

# Espèces végétales indicatrices des échanges d'eau entre tourbière et aquifère

Julie L. Munger, Stéphanie Pellerin, Marie Larocque et Miryane Ferlatte

## Résumé

Les tourbières jouent plusieurs rôles dans l'hydrologie de surface. Les liens hydrologiques entre les tourbières et les eaux souterraines (aquifères) demeurent toutefois peu connus, ce qui rend les zones d'interaction difficiles à identifier. Ce projet avait pour but d'identifier des espèces et des associations d'espèces floristiques indicatrices de zones d'échanges tourbière-aquifère. Ainsi, des suivis piézométriques et des inventaires floristiques ont été réalisés dans 9 tourbières situées dans le Centre-du-Québec et en Abitibi-Témiscamingue. Les échanges tourbière-aquifère ont été identifiés à l'aide de gradients de charges hydrauliques et les espèces indicatrices à l'aide de l'indice de valeur indicatrice INDVAL. Cette méthode a entre autres permis d'identifier 2 espèces (*Carex limosa* et *Sphagnum russowii*) et 4 associations d'espèces indicatrices d'un apport en eau souterraine à la tourbière. Les espèces indicatrices pourraient devenir un outil utile, rapide et peu coûteux pour prédire les zones d'interactions tourbière-aquifère et ainsi faciliter la tâche des gestionnaires du territoire.

MOTS CLÉS: Abitibi-Témiscamingue, Centre-du-Québec, eaux souterraines, plantes, tourbières

## Abstract

Peatlands play numerous roles in surface hydrology. However, the hydrological links between peatlands and groundwater (aquifers) remain poorly understood, making it difficult to identify areas of interaction. This project aimed to identify plant species and plant species combinations that could serve as indicators of water exchange between peatlands and aquifers. Piezometric and floristic inventories were conducted in 9 peatlands located in the Centre-du-Québec and Abitibi-Témiscamingue regions (Québec). Water exchange between peatlands and aquifers was identified using hydraulic loads, and indicator species were identified using the IndVal index. The study identified 2 indicator species (*Carex limosa* and *Sphagnum russowii*) and 4 species combinations that could be used as indicators of a contribution of groundwater to a given peatland. These indicator species and species groups potentially offer a rapid and inexpensive tool for predicting areas of interactions between peatlands and aquifers.

KEYWORDS: Abitibi-Témiscamingue, Centre-du-Québec, peatlands, plants, underground water

## Introduction

Les tourbières sont des milieux humides caractérisés par un sol mal drainé où la matière organique (tourbe) s'accumule plus qu'elle ne se décompose. L'épaisseur du dépôt organique nécessaire pour qualifier un site de tourbière est variable selon les administrations mais en général, la présence d'un dépôt de tourbe de 30 à 40 cm est nécessaire (Wells et Zoltai, 1985; Pakarinen, 1995). Au Québec, les tourbières couvrent environ 161 000 km<sup>2</sup>, ce qui représente approximativement 85% de la superficie de tous les milieux humides de la province (L. Rochefort et collab., non publié). Elles se concentrent majoritairement en zone boréale où les conditions climatiques et environnementales sont les plus favorables à leur développement (Payette, 2001). Bien que la vaste majorité des tourbières du Québec soient encore à l'état naturel, celles qui sont situées plus au sud, notamment dans les basses-terres du Saint-Laurent, font face à de nombreuses pressions liées à l'étalement urbain et au développement des industries horticoles, agricoles et forestières (Poulin et collab., 2004). Dans certaines régions, les superficies de tourbières perturbées peuvent atteindre plus de 60% (Pellerin, 2003).

Les tourbières remplissent plusieurs fonctions écologiques dans l'environnement, notamment en ce qui a trait

à la préservation de la biodiversité régionale et à la régulation du climat (Gorham, 1991; Charman 2002). Elles jouent également plusieurs rôles dans l'hydrologie régionale. Par exemple, elles constituent des réserves d'eau douce significatives, assurent une certaine régularisation des débits ou encore permettent d'améliorer la qualité de l'eau (Joosten et Clarke 2002; Moore, 2002; Price et collab., 2005). Le rôle des tourbières et des milieux humides en général dans le contrôle des débits des rivières est assez bien connu (Price et collab., 2005). Toutefois, les liens hydrologiques entre les tourbières et les aquifères (c'est-à-dire toute formation géologique suffisamment poreuse pour contenir de l'eau et suffisamment perméable pour en permettre

Julie L. Munger est étudiante à la maîtrise au Département de Sciences biologiques de l'Université de Montréal où elle est dirigée par Stéphanie Pellerin, professeure associée et biogéographe.

*munger.jl@gmail.com*  
*stephanie.pellerin.1@umontreal.ca*

Miryane Ferlatte est étudiante à la maîtrise au Département de Sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Université du Québec à Montréal où elle est dirigée par Marie Larocque, professeure et hydrogéologue.

*miryanef@gmail.com*  
*larocque.marie@uqam.ca*

l'écoulement) commencent tout juste à être étudiés. Des études récentes ont en effet montré que les tourbières peuvent être connectées aux aquifères, malgré la faible conductivité hydraulique de la tourbe (p. ex. : Devito et collab., 1997; Bleuten et collab., 2006; Waddington et Quinton, 2009).

Les échanges entre tourbières et aquifères peuvent s'effectuer par des écoulements latéraux en bordure des dépôts organiques ou par des flux verticaux à la base de la tourbière (Bleuten et collab., 2006). Ces flux sont fortement influencés par les conditions climatiques et peuvent s'inverser au cours d'une année (Devito et collab., 1997). Par exemple, dans une tourbière alimentée latéralement par un aquifère superficiel, une période de sécheresse peut entraîner la baisse du niveau de la nappe dans l'aquifère et ainsi engendrer un écoulement de la tourbière vers l'aquifère. Inversement, la perte d'eau causée par l'évapotranspiration en période sèche peut stimuler une remontée verticale d'eau souterraine vers la surface de la tourbière (Devito et collab., 1997). Considérant l'importante superficie qu'occupent les tourbières au Québec, il semble essentiel d'approfondir notre compréhension des échanges tourbière-aquifère et de déterminer des indicateurs de ces échanges. Ces connaissances permettront d'élaborer une gestion plus éclairée des milieux humides et des ressources en eau.

La notion d'espèce indicatrice est utilisée depuis plus de 60 ans en écologie des milieux humides (p. ex. : Sjors, 1950; Goslee et collab., 1997). Par exemple, les tourbières ont longtemps été classées selon un gradient d'ombrotrophie-minérotrophie, en fonction de la présence ou non d'espèces indicatrices de conditions minérotrophes (Wheeler et Proctor, 2000; Campbell et Rochefort, 2001). Ainsi, les tourbières riches en éléments nutritifs, aussi appelées tourbières minérotrophes ou fens, sont caractérisées par l'abondance d'espèces minérotrophes (par exemple, pour le Québec, *Campyllum stellatum*, *Sphagnum warnstorffii*, *Eriophorum angustifolium*, *Carex exilis*), tandis que les tourbières pauvres ou ombrotrophes (aussi appelées bogs) se caractérisent par l'absence de ces espèces. Cette classification binomiale, bien que circulaire et beaucoup plus complexe en réalité, a été en partie confirmée par plusieurs études mettant en relation la composition floristique des sites et les conditions chimiques

locales de l'eau ou de la tourbe de surface (p. ex. : Vitt et Chee 1990; Marini et collab., 2008). Cette approche traditionnelle ne permet toutefois pas de faire des liens directs entre la présence d'espèces végétales et l'apport en eau souterraine, ces liens étant indirects, et par l'entremise de la chimie de l'eau ou de la tourbe. Dans ce contexte, l'objectif de ce projet était de tester la possibilité d'identifier des espèces floristiques indicatrices des échanges tourbière-aquifère en utilisant seulement des variables hydrogéologiques.

### Secteurs d'étude

Les tourbières échantillonnées se situent dans les bassins versants des rivières Bécancour (Centre-du-Québec) et Harricana (Abitibi-Témiscamingue) (figure 1). Ces 2 bassins versants ont été sélectionnés afin de couvrir une diversité de conditions topo-géologiques et bioclimatiques et ainsi s'assurer que les espèces indicatrices identifiées pourraient être utilisées dans la plupart des tourbières du Québec méridional. Toutefois, malgré ces différences contextuelles, il est important de noter que les tourbières des 2 régions sont situées dans la grande zone des tourbières ombrotrophes semi-forestières (Payette, 2001).

#### Zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour (Centre-du-Québec)

La zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour constitue la majeure partie du bassin versant de la rivière Bécancour et est située dans le domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul (Grandtner, 1966; Saucier et collab., 2003). Le climat y est de type continental tempéré sub-humide avec une température annuelle moyenne de 4,7°C et des précipitations annuelles moyennes de 1085 mm, dont 42% tombent sous forme de neige (Environnement Canada, 2013). La saison de croissance varie de 191 à 199 jours (Atlas agroclimatique du Québec, 2012).

Les tourbières présentes dans ce bassin versant (ou plus précisément de la zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour) couvrent une superficie de 175 km<sup>2</sup>, soit environ 6% du secteur (Avard et collab., 2013). Elles se trouvent principalement à la jonction (entre les Appalaches et le

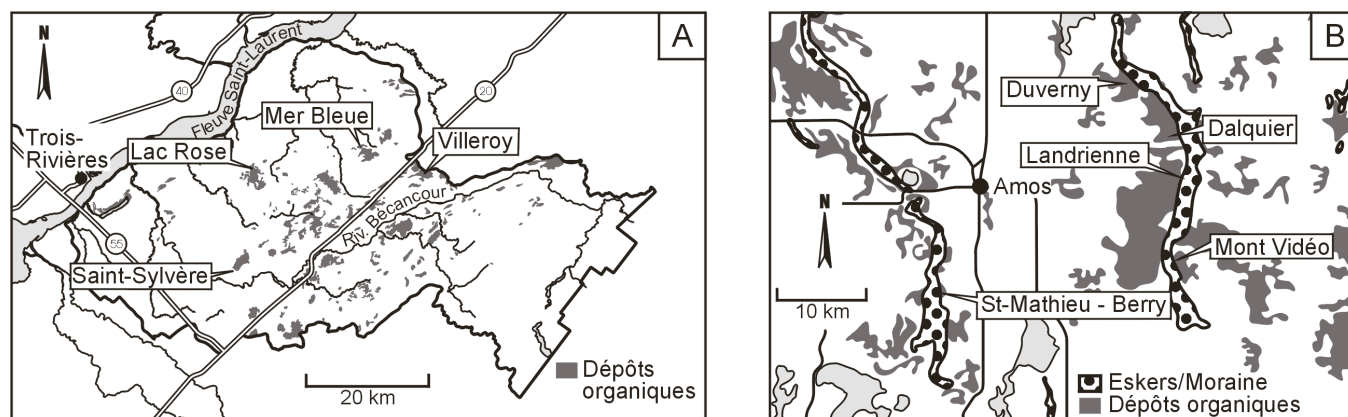


Figure 1. Localisation des secteurs d'étude et des tourbières échantillonnées dans la zone de gestion intégrée des ressources en eau Bécancour (Centre-du-Québec) (A) et dans le bassin versant de la rivière Harricana, région d'Amos (Abitibi-Témiscamingue) (B).

plateau des basses-terres du Saint-Laurent, à une altitude de 80 à 130 m. Elles reposent essentiellement sur des dépôts éoliens ou sur du till remanié, mais nous les trouvons également sur des dépôts littoraux, du till mince sur roc ou des argiles marines (Avard et collab., 2013). Elles se sont mises en place à partir du début de l'Holocène, soit peu après la dernière grande glaciation et le retrait de la mer de Champlain (Ferlatte, 2013; Lavoie et Colpron-Tremblay, 2013). Les tourbières du secteur sont soumises à de fortes pressions anthropiques. En effet, une superficie de tourbières équivalant à près de 54 km<sup>2</sup> aurait disparu depuis 1966 alors que 30 % des superficies restantes seraient affectées par diverses activités humaines, notamment le drainage forestier (Avard et collab., 2013).

### **Bassin versant de la rivière Harricana (Abitibi-Témiscamingue)**

Le bassin versant de la rivière Harricana est situé dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc (Grandtner, 1966; Saucier et collab., 2003). Dans le secteur de la ville d'Amos, où a eu lieu la présente étude, le climat y est de type continental tempéré froid et relativement humide avec une température annuelle moyenne de 1,5 °C et des précipitations moyennes annuelles de 918 mm, dont 54 % tombent sous forme de neige (Environnement Canada, 2013). La saison de croissance varie de 175 à 182 jours (Atlas agroclimatique du Québec, 2012).

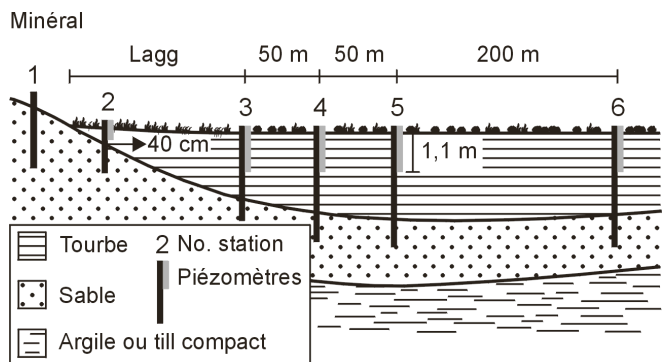
Les milieux humides situés dans la portion québécoise du bassin versant de la rivière Harricana couvrent une superficie de 12 799 km<sup>2</sup>, soit environ 45 % de la superficie du bassin versant (S. Pellerin, données non publiées). Les tourbières sont connectées de manière hydraulique aux eskers et à la moraine Harricana (Riverin, 2006; Winter et collab., 2008; Rossi et collab., 2012; Smerdon et collab., 2012). Elles se sont mises en place entre 8 600 et 4 000 ans avant le présent (Ferlatte, 2013), soit après le drainage du lac proglaciaire Barlow-Ojibway. Cet événement a laissé de vastes étendues d'argiles glaciolacustres imperméables qui ont favorisé la formation des tourbières. Contrairement aux tourbières de la région de Bécancour, celles du bassin versant de la rivière Harricana sont peu touchées par les perturbations anthropiques. Néanmoins, l'exploitation des eskers comme source d'eau potable souterraine et d'agrégats (roches, gravier, sable) pourrait influencer sur les niveaux d'eau dans l'aquifère superficiel et ainsi perturber l'hydrologie des tourbières (Rossi et collab., 2012; Smerdon et collab., 2012).

## **Méthodes**

### **Instrumentation et mesures des charges hydrauliques**

Quatre tourbières ont été sélectionnées dans le Centre-du-Québec (Saint-Sylvere, Mer Bleue, Lac Rose et Villeroy) et 5 en Abitibi-Témiscamingue (Duverny, Dalquier, Landrienne, Mont Vidéo et Saint-Mathieu-de-Berry) (figure 1). Les tourbières choisies devaient être exemptes de perturbations anthropiques visibles et faciles d'accès.

Un ou 2 transects d'échantillonnage allant de la bordure vers le centre ont été établis dans chaque tourbière, pour un total de 6 transects par région (figure 2). Six stations d'analyse ont été positionnées sur chaque transect à l'exception d'un des transects de la tourbière de Villeroy (5 stations), pour un total de 36 stations en Abitibi et 35 à Bécancour. Plus spécifiquement, la station n° 1 a été positionnée dans les dépôts minéraux à environ 10 m du début des dépôts organiques, alors que la station n° 2 a été installée dès qu'un dépôt organique de 40 cm était mesuré (figure 2). La station n° 3 a été positionnée à la fin de l'écotone minérotrophe de bordure (zone de transition entre le milieu terrestre et la tourbière ombrotrophe nommée lagg), lequel était identifié par un changement significatif dans la végétation (Campbell et Rochefort, 2001). Les stations nos 4, 5 et 6 ont été espacées respectivement de 50, 50 et 200 m (figure 2). En somme, 12 stations étaient situées dans les dépôts minéraux adjacents aux tourbières et 59 dans les tourbières (figure 2).



**Figure 2. Schéma du dispositif d'échantillonnage. L'aquifère est situé dans les sables.**

Chaque station d'inventaire a été instrumentée de 1 ou de 2 piézomètres (les stations doubles concernent les dépôts organiques seulement) (figure 2). Un piézomètre est un dispositif permettant de mesurer la charge hydraulique (la pression de l'eau) à un endroit donné dans une formation poreuse saturée. Dans ce projet, les piézomètres étaient des tubes de PVC de 2,54 cm de diamètre bouchés à une extrémité et dont les 30 cm à partir de la base étaient percés de trous laissant entrer l'eau et permettant la mesure d'une charge hydraulique. Pour les stations comportant 2 piézomètres, le premier était situé dans les dépôts organiques (jusqu'à 110 cm de profondeur) et a permis de mesurer la charge hydraulique dans la tourbe. Le second était situé quelques centimètres sous l'interface tourbe-dépôts minéraux de manière à capter l'eau souterraine et mesurer la charge hydraulique sous-jacente (figure 2).

Lors de la mise en place des piézomètres, la nature du substrat inorganique a été caractérisée (sable, argile, till) et l'épaisseur de tourbe mesurée. L'élévation et l'emplacement de chacun des piézomètres ont été déterminés grâce à un GPS différentiel (Trimble R8 GNSS, précision verticale d'environ 1 cm en mode statique selon USGS, 2013). Ces données ont

servi de référence pour les mesures de charges hydrauliques. Entre mai et novembre 2011, les charges hydrauliques (unités en m) ont été mesurées manuellement à l'aide d'une sonde piézométrique (précision sur la mesure de 0,5 cm) tous les mois pour chacun des piézomètres.

### Inventaires floristiques

Au cours de l'été 2011, des inventaires floristiques ont été réalisés à proximité de chacune des stations piézométriques. Les parcelles ont été positionnées de façon à éviter la zone de perturbation liée aux allées et venues nécessaires pour les relevés hydrogéologiques. Les inventaires ont été réalisés en utilisant la méthode du relevé ponctuel dans des parcelles de 25 m<sup>2</sup> (5 m × 5 m). Les parcelles ont été divisées en 6 lignes équidistantes (1 m entre chaque ligne); toutes les espèces touchant la projection verticale d'une tige placée à chaque mètre le long de ces lignes ont ensuite été recensées (36 points d'inventaire). Les pourcentages d'apparition des espèces (nombre de points/36 × 100) ont été ensuite répartis en 6 classes de recouvrement: 1) < 5%; 2) de 5 à 25%; 3) de 26 à 50%; 4) de 51 à 75%; 5) de 76 à 95%; et 6) de 96 à 100%.

### Quantification des gradients hydrauliques

À partir des données de charges hydrauliques, des gradients hydrauliques latéraux et verticaux ont été calculés à l'aide des équations suivantes:

$$i_l = (h_{(1)} - h_{(2)}) / L_{1-2} \quad (\text{éq. 1})$$

$$i_v = (h_{(T)} - h_{(M)}) / L_{T-M} \quad (\text{éq. 2})$$

où

$i_l$ : gradient hydraulique latéral entre les stations n<sup>os</sup> 1 et 2 (m/m)

$i_v$ : gradient hydraulique vertical entre les stations j et j+1

$h_{(1)}$  et  $h_{(2)}$ : charges hydrauliques dans les piézomètres situés dans l'aquifère voisin (station n<sup>o</sup> 1) et dans la tourbe (station n<sup>o</sup> 2) (m)

$h_{(T)}$  et  $h_{(S)}$ : charges hydrauliques dans les piézomètres situés dans la tourbe (T) et dans les dépôts minéraux (M) aux stations n<sup>os</sup> 2 à 6 (m)

$L_{1-2}$ : distance horizontale séparant les piézomètres des stations n<sup>os</sup> 1 et 2 (m)

$L_{T-M}$ : distance verticale séparant la base des piézomètres situés dans la tourbe et dans les dépôts minéraux à chacune des stations n<sup>os</sup> 2 à 6 (m)

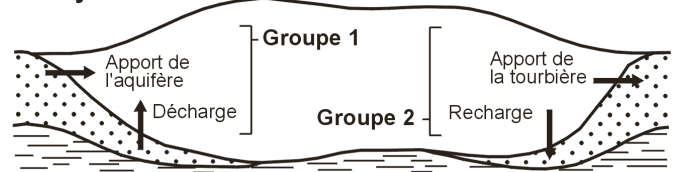
Les gradients hydrauliques permettent d'identifier le sens de l'écoulement (p. ex.: un gradient hydraulique horizontal positif indique un flux d'eau souterraine horizontal de l'aquifère superficiel vers les dépôts organiques, et vice-versa) à condition toutefois que le milieu soit suffisamment perméable pour qu'un écoulement soit possible d'un point de mesure à l'autre. Pour confirmer la présence ou non d'échanges, l'analyse de la chimie de l'eau (p. ex.: pH, conductivité électrique, Ca, Mg, Sr, Ba, Fe, Mn, etc.) peut être

nécessaire. Un tel suivi a été fait dans le cadre de ce projet et les données recueillies ont servi à identifier des indicateurs chimiques des échanges. Les résultats ne sont pas présentés ici, mais sont disponibles dans Ferlatte (2013).

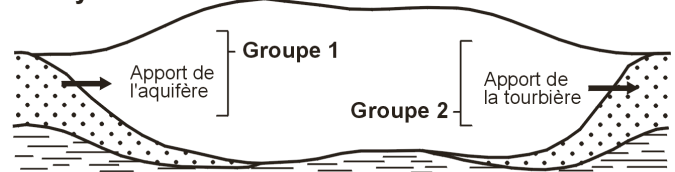
En raison de l'erreur de mesure sur l'altitude relative des stations (+/- 1 cm) et de l'erreur de mesure sur les charges hydrauliques (+/- 0,5 cm), la présence d'un gradient hydraulique significatif a été identifiée seulement pour les différences de charges hydrauliques excédant 2 cm. Les gradients hydrauliques ont été quantifiés pour tous les mois de mesure (de mai à novembre) et la présence d'échanges a été notée pour une station donnée lorsqu'au moins un échange (apport de l'aquifère) a été identifié au moins une fois pendant la saison de mesure. Ce choix est justifié par le fait qu'un apport même unique au cours de l'année pourrait avoir un impact sur les conditions du milieu et donc sur la végétation.

La quantification des échanges a permis d'identifier 2 types d'écoulement dans les 59 stations positionnées dans les dépôts tourbeux: des flux latéraux peu profonds et des échanges verticaux (figure 3). Les écoulements latéraux se faisaient soit de la bordure vers le centre de la tourbière (apport de l'aquifère), soit du centre de la tourbière vers la bordure (apport de la tourbière). Les échanges se faisant verticalement de la surface vers le minéral ont été classifiés comme zone de recharge de l'aquifère. Inversement, une station dont la direction d'écoulement se faisait du minéral vers la surface de la tourbière a été classifiée comme zone de décharge de l'aquifère.

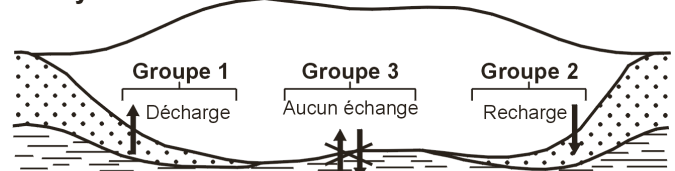
#### Analyse 1



#### Analyse 2



#### Analyse 3



☐ Sable      ☐ Argile ou till compact

Figure 3. Représentation des groupes d'échange tourbière-aquifère utilisés pour identifier les espèces ou associations d'espèces indicatrices.

### Identification des espèces indicatrices

Les espèces indicatrices des différents types d'échanges ont été identifiées à l'aide de l'indice de valeur indicatrice *INDVAL* (Dufrêne et Legendre, 1997). Cet indice se calcule sur des groupes préétablis (ici les types d'échanges tourbe-aquifère identifiés par les gradients hydrauliques, figure 3) et se base sur le postulat qu'une espèce indicatrice est spécifique (c'est-à-dire trouvée majoritairement dans un seul groupe) et fidèle (c'est-à-dire présente dans la plupart des sites de ce groupe). La spécificité est maximale (= 1) quand l'espèce n'occupe que les stations d'un groupe donné et la fidélité est maximale (= 1) lorsque l'espèce est présente dans toutes les stations d'un groupe. Ainsi, la valeur indicatrice d'une espèce sera maximale (= 1) lorsque la spécificité et la fidélité sont maximales; elle sera minimale (= 0) lorsque la spécificité et la fidélité sont minimales (= 0). La valeur médiane des classes de pourcentage de recouvrement pour chaque espèce dans chaque parcelle d'échantillonnage a été utilisée pour faire le calcul des *INDVAL*. Des associations d'espèces indicatrices (présence simultanée de 2 ou 3 espèces) ont aussi été identifiées (De Cáceres et collab., 2012). La significativité statistique des *INDVAL* calculée pour chaque espèce ou association d'espèces a été évaluée *a posteriori* au moyen d'un test par permutation (9 999 permutations). Les analyses ont été réalisées à l'aide du progiciel R.

Trois analyses *INDVAL* distinctes ont été réalisées (figure 3). La première portait sur les apports de l'aquifère à la tourbière, peu importe le type d'écoulement (ou d'échange). Elle prenait en compte 2 groupes: 1) apport provenant de l'aquifère (32 stations) et 2) aucun apport de l'aquifère (27 stations). La seconde analyse portait sur les écoulements latéraux et prenait aussi en compte 2 groupes: 1) apport latéral provenant de l'aquifère (29 stations) et 2) apport latéral provenant de la tourbière (30 stations). Finalement, la troisième analyse concernait les écoulements verticaux et prenait en compte 3 groupes: 1) décharge de l'aquifère (10 stations), 2) recharge de l'aquifère (24 stations) et 3) aucun échange (25 stations).

Ce type d'analyse peut parfois engendrer de nombreux indicateurs significatifs ( $p < 0,05$ ). Pour pallier ce phénomène, seules les espèces et associations d'espèces indicatrices dont la valeur de spécificité était supérieure à 0,6 et la valeur de fidélité supérieure à 0,25 ont été conservées, comme proposé par De Cáceres et collab. (2012). De plus, seuls les indicateurs maximisant le recouvrement spatial global dans le groupe cible (pourcentage de stations où au moins 1 des espèces ou des combinaisons sont présentes) ont été conservés, jusqu'à un maximum de 4 indicateurs (De Cáceres et collab., 2012). Cela signifie que si 2 espèces indicatrices étaient identifiées, mais que la présence de la première était nichée dans la présence de la seconde, seule la seconde fut conservée puisque la première ne permettait pas d'accroître le recouvrement global (figure 4).

### Espèces

	A	B	C	D	E	F	G	I	J
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Figure 4. Représentation graphique de la technique utilisée pour sélectionner les espèces indicatrices parmi tous les indicateurs statistiquement significatifs ( $p < 0,05$ ). Dans ce cas, les espèces A, B et C seraient sélectionnées, car ce sont celles qui sont présentes dans le plus de parcelles d'échantillonnage et qui permettent de maximiser le recouvrement global (100 % des parcelles d'échantillonnage). Les espèces D, F, G et I sont nichées dans l'espèce A, c'est-à-dire qu'elles sont présentes dans les mêmes parcelles d'échantillonnage que l'espèce A, mais qu'elles sont moins fréquentes que cette dernière. L'espèce E est nichée dans les espèces B et C et l'espèce J est nichée dans l'espèce C. L'espèce J permettrait d'avoir un recouvrement de 100 % en combinaison de l'espèce A et B, mais comme elle est moins fréquente que l'espèce C, cette dernière est privilégiée.

## Résultats

### Espèces rencontrées

Quatre-vingt-quatorze espèces (64 vasculaires et 30 invasculaires) ont été identifiées dans les 59 parcelles d'inventaire installées dans les tourbières. Quarante-cinq espèces (29 vasculaires et 16 invasculaires) étaient présentes dans les 2 régions. Parmi celles-ci, 4 étaient particulièrement fréquentes (80 à 100 % des placettes) et abondantes (recouvrement de 30 à 60 % dans les parcelles), soit *Chamaedaphne calyculata*, *Vaccinium oxycoccos*, *Sphagnum angustifolium* et *S. magellanicum*. Les espèces *Kalmia angustifolia* et *K. polifolia* étaient aussi abondantes dans les 2 régions (présentes dans plus de 80 % des parcelles), mais *K. angustifolia* était plus commun à Bécancour tandis que *K. polifolia* l'était en Abitibi. Certaines espèces étaient aussi plus abondantes et communes

dans une région en particulier. Par exemple, *Ilex mucronata*, *Eriophorum angustifolium* et la mousse *Polytrichum strictum* étaient surtout associés aux tourbières du Centre-du-Québec tandis que *Drosera rotundifolia*, *Carex limosa*, *Mylia anomala*, *Cladopodiella fluitans*, *Scheuchzeria palustris*, *Sphagnum russowii* et *Rhynchospora alba* étaient surtout associés aux tourbières de l'Abitibi-Témiscamingue. Finalement, 28 espèces (22 vasculaires et 6 invasives) étaient présentes uniquement dans le Centre-du-Québec et 21 dans le secteur Abitibi-Témiscamingue (13 vasculaires et 8 invasives). La plupart de ces espèces étaient relativement rares sauf *Acer rubrum*, *Aronia melanocarpa* et *Rhododendron canadense* dans le secteur Centre-du-Québec et *Gaultheria hispidula* en Abitibi-Témiscamingue.

**Espèces indicatrices d'un apport en eau de l'aquifère à la tourbière**

Parmi les 156 indicateurs valides ( $p < 0,05$ , fidélité  $> 0,6$  et spécificité  $> 0,25$ ) d'un apport en eau de l'aquifère à la tourbière (latéral ou vertical), 2 espèces ont été conservées, soit *Carex limosa* et *Sphagnum russowii* ainsi que le duo *Andromeda polifolia* var. *latifolia* – *Carex oligosperma* (tableau 1). Au moins 1 de ces 3 indicateurs était présent dans 81 % des parcelles avec apport de l'aquifère. Toutefois, la valeur indicatrice de *C. limosa* était surtout valide pour le secteur de l'Abitibi, l'espèce étant pratiquement absente des parcelles inventoriées du secteur de Bécancour.

**Espèces indicatrices de l'absence d'un apport en eau de l'aquifère à la tourbière**

Parmi les 138 indicateurs valides de l'absence d'apport en eau de l'aquifère, 3 associations d'espèces ont été conservées. Il s'agit des duos *Vaccinium oxycoccos* – *Polytrichum strictum* et *Vaccinium oxycoccos* – *Sphagnum rubellum* ainsi que du trio *Eriophorum vaginatum* subsp. *spissum* – *V. oxycoccos* – *Sphagnum fuscum* (tableau 1). Au moins 1 de ces 3 indicateurs était présent dans 89 % des parcelles sans apport en eau de l'aquifère. Toutefois, *P. strictum* était peu présente dans les parcelles inventoriées en Abitibi-Témiscamingue, ce qui signifie que la valeur indicatrice de l'association *V. oxycoccos* – *P. strictum* est surtout associée à la région du Centre-du-Québec.

Tableau 1. Valeurs de spécificité, de fidélité, d'INDVAL et de significativité (p) des espèces et associations d'espèces indicatrices des parcelles d'échantillonnage soumises ou non à un apport de l'aquifère, quel qu'il soit (latéral ou vertical).

	Spécificité	Fidélité	INDVAL	p
<b>Apport de l'aquifère</b>				
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> + <i>Carex oligosperma</i>	0,8681	0,6250	0,737	0,0014
<i>Carex limosa</i>	0,8978	0,4375	0,627	0,0079
<i>Sphagnum russowii</i>	0,8158	0,3438	0,530	0,0357
<b>Aucun apport de l'aquifère</b>				
<i>Eriophorum vaginatum</i> + <i>Vaccinium oxycoccos</i> + <i>Sphagnum fuscum</i>	0,8732	0,7037	0,784	0,0001
<i>Vaccinium oxycoccos</i> + <i>Polytrichum strictum</i>	0,8951	0,5556	0,705	0,0014
<i>Vaccinium oxycoccos</i> + <i>Sphagnum rubellum</i>	0,7278	0,5185	0,614	0,0184

Tableau 2. Valeurs de spécificité, de fidélité, d'INDVAL et de significativité (p) des espèces et associations d'espèces indicatrices des parcelles d'échantillonnage soumises à des écoulements latéraux.

	Spécificité	Fidélité	INDVAL	p
<b>Apport latéral de l'aquifère</b>				
<i>Andromeda polifolia</i> var. <i>latifolia</i> + <i>Carex oligosperma</i>	0,8771	0,6207	0,738	0,0056
<i>Carex limosa</i>	0,9065	0,4828	0,662	0,0144
<i>Sphagnum russowii</i>	0,8302	0,3793	0,561	0,0273
<b>Aucun apport latéral de l'aquifère (apport latéral de la tourbière à l'aquifère)</b>				
<i>Eriophorum vaginatum</i>	0,7765	0,7778	0,777	0,0020
<i>Polytrichum strictum</i>	0,9075	0,5556	0,710	0,0074
<i>Sphagnum rubellum</i>	0,7972	0,5185	0,643	0,0047

**Espèces indicatrices d'écoulements latéraux provenant de l'aquifère**

Sur les 110 indicateurs valides d'un apport en eau de l'aquifère par le biais d'écoulement latéral, 2 espèces ont été conservées, soit *C. limosa* et *S. russowii* (tableau 2). De toutes les associations valides d'espèces, seule l'association *A. polifolia* var. *latifolia* – *C. oligosperma* a été conservée. Ces espèces ont aussi été identifiées comme indicatrices d'apport de l'aquifère peu importe son origine (tableau 1). Au moins 1 de ces 3 indicateurs était présent dans 83 % des sites soumis à des écoulements latéraux provenant de l'aquifère.

**Espèces indicatrices d'écoulements latéraux provenant de la tourbière**

Parmi les 167 indicateurs valides d'écoulements latéraux provenant de la tourbière, aucune association d'espèces n'a été retenue, tandis que 3 espèces indicatrices ont été conservées. Il s'agit d'*E. vaginatum* subsp. *spissum*, *P. strictum* et *Sphagnum rubellum* (tableau 2). Ces espèces font toutes partie de l'une ou l'autre des associations d'espèces identifiées comme indicatrices de stations n'ayant aucun apport en eau de l'aquifère. Au moins 1 de ces 3 espèces indicatrices était présente dans 89 % des parcelles soumises à un écoulement latéral provenant de la tourbière.

### Espèces indicatrices de zones de décharge de l'aquifère

Parmi les 43 indicateurs valides de zones de décharge de l'aquifère (apport vertical de l'aquifère à la surface de la tourbière) seules 3 associations d'espèces ont été conservées (tableau 3). Il s'agit des duos *Chamaedaphne calyculata* – *Viburnum nudum* var. *cassinoides* et *Eriophorum angustifolium* – *Sphagnum angustifolium* ainsi que du trio *C. calyculata* – *Larix laricina* – *Sphagnum capillifolium*. Au moins une de ces associations était présente dans 90 % des parcelles où des flux verticaux de l'aquifère vers la tourbière ont été identifiés. L'arbuste *V. nudum* est toutefois presque absent des parcelles inventoriées en Abitibi-Témiscamingue de sorte que la valeur indicatrice de l'association *C. calyculata* – *V. nudum* var. *cassinoides* est surtout associée à sa présence dans les tourbières du Centre-du-Québec.

### Espèces indicatrices de zones de recharge de l'aquifère

Parmi les 61 indicateurs valides des zones de recharge de l'aquifère, 3 associations ont été conservées. Il s'agit du duo *S. capillifolium* – *S. fuscum* et des trios *Rhododendron groenlandicum* – *V. oxycoccus* – *S. fuscum* ainsi que *K. angustifolia* – *C. fluitans* – *S. capillifolium* (tableau 3). Au moins 1 de ces 3 combinaisons d'espèces était présente dans 88 % des sites où des flux verticaux de la tourbière vers l'aquifère ont été identifiés.

### Discussion et conclusion

Cette étude a démontré qu'il est possible d'utiliser les données de gradients hydrauliques pour identifier des espèces indicatrices des échanges d'eau entre une tourbière et l'aquifère. Toutefois, les espèces indicatrices identifiées dans cette étude ne peuvent pas encore être utilisées de façon extensive, l'idée étant de démontrer la pertinence et l'efficacité de la méthode davantage que de présenter une liste exhaustive de taxons indicateurs. L'ajout de sites, où à la fois des mesures de charge

hydraulique et des inventaires floristiques sont disponibles, permettrait d'accroître la robustesse des résultats. Certaines tourbières, dont celles de Lanoraie (Lanaudière) et de Covey Hill (Montérégie), font d'ailleurs l'objet de tels suivis et les données obtenues pourraient éventuellement être analysées de la même façon (Tousignant et collab., 2010; Levison et collab., 2013). L'augmentation du nombre de sites de suivis, mais aussi de la période de suivi (sur plus d'une année), permettrait ainsi de mieux comprendre la dynamique hydrique des sites et éventuellement d'accroître le nombre de situation. Par exemple, au lieu d'analyser les sites selon la présence ou l'absence d'un apport en eau de l'aquifère, il serait possible d'établir des groupes en fonction du pourcentage de temps au cours de la saison de croissance où un site donné est en situation de décharge ou de recharge de l'aquifère. Finalement, il peut arriver que des facteurs interagissent avec l'origine de l'eau et que les espèces identifiées soient influencées par ces variables plutôt que par l'origine de l'eau elle-même. Par exemple, la végétation de bordure de tourbière, où se trouvent essentiellement les apports latéraux et verticaux peu profonds, est aussi influencée par des fluctuations importantes de niveaux d'eau et par une luminosité plus faible résultant d'une plus grande abondance d'arbres et d'arbustes (Wheeler et Proctor, 2000; Bragazza et collab., 2005). Des analyses multi-variables pourraient éventuellement permettre de comparer l'importance des différentes variables (provenance de l'eau, chimie locale, luminosité, etc.) en fonction de la présence d'espèces indicatrices.

Malgré les limites liées au faible nombre de sites d'analyse, les résultats obtenus sont cohérents avec la littérature portant sur les exigences écologiques des espèces tourbicoles. En effet, la plupart des espèces indicatrices d'un apport d'eau de l'aquifère vers la tourbière (latéral ou vertical) telles que *Andromeda polifolia* var. *latifolia*, *Carex limosa*, *Viburnum nudum* var. *cassinoides* et *Sphagnum russowii* ont déjà été identifiées comme des indicateurs de conditions minérotrophiques (fens pauvres à riches) ou d'apports d'eau souterraine (Heinselman, 1970; Glaser et collab., 1990; Vitt et Chee, 1990; Visser et collab., 2000; Gauthier, 2001). À l'inverse, la plupart des espèces identifiées comme indicatrices d'une absence d'apport, telles que *Vaccinium oxycoccus*, *Sphagnum rubellum* et *Eriophorum vaginatum* subsp. *spissum*, sont des espèces typiquement ombrotrophes qui se trouvent dans des habitats où l'eau de surface est peu minéralisée (Glaser et collab., 1990; Campbell et Rochefort, 2001). D'autre part, les espèces identifiées sont relativement constantes dans les 3 analyses, ce qui suggère que le sens des flux d'eau associés à l'aquifère est peu important pour la flore de surface. Cela ne pourra toutefois être confirmé que

Tableau 3. Valeurs de spécificité, de fidélité, d'INDVAL et de significativité (p) des espèces et associations d'espèces indicatrices des parcelles d'échantillonnage soumises à des écoulements verticaux.

	Spécificité	Fidélité	INDVAL	p
<b>Décharge (flux des dépôts sous-jacents vers la tourbière)</b>				
<i>Chamaedaphne calyculata</i> + <i>Larix laricina</i> + <i>Sphagnum capillifolium</i>	0,6534	0,6000	0,626	0,0388
<i>Eriophorum angustifolium</i> + <i>Sphagnum angustifolium</i>	0,7776	0,4000	0,558	0,0380
<i>Chamaedaphne calyculata</i> + <i>Viburnum nudum</i> var. <i>cassinoides</i>	0,7627	0,4000	0,552	0,0110
<b>Recharge (flux de la tourbière vers les dépôts sous-jacents)</b>				
<i>Sphagnum capillifolium</i> + <i>Sphagnum fuscum</i>	0,6601	0,7500	0,704	0,0307
<i>Rhododendron groenlandicum</i> + <i>Vaccinium oxycoccus</i> + <i>Sphagnum rubellum</i>	0,8232	0,3750	0,556	0,0346
<i>Kalmia angustifolia</i> + <i>Cladopodiella fluitans</i> + <i>Sphagnum capillifolium</i>	0,8696	0,2500	0,466	0,0424

par l'ajout de sites, notamment de sites en présence de recharge et de décharge qui sont peu abondants dans notre étude.

En conclusion, nous croyons que les espèces indicatrices pourraient devenir un outil utile pour les responsables de la gestion du territoire, notamment dans un contexte où les milieux humides subissent des pressions croissantes et donc, que des ressources devraient être investies pour poursuivre ce travail. En effet, à l'heure actuelle, les fonctionnaires responsables de l'émission d'un certificat d'autorisation pour la réalisation d'une activité dans un milieu humide, en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., chapitre Q-2), doivent théoriquement tenir compte de la connectivité hydrologique des milieux humides dans leur analyse stratégique (MDDEP, 2012). Toutefois, il leur est présentement quasi impossible de juger de la connectivité des milieux humides avec les eaux souterraines. La présence d'espèces indicatrices de flux hydrauliques entre une tourbière et un aquifère pourrait donner une indication de l'importance du site dans l'hydrologie régionale et améliorer l'analyse des impacts environnementaux de la demande étudiée.

## Remerciements

Les auteures remercient le Fonds de recherche du Québec Nature et technologies (FRQNT) dans le cadre du programme FRQNT – Partenariats Actions concertées sur les eaux souterraines pour sa contribution financière à cette étude. Elles remercient également les propriétaires privés, de même que les MRC d'Abitibi, de Bécancour, de l'Érable, de Lotbinière, de Nicolet-Yamaska, d'Arthabaska et de l'Association de Chasse et Pêche de Plessisville pour avoir autorisé l'accès à leur terrain. Finalement, elles remercient Michel Crête, Denise Tousignant et un réviseur anonyme pour leurs commentaires sur une version préliminaire du manuscrit.

## Références

- ATLAS AGROCLIMATIQUE DU QUÉBEC, 2012. Agrométéo Québec: saison de croissance. Disponible en ligne à : <http://dev.agrometeo.org/atlas/category/saisicris/therm/true>. [Visité le 13-01-28].
- AVARD, K., M. LAROCQUE et S. PELLERIN, 2013. Perturbations des tourbières de la région de Bécancour, Centre-du-Québec, entre 1966 et 2010. *Le Naturaliste canadien*, 137 (1): 8-15.
- BLEUTEN, W., W. BORREN, P.H. GLASER, T. TSUCHIHARA, E.D. LAPSHINA, M. MÄKILÄ, D. SIEGEL, H. JOOSTEN et M.J. WASSEN, 2006. Hydrological processes, nutrient flows and patterns of fens and bogs. *Ecological Studies*, 190: 183-204.
- BRAGAZZA, L., H. RYDIN et R. GERDOL, 2005. Multiple gradients in mire vegetation: a comparison of a Swedish and an Italian bog. *Plant Ecology*, 177: 223-236.
- CAMPBELL, D.R. et L. ROCHEFORT, 2001. La végétation: gradients. Dans: PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT (édit.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 129-140.
- CHARMAN, D.J., 2002. *Peatlands and environmental change*. Wiley, Chichester, 301 p.
- De CÁCERES, M., P. LEGENDRE, S.K. WISER et L. BROTONS, 2012. Using species combinations in indicator value analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 973-982.
- DEVITO, K.J., J.M. WADDINGTON et B.A. BRANFIREUN, 1997. Flow reversals in peatlands influenced by local groundwater systems. *Hydrological Processes*, 11: 103-110.
- DUFRÈNE, M. et P. LEGENDRE, 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2013. Archives nationales d'informations et de données climatologiques. Disponible en ligne à : [http://www.climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/index\\_f.html](http://www.climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html). [Visité le 13-01-28].
- FERLATTE, M., 2013. Hydrogéochimie des systèmes aquifère-tourbière et traceurs des processus d'échanges dans deux contextes géoclimatiques du Québec méridional. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Montréal, 67 p.
- GAUTHIER, R., 2001. Les sphaignes. Dans: PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT (édit.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 129-140.
- GLASER, P.H., J.A. JANSSENS et D.I. SIEGEL, 1990. The response of vegetation to chemical and hydrological gradients in the Lost River peatland, northern Minnesota. *Journal of Ecology*, 78: 1021-1048.
- GORHAM, E., 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1: 182-195.
- GOSLEE, S.C., R.P. BROOKS et C.A. COLE, 1997. Plants as indicators of wetland water source. *Plant Ecology*, 131: 199-206.
- GRANDTNER, M.G., 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 216 p.
- HEINSELMAN, M.L., 1970. Landscape evolution, peatland types and the environment in the Lake Agassiz Peatlands Natural Area, Minnesota. *Ecological Monographs*, 40: 235-261.
- JOOSTEN, H. et D. CLARKE, 2002. Wise use of mires and peatlands. Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Saarijärvi, 304 p.
- LAVOIE, M. et J. COLPRON-TREMBLAY, 2013. Étude paléoécologique de la Grande-Tourbière-de-Villeroi. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 37 p.
- LEVISON, J., M. LAROCQUE, V. FOURNIE, S. GAGNÉ, S. PELLERIN et M.A. OUELLET, 2013. Dynamics of a headwater system and peatland under current conditions and with climate change. *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp.9978
- MARINI, L., J. NASCIMBENE, M. SCOTTON et S. KLIMEK, 2008. Hydrochemistry, water table depth and related distribution patterns of vascular plants in a mixed mire. *Plant Biosystems*, 142: 79-86.
- MDDEP, 2012. Les milieux humides et l'autorisation environnementale. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, Direction des politiques de l'eau et Pôle d'expertise hydrique et naturel, Québec, 41 p.
- MOORE, P.D., 2002. The future of cool temperate bogs. *Environmental Conservation*, 29: 3-20.
- PAKARINEN, P., 1995. Classification of boreal mires in Finland and Scandinavia: a review. *Plant Ecology*, 118: 29-38.
- PAYETTE, S. 2001. Les principaux types de tourbières. Dans: PAYETTE, S. et L. ROCHEFORT (édit.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, p. 39-49.
- PELLERIN, S. 2003. Des tourbières et des hommes. L'utilisation des tourbières dans la région de Rivière-du-Loup – L'Isle-Verte. *Le Naturaliste canadien*, 127 (1): 18-23.
- POULIN, M., S. PELLERIN, L. ROCHEFORT et J. THIBAUT, 2004. Threats and protection for peatlands in eastern Canada. *Géocarrefour*, 79: 331-344.
- PRICE, J.S., B.A. BRANFIREUN, J.M. WADDINGTON et K.J. DEVITO, 2005. Advances in Canadian wetland hydrology, 1999-2003. *Hydrological Processes*, 19: 201-214.
- RIVERIN, M.N., 2006. Caractérisation et modélisation de la dynamique d'écoulement dans le système aquifère de l'esker Saint-Mathieu / Berry, Abitibi, Québec. Mémoire de maîtrise, Institut national de recherche scientifique, Québec, 203 p.



- ROSSI, P.M., P. ALA-AHO, A.K. RONKANEN et B. KLØVE, 2012. Groundwater-surface water interaction between an esker aquifer and a drained fen. *Journal of Hydrology*, 432 : 52-60.
- SAUCIER, J.-P., P. GRONDIN, A. ROBITAILLE et J.-F. BERGERON, 2003. Carte des régions écologiques, 3<sup>e</sup> version. Ministère des Ressources naturelles du Québec, code 2003-3015, Québec.
- SJORS, H., 1950. On the relation between vegetation and electrolytes in North Swedish mire waters. *Oikos*, 2 : 241-258.
- SMERDON, B.D., C.A. MENDOZA et K.J. DEVITO, 2012. The impact of gravel extraction on groundwater dependent wetlands and lakes in the boreal plains, Canada. *Environmental Earth Sciences*, 67 : 1249-1259.
- TOUSIGNANT, M.E., S. PELLERIN, et J. BRISSON, 2010. Human impact on the vegetation of a large wetland complex in southern Québec, Canada. *Wetlands*, 30 : 333-344.
- USGS (United States Geological Survey), 2013. USGS Global positioning application and practice. Disponible en ligne à : <http://water.usgs.gov/osw/gps/>. [Visité le 13-??-??].
- VISSER, E. J.W., G.M. BOGEMANN, H.M. VAN DE STEEG, R. PIERICK et W.P.M. BLOM, 2000. Flooding tolerance of *Carex* species in relation to field distribution and aerenchyma formation. *New Phytologist*, 148 : 93-103.
- VITT, D.H. et W.L. CHEE, 1990. The relationships of vegetation to surface water chemistry and peat chemistry in fens of Alberta, Canada. *Vegetatio*, 89 : 87-106.
- WADDINGTON, J.M. et W.L. QUINTON, 2009. Advances in Canadian peatland hydrology, 2003-2007. *Canadian Water Resources Journal*, 34 : 139-148.
- WELLS, E.D. et S. ZOLTAI, 1985. Canadian system of wetland classification and its application to circumboreal wetlands. *Aquilo Series Botanica*, 21 : 45-52.
- WHEELER, B.D. et M.C.F. PROCTOR, 2000. Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. *Journal of Ecology*, 88 : 187-203.
- WINTER, T.C., D.C. BUSO, P.C. SHATTUCK, P.T. HARTE, D.A. VROBLESKY et D.J. GOODE, 2008. The effect of terrace geology on ground-water movement and on the interaction of ground water and surface water on a mountainside near Mirror Lake, New Hampshire, USA. *Hydrological Processes*, 22 : 21-32.

# le naturaliste canadien

## La plus ancienne revue francophone en sciences naturelles publiée en Amérique

Le *Naturaliste canadien* offre – sur papier et en ligne – un vaste auditoire à tous les professionnels de l’environnement et aux naturalistes qui désirent partager le fruit de leur travail avec ceux qui se préoccupent des sciences naturelles au Québec.

### Auteur potentiel ? Soumettez un manuscrit :

- Évaluation par les pairs
- Aucun frais de publication
- Tirés à part électroniques gratuits
- Diffusion en deux formats : imprimé et en ligne (plateforme Érudit)

([www.provancher.qc.ca/fr/publication/naturaliste/soumettre-un-article](http://www.provancher.qc.ca/fr/publication/naturaliste/soumettre-un-article))

Publié depuis 1869, le *Naturaliste canadien* paraît grâce au soutien de la Société Provancher d’histoire naturelle du Canada, un organisme voué à la conservation des milieux naturels, à l’éducation environnementale et à la diffusion des connaissances en sciences naturelles.

### Lecteur potentiel ? Devenez membre :

- Faites d’une pierre deux coups : Adhérez à la Société Provancher et recevez gratuitement tous les numéros du *Naturaliste*!
- Membre individuel : 30 \$ par année ; familial : 35 \$ ; institutionnel : 70 \$

(<http://www.provancher.qc.ca/fr/societe/devenir-membre>)



le naturaliste  
canadien