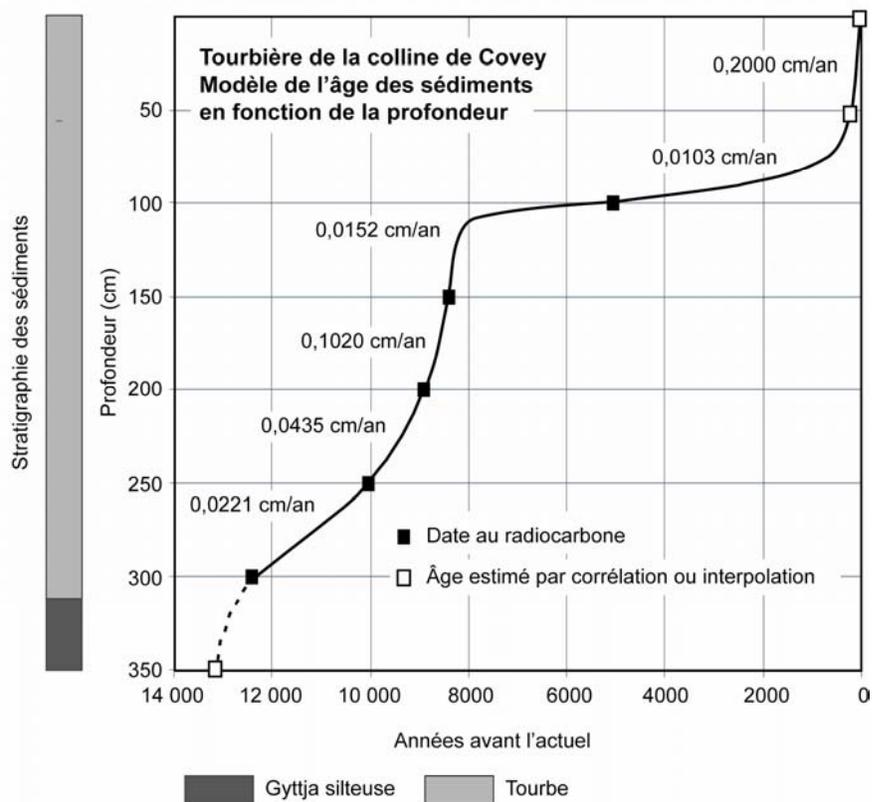


Figure 22. Modèle de l'âge des sédiments en fonction de la profondeur pour la carotte de la tourbière de la colline de Covey. Les taux d'accumulation sédimentaires (cm/an) sont indiqués.

Un modèle de l'âge des sédiments en fonction de la profondeur est présenté à la Figure 22. La date de 50 ans obtenue à la profondeur 50 cm (Tableau 6) a été rejetée, car elle est estimée trop jeune compte tenu de la position stratigraphique de l'échantillon. Un âge de 250 ans correspondant au début des activités humaines dans la région a été attribué pour cette profondeur en se basant sur les informations livrées par le diagramme pollinique (voir plus bas). Le modèle d'âge montre que le rythme d'accumulation de la matière organique fut très variable dans le temps. Sur plus de la moitié du profil (150-350 cm), la tourbe s'est accumulée très rapidement soit pendant environ les 5000 premières années de l'histoire de la tourbière. En revanche, un taux d'accumulation très lent caractérise la période comprise entre 8 000 et 1 000 ans avant nos jours.

Les échantillons de tourbe prélevés à différentes profondeurs aux autres points d'échantillonnage de la tourbière montrent que la composition de la tourbe est très variable d'un endroit à l'autre. Selon le cas, elle se compose de sphaignes, de plantes herbacées, de bois, ou d'un mélange de ces composantes. Les datations de la tourbe basale ne sont pas encore disponibles.

5.2.2 Histoire postglaciale de la végétation régionale

Le diagramme sporopollinique de la tourbière de Covey Hill est présenté à l'Annexe 3. Les résultats montrent une grande diversité taxonomique (86 taxons polliniques identifiés). Afin de ne pas surcharger le diagramme, seules les courbes polliniques et sporales des espèces les plus abondantes sont présentées. Le diagramme est subdivisé en sept zones d'assemblages polliniques (Zones P-I à P-VII), ces dernières représentant des périodes de stabilité au sein du couvert végétal régional. Les principaux résultats livrés par le diagramme sont les suivants :

- Zone P-I (350-316 cm) : l'analyse sporopollinique des sédiments les plus anciens témoigne d'un paysage de toundra arbustive où les arbres étaient absents. Les plantes herbacées, notamment des plantes arctiques-alpines (*Artemisia*, *Saxifraga*, Poaceae, Cyperaceae), caractérisaient le paysage. Le bouleau glanduleux (*Betula glandulosa*) était aussi présent.
- Zone P-II (316-284 cm) : cette zone traduit la constitution des premiers boisements régionaux formés essentiellement d'épinette (*Picea*), de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) et de bouleau blanc (*Betula papyrifera*). Ces forêts, à prédominance coniférienne, étaient peu denses comme en témoigne les pourcentages élevés de certains arbustes (*Alnus*, *Salix*) et herbes (Cyperaceae, *Artemisia*).
- Zone P-III (284-228 cm) : la Zone III indique une densification et la fermeture des forêts. Elle correspond à la formation d'une forêt mixte (sapinière) au sein de laquelle les principales espèces arborescentes étaient le sapin baumier (*Abies balsamea*), le pin blanc (*Pinus strobus*) et le bouleau blanc. Les pourcentages polliniques suggèrent aussi la présence du chêne (*Quercus*) et du mélèze (*Larix laricina*).
- Zones P-IV (228-114 cm), P-V (114-98 cm) et P-VI (98-52 cm) : les Zones IV à VI correspondent à l'arrivée de l'érable à sucre (*Acer saccharum*) dans la région (zone P-IV) et à la constitution des forêts décidues (érablières). Elles montrent aussi la migration des espèces les plus thermophiles du Québec comme le tilleul d'Amérique (*Tilia americana*) et le noyer cendré (*Juglans cinerea*). Durant cette période, le diagramme pollinique illustre d'importants changements concernant la représentation et la dominance des espèces qui accompagnaient l'érable à sucre : le pin blanc et le chêne étaient abondants

durant la Zone IV, la pruche (*Tsuga canadensis*) et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) durant la Zone V, le hêtre et le bouleau jaune durant la Zone VI.

- Zone P-VII (52-0 cm) : le sommet de la carotte se caractérise par de profonds changements dans la composition et la structure du couvert végétal engendrés par les activités humaines. La disparition d'une grande partie du couvert forestier, indiquée par une baisse marquée des pourcentages polliniques des arbres, est associée à l'arrivée d'un cortège de plantes rudérales dont les plus abondantes sont l'herbe à poux (*Ambrosia*), l'oseille (*Rumex*) et les Poaceae (qui comprennent entre autres le maïs).

Le diagramme pollinique de la tourbière de la colline de Covey montre un enregistrement de la végétation tardiglaciaire (> ~11 500 ans avant l'actuel) et holocène (~11 500 ans à nos jours) similaire à ceux décrits précédemment pour d'autres sites du domaine bioclimatique de l'Érablière à caryer cordiforme (Muller & Richard, 2001). L'estimation de l'âge du début de l'accumulation sédimentaire (13 450 ans) place cette tourbière parmi les plus anciennes connues à ce jour au Québec. L'accumulation sédimentaire s'est amorcée au sein d'un paysage de toundra arbustive. La datation au radiocarbone de la base des sédiments permettra d'obtenir l'âge exact de la tourbière. Les étapes subséquentes de la constitution des forêts furent d'abord caractérisées par une forêt boréale ouverte (vers 12 850 ans avant l'actuel) et ensuite d'une forêt mixte correspondant à la fermeture des forêts (vers 11 600 ans avant l'actuel). En ce qui concerne les différentes étapes de l'évolution des forêts décidues (érablières), elles n'apparaissent pas synchrones avec celles documentées ailleurs au Québec méridional (Muller & Richard, 2001). Ceci suggère la non-existence d'un patron de migration unique pour les espèces arborescentes thermophiles des érablières, en raison notamment des particularités stationnelles propres à chacun des sites. Le dernier stade de l'évolution des forêts est commun à l'ensemble de la région. Les changements dans les pourcentages polliniques des espèces arborescentes et rudérales traduisent les activités anthropiques (déboisement, agriculture) ayant relégué la forêt à l'état de parcelles résiduelles situées sur des sols non arables ou sur des petites propriétés privées.

5.2.3 Les peuplements forestiers exceptionnels

L'un des objectifs du volet paléoécologique était d'examiner l'histoire des peuplements forestiers exceptionnels présents sur la colline de Covey, c'est-à-dire les landes de pins (pin rouge, pin gris et pin blanc) et les peuplements matures de pruches. La dernière zone du diagramme pollinique

(Zone P-VII) montre, vers 25 cm de profondeur, une augmentation des pourcentages du pin gris-pin rouge de 0 à 5 % (ces deux espèces ne pouvant être distinguées l'une de l'autre par leur pollen) et du pin blanc. Dans le cas du pin gris-pin rouge, une telle tendance n'est observée que pour un seul autre site en Montérégie (Yamaska). Ainsi, bien que les pins soient reconnus pour leur grande production de pollen, cette augmentation de leur représentation reflète fort probablement la présence des landes de pins sur la colline compte tenu de leur répartition actuelle dans le sud du Québec sous forme de petits îlots cantonnés aux stations xériques. La formation des landes de pins serait ainsi très récente, c'est-à-dire moins de 250 ans. Il n'est toutefois pas impossible que l'installation de ces dernières soit plus ancienne. L'analyse macrofossile d'un monolithe de tourbe récolté en périphérie de la tourbière près des pins permettrait de dater avec plus de précision leur formation.

En ce qui concerne les peuplements matures de pruches, les pourcentages de la pruche augmentent aussi vers 25 cm de profondeur. La situation pour cette espèce est toutefois plus difficile à interpréter pour le moment avec les seules données polliniques. L'analyse macrofossile d'un monolithe de tourbe permettrait aussi d'apporter des informations supplémentaires sur le moment de l'établissement de ces peuplements.

5.2.4 Histoire locale de la végétation de la tourbière

Les résultats de l'analyse macrofossile ont permis de distinguer cinq principales étapes (Zones M-I à M-V) dans l'histoire de la flore locale et des conditions trophiques de la tourbière au point d'échantillonnage. Les principaux résultats sont présentés au sein du Tableau 7 :

- Zone M-I (350-214 cm) : cette zone à la base de la carotte correspond au dépôt d'une gyttja silteuse et au début de l'accumulation de la tourbe. De nombreux restes de plantes aquatiques (principalement des graines de *Potamogeton* et de *Najas flexilis* et de oogones de *Chara*) ont été trouvés.
- Zone M-II (214-146 cm) : la Zone M-II est caractérisée par une disparition presque complète des plantes aquatiques et par une importante augmentation des restes de *Larix laricina*. On note aussi la présence de l'arbuste *Andromeda polifolia* ssp. *glaucophylla*.
- Zone M-III (146-109 cm) : la représentation de *Larix laricina* diminue durant cette zone alors que des restes de *Picea* ont été trouvés, ainsi que des pièces d'*Andromeda* avec un maximum à 124 cm de profondeur.

- Zone M-IV (109-53 cm) : très peu de macrorestes végétaux ont été identifiés durant la Zone M-IV, à l'exception de quelques restes d'épinette noire.
- Zone M-V (53-0 cm) : la Zone M-V correspond à la partie supérieure du profil et se caractérise dans un premier temps par un important maximum de charbons de bois centré sur 50 cm de profondeur. Ce maximum correspond à la disparition de *Picea* et à l'apparition des Cyperaceae, de *Eriophorum* et de *Sphagnum*. Immédiatement après l'horizon de charbons sont retrouvées en quantités importantes des pièces de bouleaux, de *Chamaedaphne calyculata*, de *Kalmia* et des mousses brunes. Au sommet de la zone, des pièces de *Chamaedaphne*, de *Andromeda* et de sphaignes ont été identifiées.

Tableau 7. Résumé des principaux résultats de l'analyse macrofossile de la carotte de la tourbière de la colline de Covey.

Zones (profondeurs)	Espèces dominantes	Interprétation
Zone M-V (0-53 cm)	Arbustes <i>Betula</i> et autres Betulaceae <i>Andromeda</i> , <i>Kalmia</i> , <i>Chamaedaphne</i> Herbes Cyperaceae, <i>Eriophorum</i> Bryophytes <i>Sphagnum</i> , Mousses brunes Autres Charbons de bois	- Conditions ombrotrophes
Zone M-IV (53-109 cm)	Arbre <i>Picea</i>	- Conditions ombrotrophes
Zone M-III (109-146 cm)	Arbres <i>Larix</i> , <i>Picea</i> Arbustes <i>Andromeda</i> Herbes <i>Eriophorum</i>	- Transition graduelle vers conditions ombrotrophes
Zone M-II (146-214 cm)	Arbre <i>Larix</i> Arbustes <i>Alnus</i> , <i>Andromeda</i> Plantes aquatiques <i>Najas flexilis</i> , <i>Hypericum</i> Bryophytes <i>Sphagnum</i>	- Conditions minérotrophes - Nappe phréatique en surface
Zone M-I (214-350 cm)	Arbre <i>Larix</i> Herbes <i>Carex</i> , <i>Scirpus</i> Plantes aquatiques <i>Chara</i> , <i>Najas flexilis</i> , <i>Potamogeton</i> Bryophytes Mousses brunes	- Plan d'eau initial peu profond de petite superficie - Conditions ensuite minérotrophes - Nappe phréatique en surface et mares

Les résultats des analyses macrofossiles ont permis de reconstituer l'histoire de la végétation présente sur la tourbière au point d'échantillonnage de la carotte depuis son origine et la succession des régimes trophiques. Le dépôt d'une gyttja silteuse à la base du profil au sein d'une dépression du substrat sous-jacent et la présence de plantes aquatiques indiquent l'existence initiale d'un plan d'eau peu profond (mare ou étang bordé d'une végétation hygrophile) qui fut le point d'origine de la tourbière (première partie de la Zone M-I). Ce plan d'eau étant sans doute d'une petite superficie en raison de l'absence de gyttja silteuse à tous les autres points de sondage. Cette absence indique aussi que la tourbière, suite au comblement du plan d'eau, s'est développée spatialement de façon centrifuge par l'entourbement du substrat pour atteindre ses limites actuelles. L'obtention de dates au radiocarbone de la tourbe basale en d'autres points de sondage permettra de reconstituer le patron de croissance spatiale du site. Suite au comblement du plan d'eau, des conditions minérotrophes ont prévalu à la surface de la tourbière pendant la deuxième partie de la Zone M-I et les Zones M-II et M-III. Pendant la Zone M-II, les conditions locales étaient très humides et la nappe phréatique près de la surface. La tourbière était sans doute alors parsemée de mares. Le mélèze laricin et l'épinette noire étaient présents localement. À partir de la Zone M-III, les conditions locales sont devenues graduellement moins humides, témoignant d'un passage progressif vers des conditions ombrotrophes. Au cours des derniers siècles (vers 250 ans avant l'actuel), la tourbière fut affectée par un important feu révélé par la présence d'un horizon de charbons de bois. Cet horizon correspond avec la disparition complète des restes de l'épinette noire dans les assemblages macrofossiles et à l'installation d'arbustes associés à des conditions ombrotrophes.

5.2.5 Informations paléoclimatiques livrées par la tourbière de la colline de Covey

Le taux d'accumulation sédimentaire très lent survenu entre 150 et 75 cm, de profondeur et révélé par le modèle âge-profondeur (Figure 22) est inhabituel pour les tourbières étudiées à ce jour au Québec méridional. Une telle diminution du rythme de l'accumulation de la tourbe pourrait refléter un contrôle climatique, notamment d'ordre paléohydrologique (précipitations/évapotranspiration) sur la dynamique à long terme de la tourbière. Un climat plus sec, associé ou non à une augmentation des températures, aurait eu pour effet d'engendrer une baisse du niveau de la nappe phréatique de l'aquifère du roc fracturé qui alimente la tourbière, créant ainsi des conditions propices à la décomposition de la tourbe. La position particulière de la tourbière en tête de bassin pourrait expliquer sa sensibilité aux changements climatiques par rapport aux

autres tourbières du sud du Québec. La faible concentration de pièces macrofossiles dans la carotte durant cette période (les macrorestes auraient été décomposés) et l'installation de l'épinette noire sur le site sont d'autres indices militant en faveur d'un assèchement de la tourbière.

L'existence de conditions climatiques plus sèches pendant l'Holocène moyen a été documentée dans l'est de l'Amérique du Nord par l'entremise de l'étude des changements des niveaux lacustres (Foster *et al.*, 2006). Un épisode climatique plus sec est notamment survenu pendant le déclin pollinique de la pruche vers 5000 ans avant nos jours (Annexe 3, Zone P-VI). Au Québec méridional, deux lacs ont été caractérisés par de bas niveaux d'eau pendant la période du faible taux d'accumulation sédimentaire (Lavoie & Richard, 2000; Muller *et al.*, 2003). La tourbière de la colline de Covey apporte donc de nouveaux renseignements originaux appuyant l'hypothèse de changements paléohydrologiques pendant l'Holocène.

5.3 CONCLUSION

Les analyses sporopolliniques et macrofossiles de la carotte sédimentaire récoltée à l'endroit de la tourbière où les sédiments étaient les plus épais ont permis de répondre aux principaux objectifs du volet paléoécologique du projet. La dynamique postglaciaire de la végétation de la colline a été retracée et nous possédons maintenant des éléments d'information concernant le moment de l'établissement des peuplements forestiers exceptionnels situés en périphérie du site. Bien que nous n'ayons pas encore obtenu la date basale de la carotte, les datations au radiocarbone des autres échantillons indiquent que l'accumulation de la matière organique a débuté au Tardiglaciaire. Enfin, les différentes étapes de l'évolution de la tourbière au point d'échantillonnage (succession de la flore et des conditions trophiques) ont été documentées.

L'âge de la tourbière (> 12 265-12 375) est digne d'intérêt. En raison de la présence de glaces et de mers postglaciaires au Québec méridional pendant le Tardiglaciaire, peu de sites (lacs, tourbières) présentent des âges aussi anciens. En Montérégie, de tels sites se trouvent, entre autres, sur les collines montérégiennes qui formaient à cette époque des îles au sein de la mer de Champlain, comme par exemple le lac Hertel et le marécage Hemlock Carr au mont Saint-Hilaire qui datent d'environ 13 000 ans (Occhietti & Richard, 2003). En raison de son âge, la tourbière de la colline de Covey mérite sans aucun doute la mise sur pied de mesures de protection pour la conserver et la préserver des activités anthropiques.

Les travaux paléoécologiques se poursuivent présentement à la tourbière de la colline de Covey.

Parmi ces travaux, mentionnons:

- l’obtention de l’âge de la tourbe en plusieurs points afin de dresser le portrait du développement spatial du site;
- l’analyse sporopollinique de la carotte à des intervalles stratigraphiques de 4 cm afin d’affiner l’interprétation de l’histoire postglaciaire des forêts de la colline;
- l’analyse macrofossile d’un monolithe de tourbe récolté à la marge de la tourbière qui permettra d’apporter des informations supplémentaires sur la date de l’installation et la dynamique à long terme des landes de pins et des peuplements matures de pruches.

6 CONCLUSION GÉNÉRALE

L'ensemble des travaux réalisés depuis le printemps 2006 a permis de répondre aux principaux objectifs du projet de recherche. Ainsi, au niveau hydrologique, les échanges entre la tourbière et le reste de la colline ont été caractérisés et un premier bilan hydrique a été calculé. Les données hydrologiques seront raffinées au cours des prochaines années et un modèle numérique d'écoulement des eaux sera créé. Au niveau floristique, nous avons identifié les principales communautés présentes sur la tourbière de même que les variables environnementales expliquant leur composition. À l'été 2007, des bornes permanentes ont été mises en place aux limites des secteurs ombrotrophes afin de caractériser leur contraction/expansion dans le temps, et ce, en relation avec diverses variables environnementales (perturbations, climat, etc.). Finalement, les analyses paléoécologiques ont permis de dater la tourbière et de retracer les principales étapes de son évolution et de celle des peuplements forestiers de la colline. Le patron d'expansion latérale de la tourbière sera réalisé au cours de l'automne 2007, et ce, lorsque les datations basales du dépôt organique seront disponibles.

7 RÉFÉRENCES

- Barrington, S.F. & B. Phillion (1993) *Hydrological study of Covey Hill (Havelock, Quebec) for the protection of salamanders*. Nature Conservancy. Toronto, Canada.
- Beckwith, C.W., A.J. Baird & A.L. Heatwaite (2003) Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: laboratory measurements. *Hydrological Processes*, 17: 89-101.
- Bilodeau, I. (2002) *Caractérisation géochimique et cartographique de l'eau souterraine et des ruisseaux sur la colline de Covey (Montréal, Québec)*. Rapport d'activité de synthèse. Département des Sciences de la Terre, UQAM, Montréal. 18 p.
- Bilodeau, I. (2004) *Caractérisation des sols sur la colline de Covey*. Centre Brace pour les ressources en eau. McGill University, Montréal. 23 p.
- Bonham, C.D. (1989) *Measurements for terrestrial vegetation*. John Wiley & Sons. New York, 352 p.
- Bouchard, A. & J. Brisson (1996) Domaine de l'érablière à Caryer cordiforme. Pages 160-170 dans J. Bérard (éd.) *Manuel de foresterie*, pp. 160-170. Ordre des ingénieurs forestiers et Les Presses de l'Université Laval, Saint-Nicolas.
- Bouma, J., L.W. Dekker & C.J. Muilwijk (1981) A field method for measuring short-circuiting in clay soils. *Journal of Hydrology*, 52: 347-354.
- Campbell, D.R. & L. Rochefort (2001) La végétation : gradients. Pages 129-140 dans S. Payette & L. Rochefort. *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Saint-Nicolas.
- Environnement Canada (2007) *Moyenne climatique de la station Hemmingford four winds, Quebec, 1961-2006*. <http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/dailydata>
- Fægri, K. & J. Iversen (1989) *Textbook of Pollen Analysis*. 4th edition revised by K. Fægri, P.E. Kaland and K. Krzywinski. John Wiley and Sons, Chichester. 328 p.
- FAO (2007) *Penman-Monteith equation*. Chapter 2. <http://www.fao.org>
- Fetter, C.W. (1994) *Applied Hydrogeology*, 3rd edition, Prentice Hall, Upper Sadle River. 691 p.
- Foster, D.R., W.W. Oswald, E.K. Faison, E.D. Doughty & B.C.S. Hansen (2006) A climatic driver for abrupt mid-Holocene vegetation dynamics and the hemlock decline in New England. *Ecology*, 87: 2959-2966.

- Franzi, D., J.A. Rayburn, C.H. Yansa & P.L.K. Knuepfer (2002) *Late glacial water bodies in the Champlain and Hudson lowlands, New York*. Pages A5 1-23 In New York State Geological Association/New England Intercollegiate Geological Conference Joint Annual Meeting Guidebook, pp. A5 1-23.
- Garneau, M. (2001) Statut trophique des taxons préférentiels et des taxons fréquents mais non préférentiels des tourbières naturelles du Québec-Labrador. Pages 523-531 dans S. Payette & L. Rochefort. *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Saint-Nicolas.
- Globensky, Y. (1986) *Géologie de la région de Saint-Chrysostome et de Lachine (sud)*. Ministère de l'énergie et des ressources. Québec. 166 p.
- Hunt, R.J. (2003) Ground Water-Lake interaction modeling using the LAK3 package for MODFLOW 2000. *Groundwater*, 41: 114-118.
- Kennedy, G.W. & J.S. Price (2004) A conceptual model of volume-change controls on the hydrology of cutover peats. *Journal of Hydrology*, 302: 13-27.
- Labrecque, J. & G. Lavoie (2002) *Les plantes vasculaires menacées ou vulnérables du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Québec. 200 p.
- Larocque, M., G. Leroux, C. Madramootoo, F.J. Lapointe, S. Pellerin & J. Bonin (2006) Mise en place d'un laboratoires National sur le mont Covey Hill (Québec, Canada). *VertigO*, 7: 1-11.
- Lavoie, M. (2001) Analyse des microrestes végétaux : pollen. Pages 295-309 dans S. Payette & L. Rochefort (eds.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Saint-Nicolas.
- Lavoie, M. & P.J.H. Richard (2000). Postglacial water-level changes of a small lake in southern Québec, Canada. *The Holocene*, 10: 621-634.
- Malmer, N. (1986) Vegetational gradients in relation to environmental conditions in northwestern European mires. *Canadian Journal of Botany*, 64: 375-383.
- MESONET (2006) *Covey Hill station*. (<http://www.mesonet-montreal.ca>).
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink (2000) *Wetlands*. 3rd edition, John Wiley and Sons, New York. 920 p.
- Muller, S.D. & P.J.H. Richard (2001) Post-glacial vegetation migration in conterminous Montréal Lowlands, southern Québec. *Journal of Biogeography*, 28: 1169-1193.

- Muller, S.D., P.J.H. Richard, J. Guiot, J.-L. de Beaulieu & D. Fortin (2003) Postglacial climate in the St. Lawrence lowlands, southern Québec: pollen and lake-level evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 51-72.
- Nastev, M., C. Lamontagne, T. Tremblay, D. Lavoie, F. Hardy, L. Lamothe, A. Croteau, D. Blanchette, M.-A. Lavigne, N. Roy, D. Paradis, N. Benoît, R. Lefebvre, D. Marcotte, R. Gaudin. & A. Rouleau (2004) *Hydrogeological overview of the transboundary aquifers in the Châteauguay River Basin, Canada-United States*. 5th Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference, Québec.
- Occhietti, S. & P.J.H. Richard (2003) Effet réservoir sur les âges 14C de la mer de Champlain à la transition Pléistocène-Holocène : révision de la chronologie de la déglaciation au Québec méridional. *Géographie physique et Quaternaire*, 57 : 115-138.
- Owen, C. (1994) Water budget and flow patterns in an urban wetland. *Journal of Hydrology*, 169: 171-187.
- Payette S. & L. Rochefort (2001) *Écologie des tourbières du Québec – Labrador*, Les Presses de l'Université Laval, Saint-Nicolas. 621 p.
- Pellerin, S. & C. Lavoie (2003) Reconstructing the recent dynamics of mires using a multi-technique approach. *Journal of Ecology*, 97, 1008-1021.
- Ravindra, K. & N. Dayanand (1999) Applied multivariate statistics with SAS software, second edition. *Computers & Mathematics with Applications*, 38: 255 p.
- Rosa, E. & M. Larocque (sous presse) Investigating peat hydrological properties using field and laboratory methods: Application to the Lanoraie peatland complex (Southern Quebec, Canada). *Hydrological Processes*.
- Rutherford, A., G. Leroux, C. Senecal, A. Boutin & C. Madramootoo (2004) *Using quantitative methods to gather small stream flow data for habitat characterization*. Rapport interne. Brace Center for Water Resources, McDonald College, Université McGill. Montréal. 20 p.
- Schlotzhauer, S.M. & J.S Price (1999) Soil water flow dynamics in a managed cutover peat field. *Water Resources Research*, 35: 1675-3684.
- Shantz, M.A. & J.S. Price (2006) Hydrological changes following restoration of Bois-des-Bel peatland, Quebec 1991-2002. *Journal of Hydrology*, 331: 543-553.
- Sjörs, H. (1950) On the relation between vegetation and electrolytes in north Swedish mire waters. *Oikos*, 2: 241-258.

- Surridge, B.W.J., A.J. Baird & A.L. Heatwaite (2005) Evaluating the quality of hydraulic conductivity estimates from piezometer slug tests in peat. *Hydrological Processes*, 19: 1227-1244.
- Ter Braak, C.J.F. & P. Smilauer (2002) *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Microcomputer Power, Ithaca, New York 500 pp.
- Tiemeyer, B., B. Lennartz & K. Vegelin (2005) Hydrological modelling of a re-wetted peatland on the basis of a limited dataset for water management. *Journal of Hydrology*, 325: 1-4.
- USDA & NRCS (2007) *The PLANTS Database* (<http://plants.usda.gov>, 2 May 2007). National Plant Data Center, Baton Rouge, LA 70874-4490 USA.
- Van Seters, T.E & T.E. Price (2001) The impact of peat harvesting and natural regeneration on the water balance of an abandoned cutover bog, Quebec. *Hydrological Processes*, 15: 223-248.
- Vitt, D.H., S.E. Bayley & T.-L. Jin (1995) Seasonal variation in water chemistry over bog-rich fen gradient in Continental Western Canada. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science*, 52: 587-606.

ANNEXES

Annexe 1. Liste des taxons inventoriés dans la tourbière de la colline de Covey. Leur statut trophique¹ de même que leur préférence pour les tourbières² sont indiqués.

Taxons	Statut trophique			Préférence		
	MI ³	MP	O	P ⁴	FNP	O
Lichens						
<i>Cladina rangiferina</i>			•		•	
<i>Cladina stellaris</i>			•		•	
Mousses						
<i>Aulacomnium palustre</i>			•	•		
<i>Dicranum undulatum</i>			•	•		
<i>Pleurozium schreberi</i>			•		•	
<i>Pohlia nutans</i>			•		•	
<i>Polytrichum commune</i>			•		•	
<i>Polytrichum strictum</i>			•	•		
Sphaignes						
<i>Sphagnum angustifolium</i>			•	•		
<i>Sphagnum capillifolium</i>			•	•		
<i>Sphagnum compactum</i>		•		•		
<i>Sphagnum fallax</i>		•		•		
<i>Sphagnum magellanicum</i>			•	•		
<i>Sphagnum rubellum</i>			•	•		
Ptéridophytes						
<i>Osmunda cinnamomea</i>	○ ⁵				•	
Gymnospermes						
<i>Larix laricina</i>			•		•	
<i>Picea mariana</i>			•		•	
<i>Pinus resinosa</i>						•
<i>Pinus strobus</i>			•			•
Angiospermes monocotyles						
<i>Calla palustris</i>		○			•	
<i>Carex aquatilis</i>		•		•		
<i>Carex brunnescens</i>			•		•	
<i>Carex canescens</i>		•			•	
<i>Carex crinita</i>						
<i>Carex magellanica</i> ssp. <i>irrigua</i>		•		•		
<i>Carex oligosperma</i>		○		•		
<i>Carex trisperma</i>			•	•		
<i>Eriophorum vaginatum</i> var. <i>spissum</i>			•	•		
<i>Iris versicolor</i>	○				•	
<i>Leersia oryzoides</i>		○			•	
<i>Maianthemum trifolium</i>		•		•		
<i>Scirpus cyperinus</i>		○			•	

Annexe 1. Suite

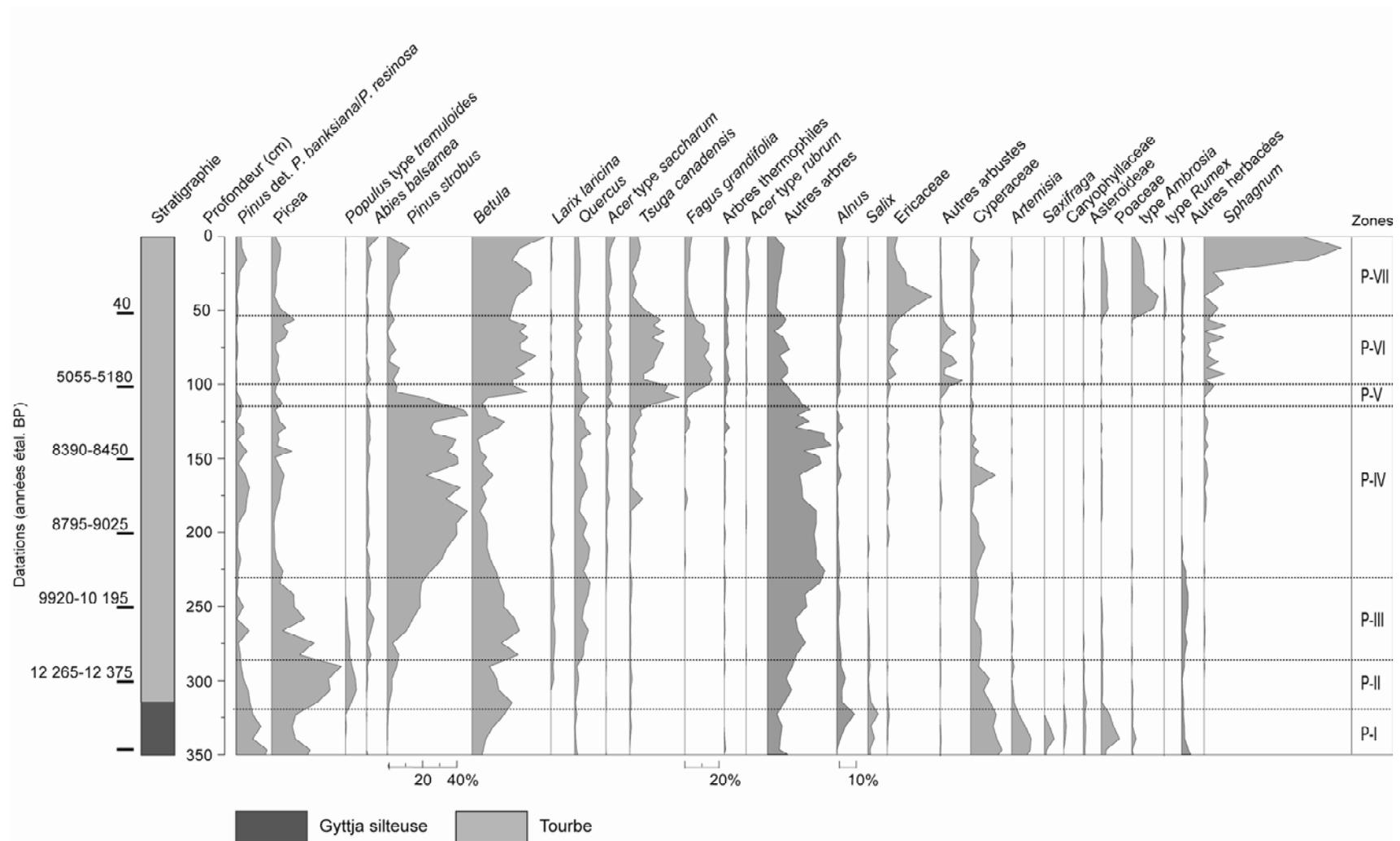
Taxons	Statut trophique			Préférence		
	MI	MP	O	P	FNP	O
Angiospermes dycotyles						
<i>Acer rubrum</i>		●			●	
<i>Alnus incana</i> ssp. <i>rugosa</i>		●			●	
<i>Amelanchier stolonifera</i> *						
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>glaucophylla</i>			●	●		
<i>Betula alleghaniensis</i>	○					●
<i>Betula populifolia</i>		●			●	
<i>Chamaedaphne calyculata</i>			●	●		
<i>Cornus canadensis</i>		○				●
<i>Drosera rotundifolia</i>			●	●		
<i>Gaultheria procumbens</i>			●			●
<i>Hypericum ellipticum</i>	○					●
<i>Ilex mucronata</i>		●		●		
<i>Ilex verticillata</i>	○			●		
<i>Kalmia angustifolia</i>			●		●	
<i>Kalmia polifolia</i>			●	●		
<i>Photinia melanocarpa</i>		●		●		
<i>Rhododendron canadense</i> *			●	●		
<i>Rhododendron groenlandicum</i>			●		●	
<i>Rubus hispidus</i>		○				●
<i>Salix pyrifolia</i>			●		●	
<i>Sarracenia purpurea</i>			●	●		
<i>Spiraea alba</i> var. <i>latifolia</i>	○				●	
<i>Trientalis borealis</i>	○					●
<i>Vaccinium angustifolium</i>			●		●	
<i>Vaccinium myrtilloides</i>			●		●	
<i>Vaccinium oxycoccos</i>			●	●		

1. Selon Garneau (2001) les taxons ombrotrophes sont ceux qui croissent dans les tourbières ombrotrophes. Ils peuvent généralement transgresser la limite des eaux minéralisées. Inversement, les taxons minérotrophes sont confinés aux tourbières minérotrophes. Un enrichissement local dans une tourbière ombrotrophe peut néanmoins permettre l'installation des taxons minérotrophes.
 2. Les taxons préférentiels des tourbières sont essentiellement confinés aux tourbières et croissent rarement ailleurs.
 3. MI = Minérotrophe intermédiaire; MP = Minérotrophe pauvre; O = Ombrotrophe.
 4. P = Préférentiel; FNP = Fréquent mais non préférentiel; O = Occasionnel.
 5. ○ = statut trophique incertain
- * Espèce observée à l'extérieur des stations d'échantillonnage.

Annexe 2. Liste des taxons inventoriés sur le sol minéral à proximité de la tourbière de la colline de Covey.

Taxons	Taxons
Lichens	Angiospermes monocotyles (suite)
<i>Cladina mitis</i>	<i>Carex brunnescens</i>
<i>Cladina rangiferina</i>	<i>Carex crinita</i>
Mousses et Hépathiques	<i>Maianthemum canadense</i>
<i>Barbilophozia attenuata</i>	<i>Maianthemum trifolium</i>
<i>Dicranum montanum</i>	Angiospermes dycotyles
<i>Dicranum polysetum</i>	<i>Acer rubrum</i>
<i>Polytrichum commune</i>	<i>Alnus incana</i> ssp. <i>rugosa</i>
<i>Polytrichum strictum</i>	<i>Aralia nudicaulis</i>
<i>Pylaisiella polyantha</i>	<i>Betula alleghaniensis</i>
Sphaignes	<i>Betula populifolia</i>
<i>Sphagnum angustifolium</i>	<i>Chamaedaphne calyculata</i>
<i>Sphagnum fallax</i>	<i>Coptis trifolia</i>
<i>Sphagnum magellanicum</i>	<i>Cornus canadensis</i>
Ptéridophytes	<i>Corylus americana</i>
<i>Lycopodium clavatum</i>	<i>Gaultheria procumbens</i>
<i>Lycopodium obscurum</i>	<i>Ilex mucronata</i>
<i>Osmunda cinnamomea</i>	<i>Ilex verticillata</i>
<i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Kalmia angustifolia</i>
Gymnospermes	<i>Photinia melanocarpa</i>
<i>Abies balsamea</i>	<i>Rubus idaeus</i>
<i>Pinus resinosa</i>	<i>Rubus hispidus</i>
<i>Pinus strobus</i>	<i>Spiraea alba</i> var. <i>latifolia</i>
Angiospermes monocotyles	<i>Trientalis borealis</i>
<i>Carex aquatilis</i>	<i>Vaccinium angustifolium</i>
<i>Carex trisperma</i>	<i>Vaccinium myrtilloides</i>

Annexe 3. Diagramme sporopollinique simplifié des pourcentages, Tourbière de la colline de Covey.



Analyses : Marion Bottollier-Curtet et Martin Lavoie