

La recherche en appui à notre région



**HUMAINE  
CRÉATIVE  
AUDACIEUSE**

## Développement d'une approche graphique ciblant l'évaluation de la position des tourbières au sein de l'environnement hydrogéologique

Rosa E, Cloutier V, Dallaire PL, Nadeau S, Blanchette D, Roy M, Rey N, Bondu R.

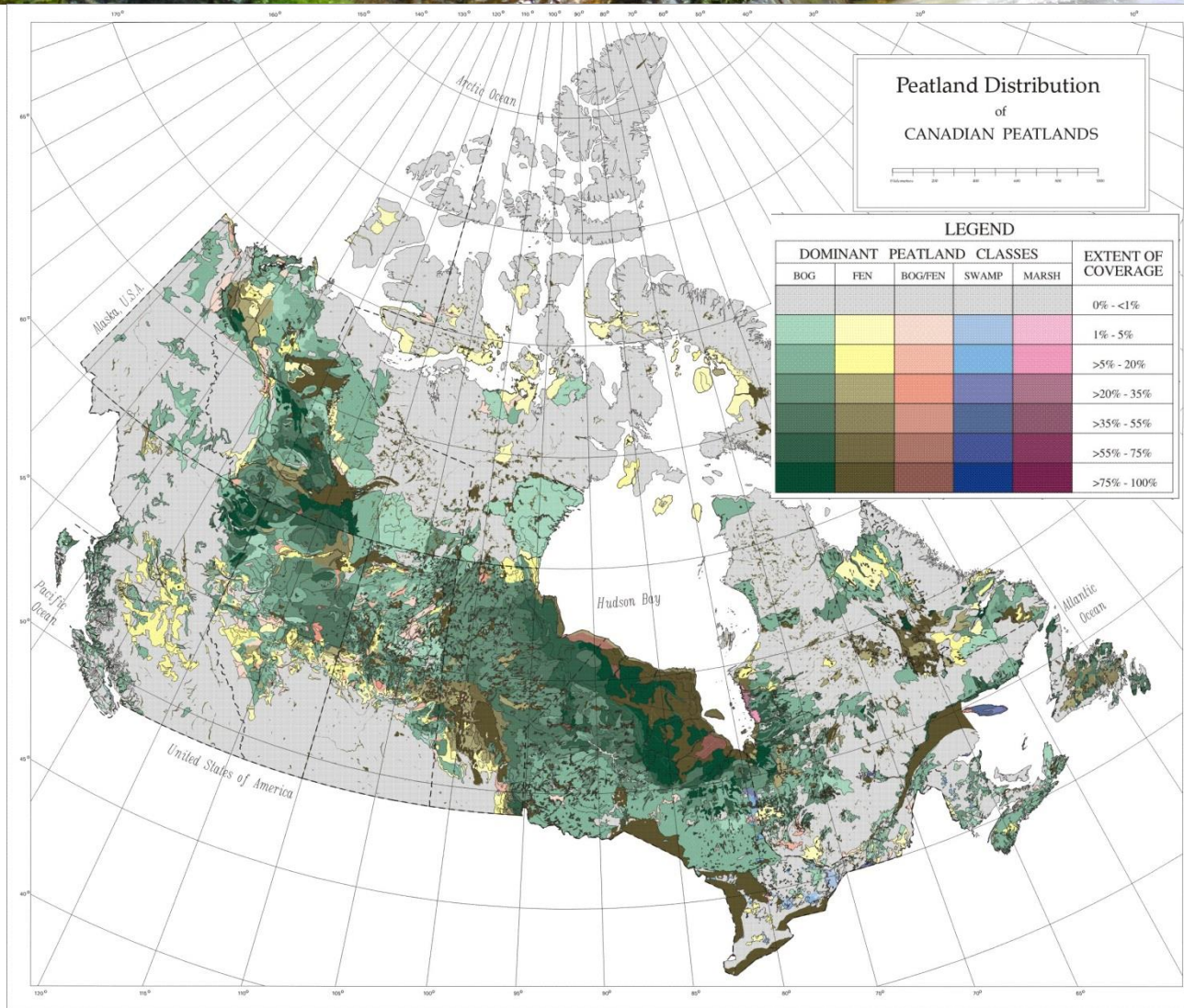
**UQAT**  
GROUPE DE RECHERCHE  
SUR L'EAU SOUTERRAINE

Réseau Québécois sur les Eaux Souterraines  
Série de conférences en hydrogéologie, 10 septembre 2015

# Plan de la présentation

1. Mise en contexte
2. Caractérisation des tourbières d'Abitibi-Témiscamingue (PACES-AT)
3. Développement d'une approche graphique
4. Ouvertures et pistes de réflexion

# 1. Mise en contexte: distribution spatiale

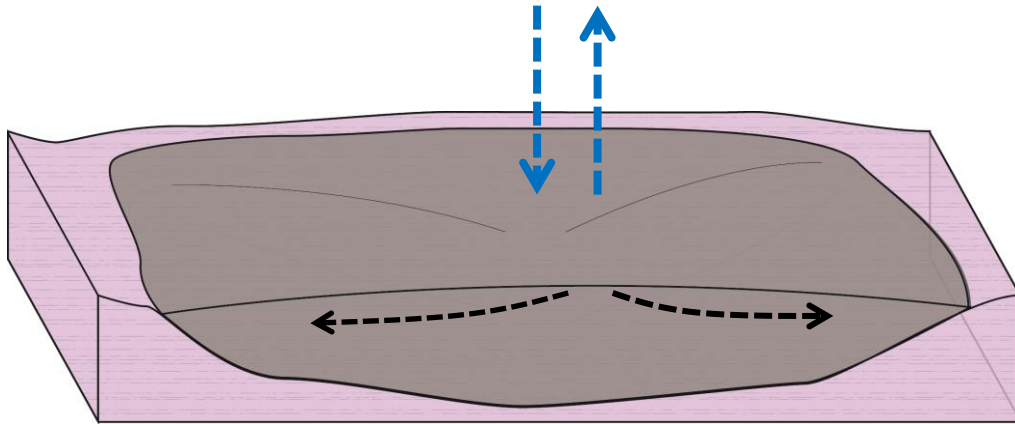


## Distribution spatiale des tourbières du Canada (Tarnocai et al., 2011)

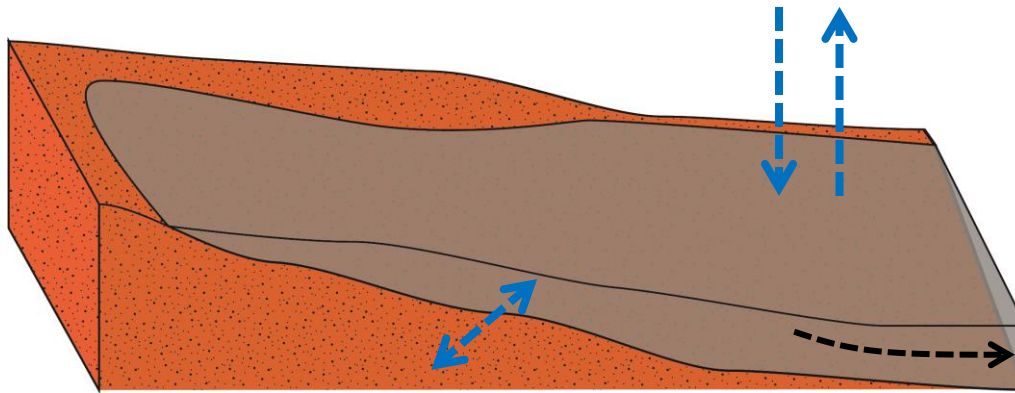
- Les tourbières couvrent plus de  $1.13 \times 10^6 \text{ km}^2$  à l'échelle du Canada
- Les **tourbières ombrotrophes** comptent pour 67 % de la superficie
- Les **tourbières minérotrophes** comptent pour environ 32 % de la superficie

Source de l'illustration: Tarnocai et al., 2011

# 1. Mise en contexte: caractéristiques hydrogéologiques

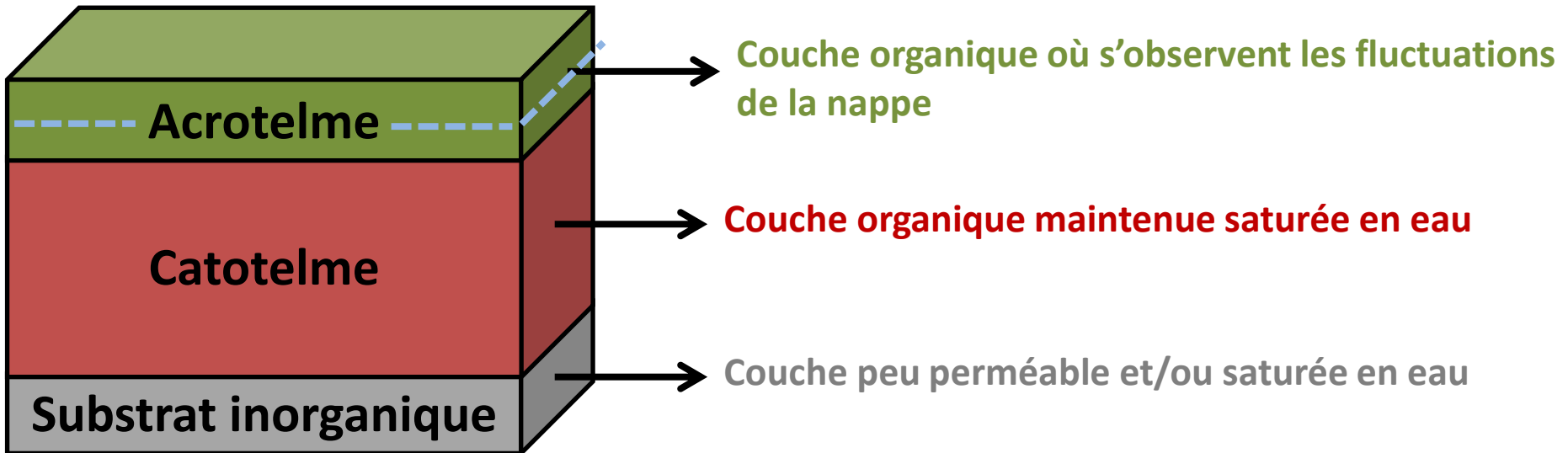


Représentation simplifiée d'une **tourbière ombrotrophe (bog)**.  
L'alimentation en eau provient essentiellement des apports verticaux.

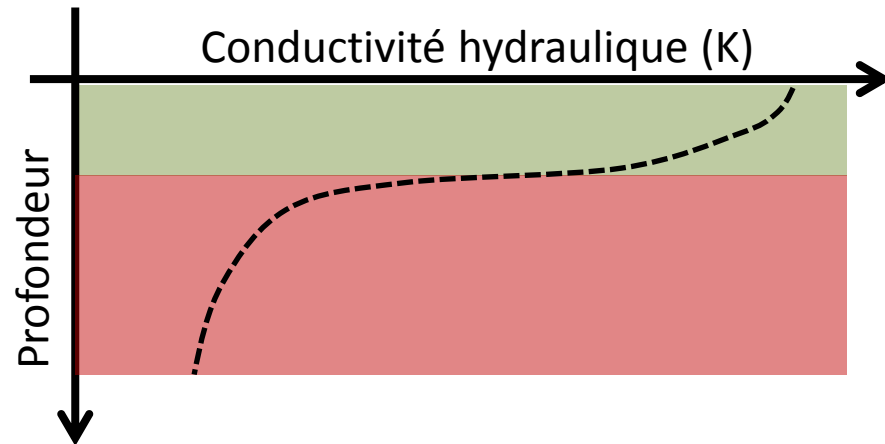
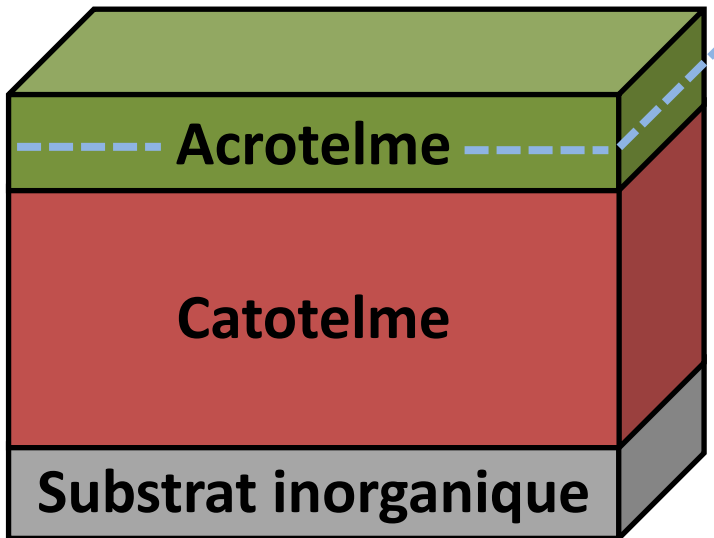


Représentation simplifiée d'une **tourbière minérotrophe (fen)**.  
L'alimentation en eau provient des apports verticaux et d'échanges avec les aquifères et les éléments du réseau hydrographique.

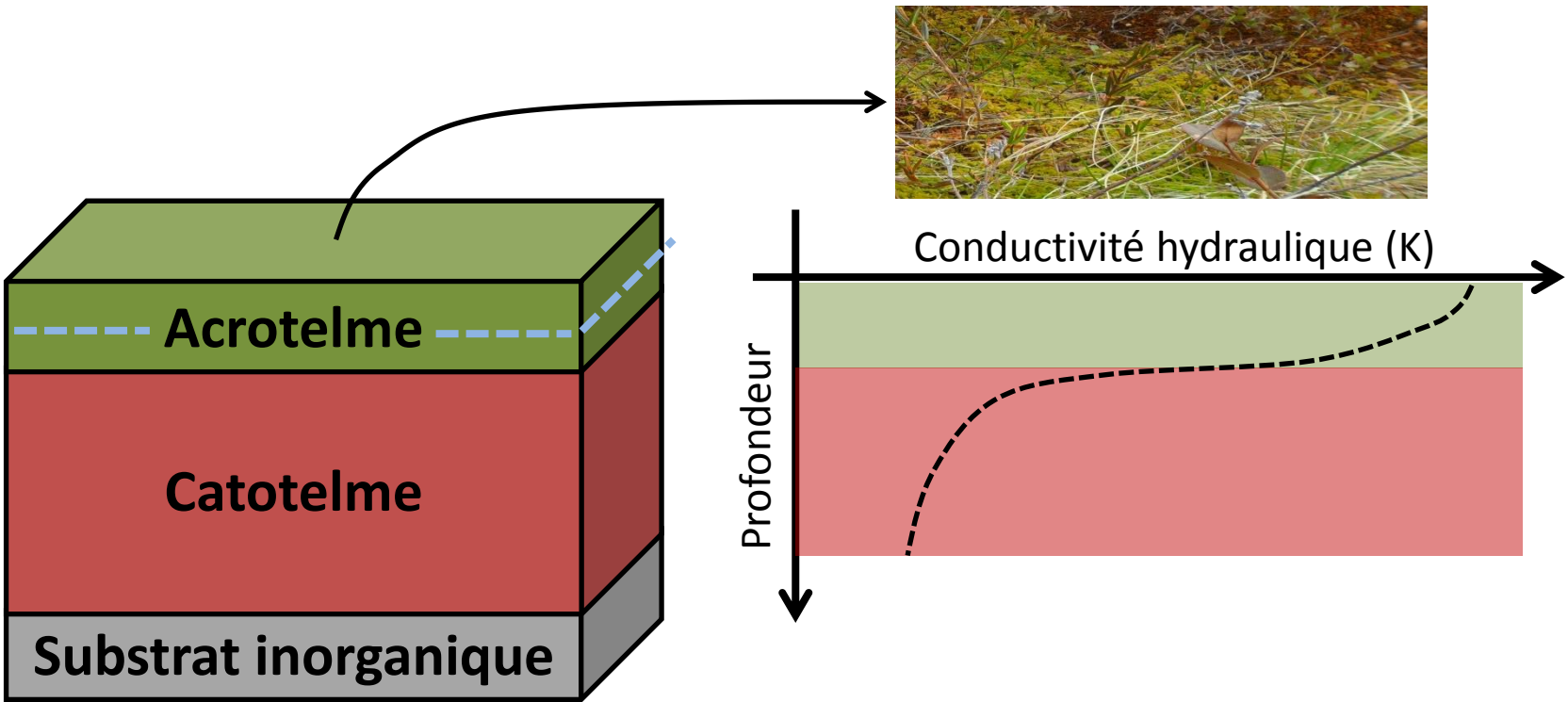
# 1. Mise en contexte: caractéristiques hydrogéologiques



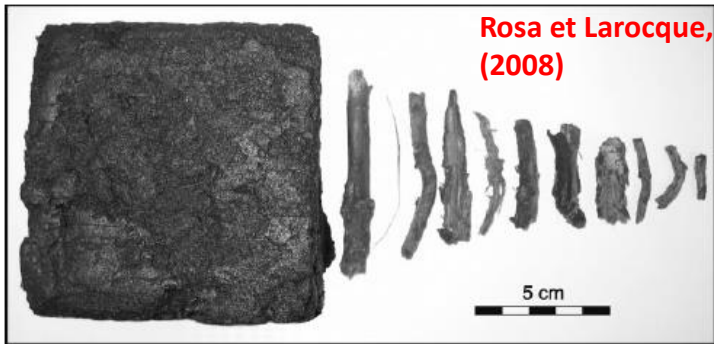
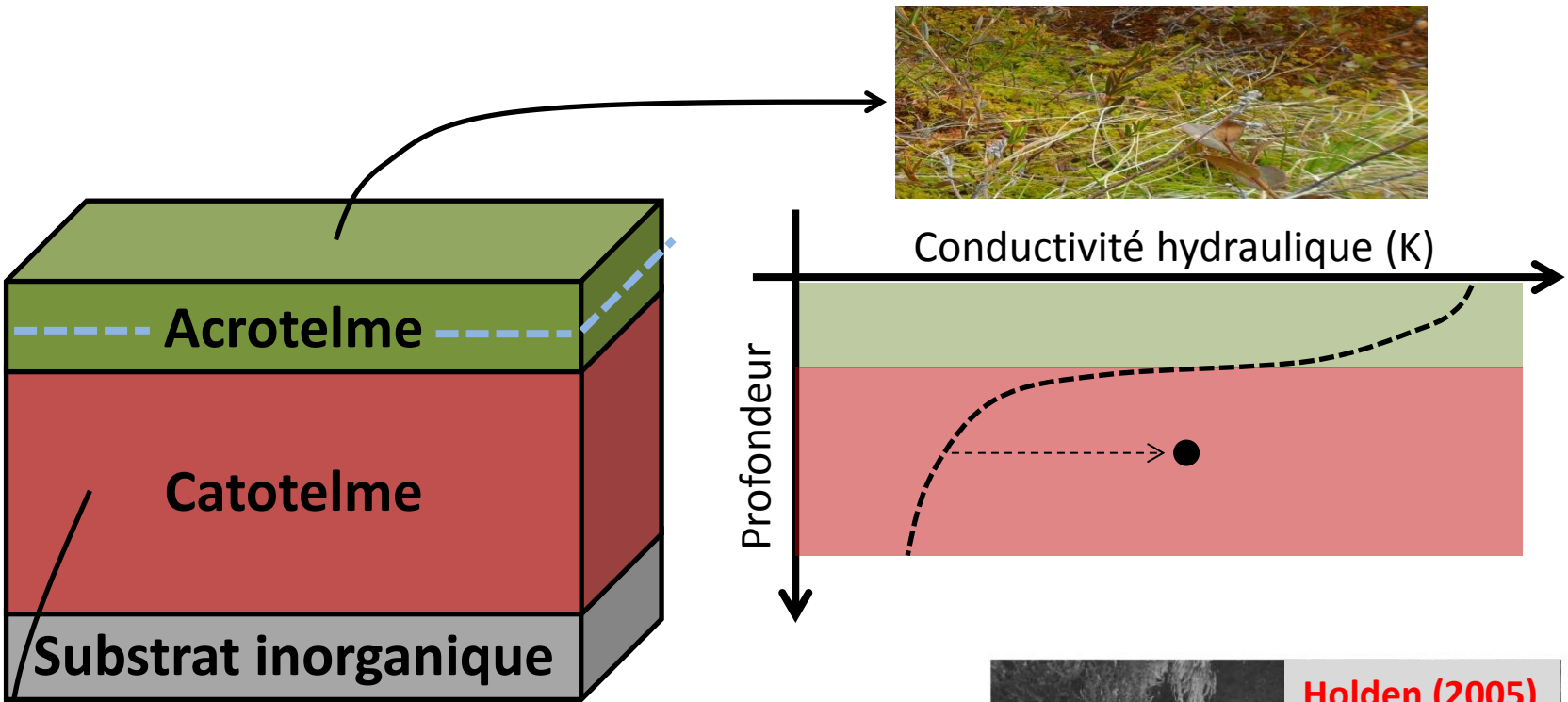
# 1. Mise en contexte: caractéristiques hydrogéologiques



# 1. Mise en contexte: caractéristiques hydrogéologiques

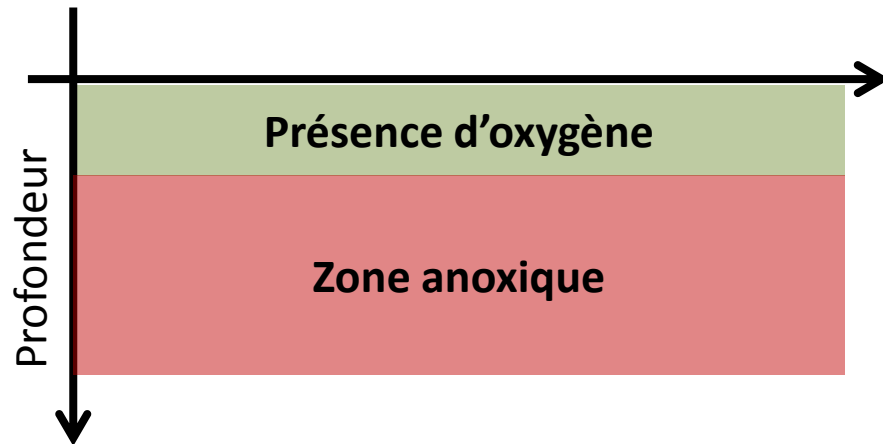
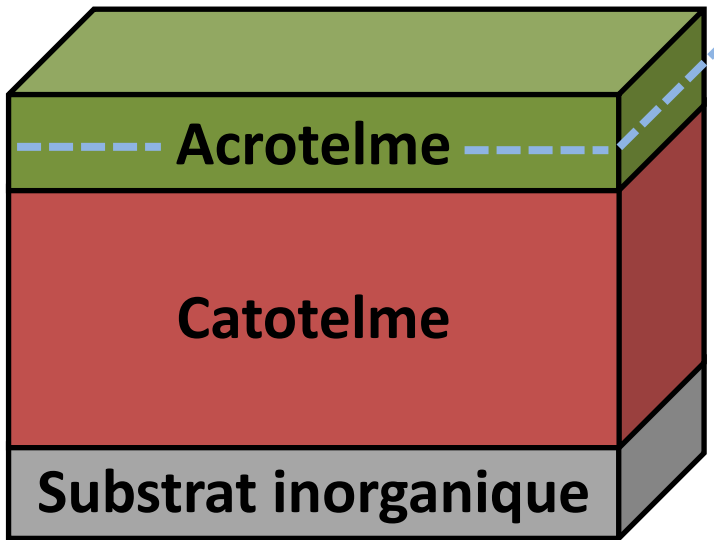


# 1. Mise en contexte: caractéristiques hydrogéologiques



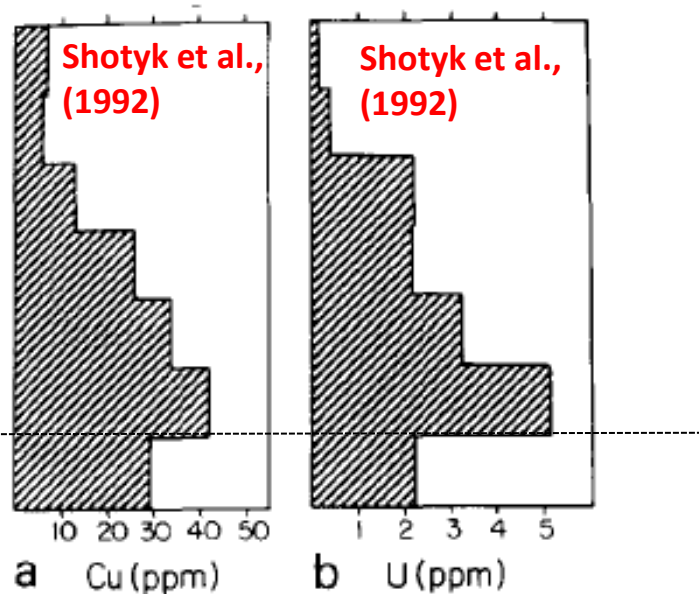
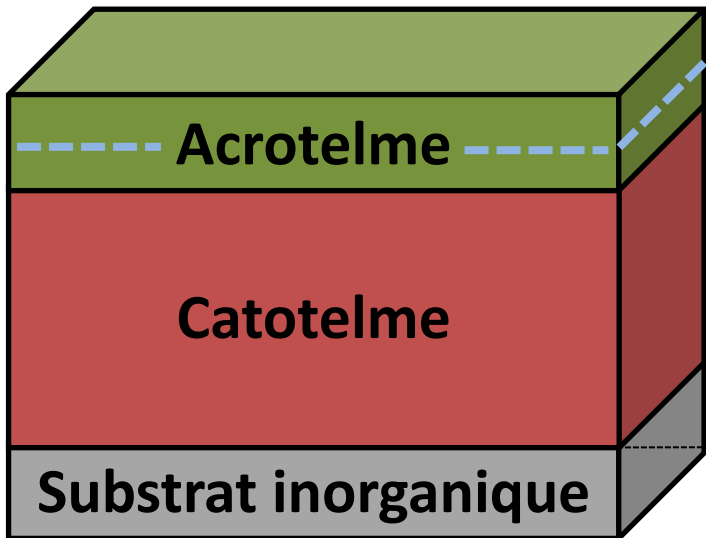


# 1. Mise en contexte: caractéristiques géochimiques



# 1. Mise en contexte: caractéristiques géochimiques

- **Maintien de conditions saturées:**
  - **Accumulation de carbone**



- **Processus géochimiques organiques et inorganiques**
  - **Accumulation préférentielle de certains métaux**

# 1. Mise en contexte: sensibilité face aux changements climatiques

High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback

Nature Geoscience (2008)

TAKESHI ISE<sup>1\*</sup>, ALLISON L. DUNN<sup>2</sup>, STEVEN C. WOFSY<sup>3</sup> AND PAUL R. MOORCROFT<sup>4</sup>

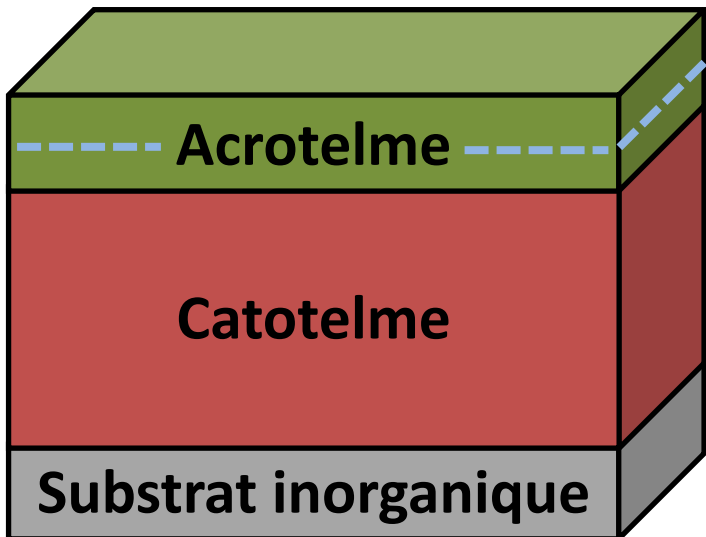
<sup>1</sup>Frontier Research Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama 236-0001, Japan

<sup>2</sup>Department of Physical and Earth Sciences, Worcester State College, Worcester, Massachusetts 01602, USA

<sup>3</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

<sup>4</sup>Department of Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

\*e-mail: ise@jamstec.go.jp



## Instabilités du climat et pressions anthropiques

- Réservoir transitoire de carbone




- Réservoir transitoire d'eau



- Réservoir transitoire de métaux

# 1. Mise en contexte: exemples de thématiques étudiées

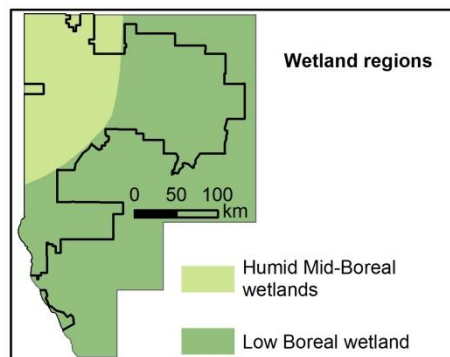
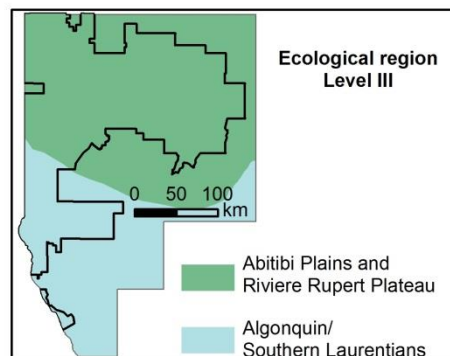
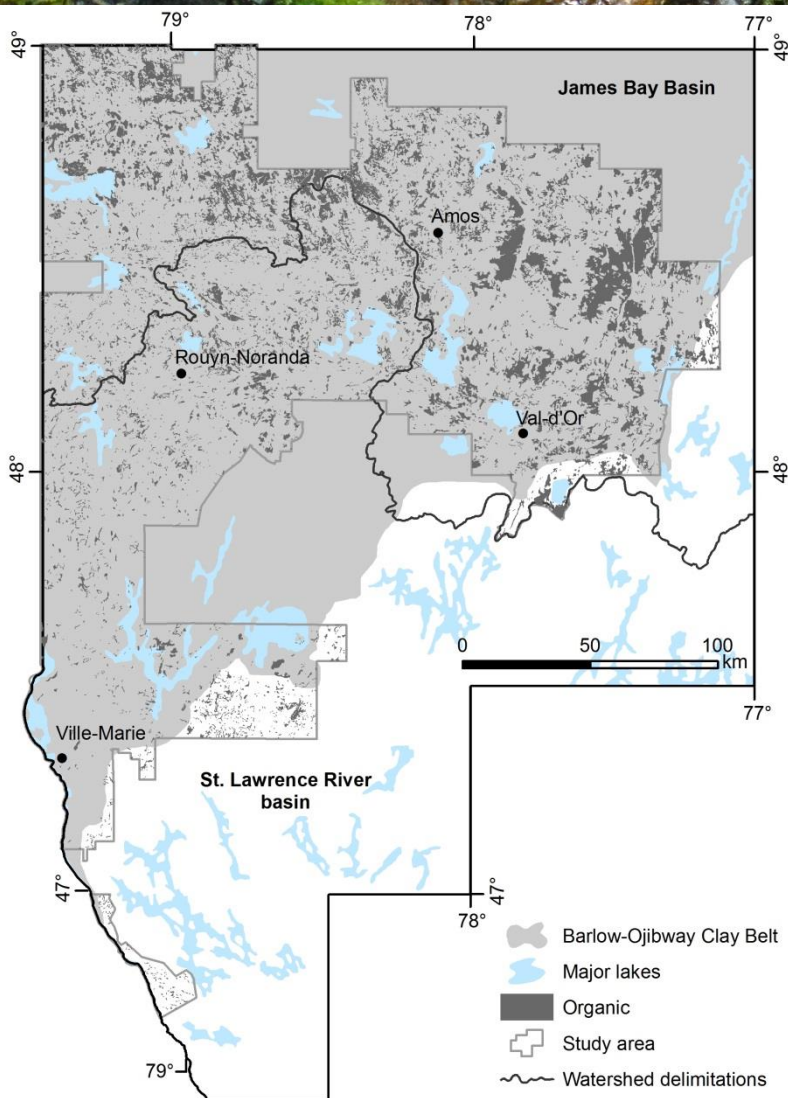
<b>Thèmes</b>	<b>Références pertinentes</b>
<b>Génération de ruissellement</b>	Roulet and Woo, 1986; 1988; Quinton and Roulet, 1998; Spence et al., 2011; Richardson et al., 2012; Zanatta et al., 2013
<b>Géomorphologie des complexes tourbeux</b>	Bjelm, 1980; Slater and Reeve, 2002; Holden, 2004; Comas et al., 2004; 2005; 2011; 2015; Kettridge et al., 2008; Parkesian et al., 2012; Van Bellen et al., 2011; Loisel et al., 2013; Proulx-McInnis et al., 2013
<b>Propriétés hydrauliques des dépôts tourbeux</b>	Ingram, 1983; Clymo, 1983, Hilbert et al., 2000; Holden and Burt, 2003a; 2003b; Holden and Burt, 2002; Holden, 2005
<b>Modélisation hydrogéologique</b>	Reeve et al., 2001; 2006; Lapen et al., 2005; Acreman et al., 2009; Jutras et al., 2009; Baird et al., 2011; Rossi et al., 2012; Levison et al., 2014
...	...



# 1. Mise en contexte: problématique scientifique

**Q?:** Considérant l'hétérogénéité et la diversité des tourbières, comment peut-on interpréter les fonctions hydrogéologiques des tourbières à l'échelle de grandes régions?

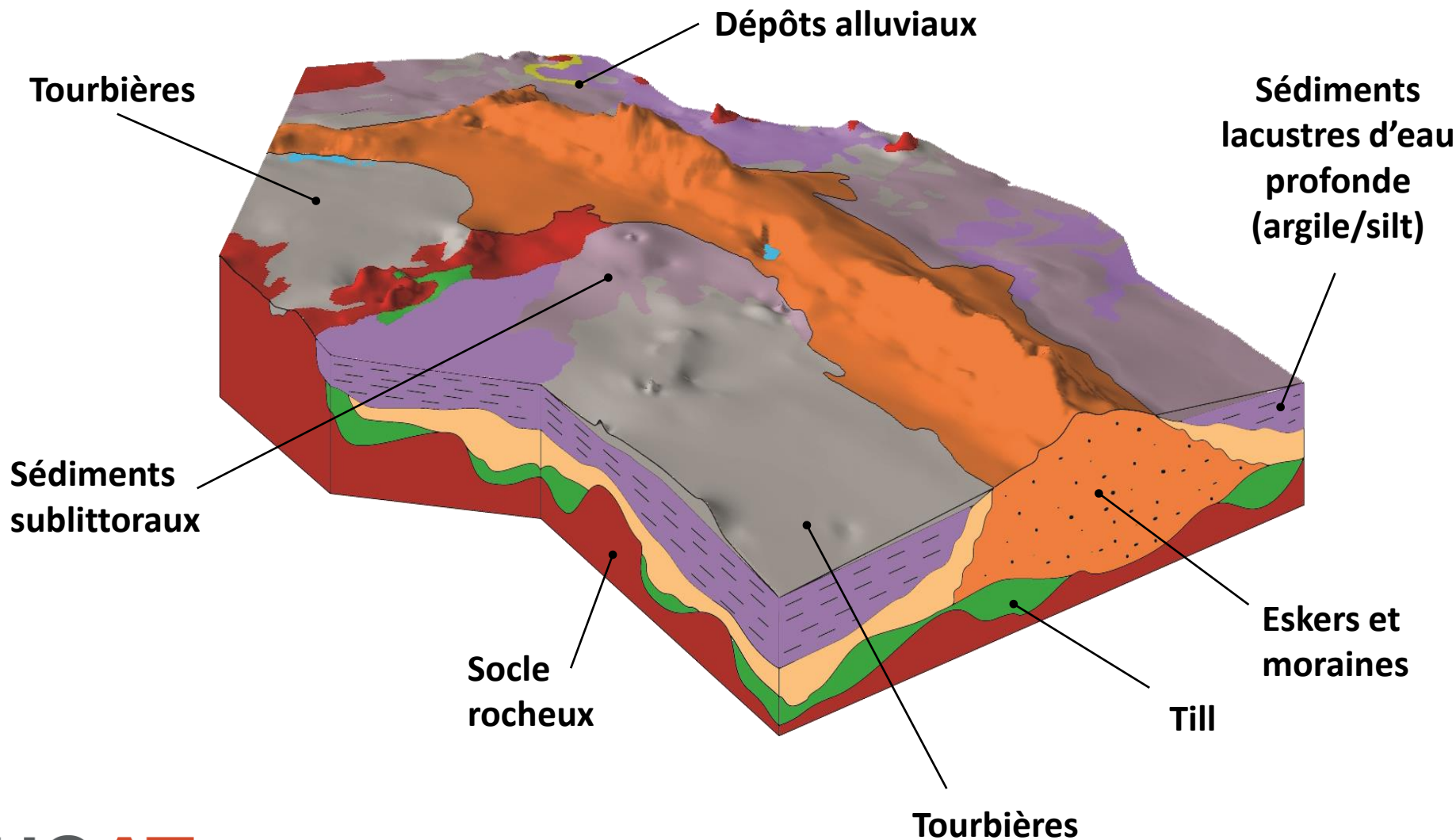
## 2. Caractérisation des tourbières d'Abitibi-Témiscamingue (PACES-AT)



### Portrait régional

- Superficie: 19 549 km<sup>2</sup>
- Altitudes: 174 – 570 m
- Conditions climatiques (station Mont-Brun):
  - Janvier: -17.9 °C
  - Juillet: 16.7 °C
  - Pluie: 704.9 mm
  - Neige: 280.6 mm
- Couverture des tourbières:
  - 2 243 km<sup>2</sup>
  - 6 303 polygones
- Bassins versants:
  - Sud: Saint-Laurent
  - Nord: Baie James

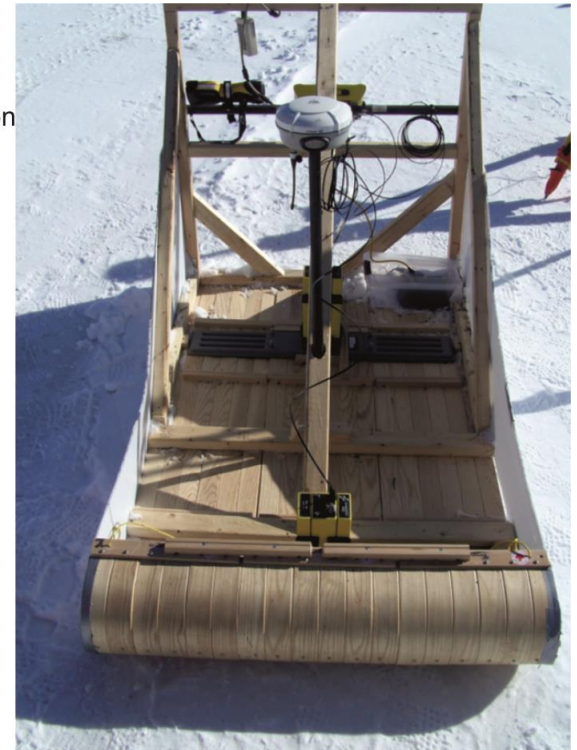
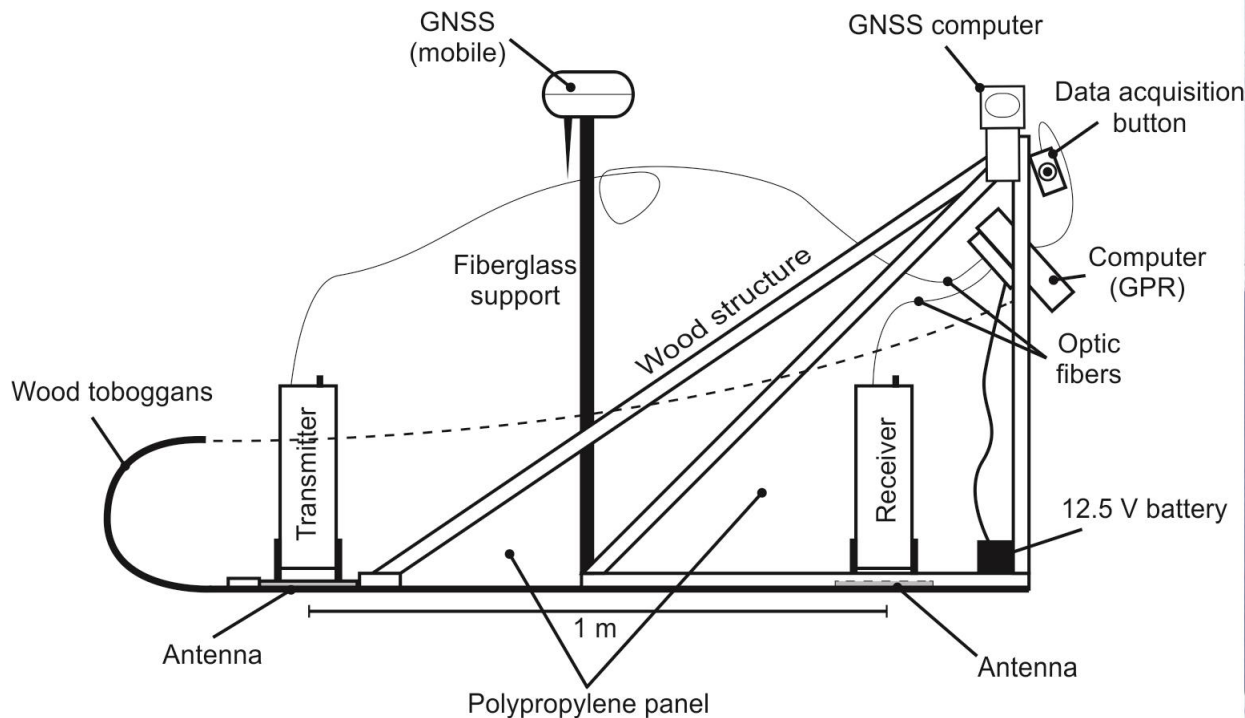
## 2. Caractérisation des tourbières d'Abitibi-Témiscamingue (PACES-AT)



## 2. Caractérisation des tourbières d'Abitibi-Témiscamingue (PACES-AT)

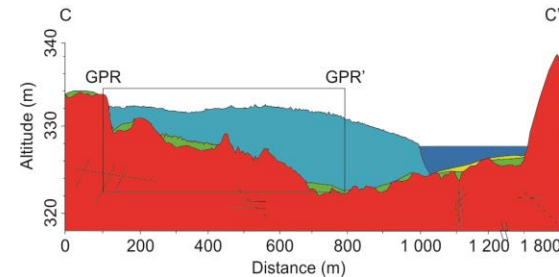
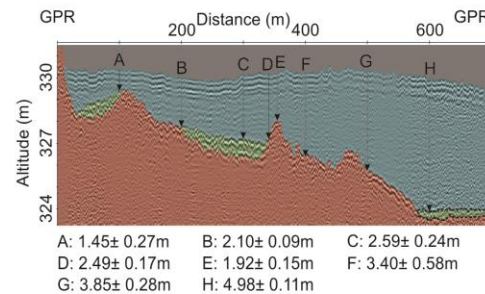
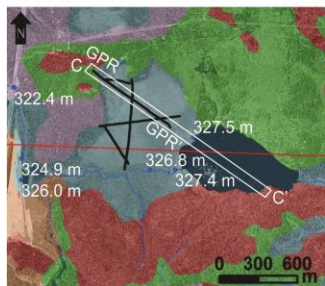
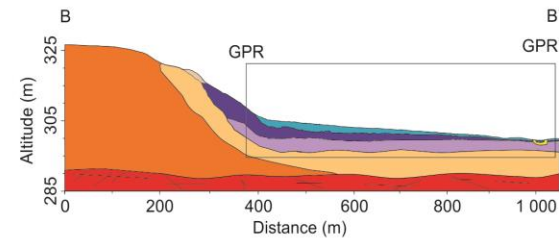
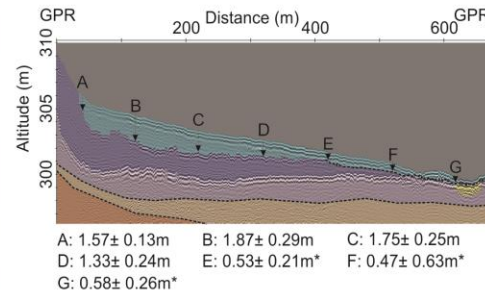
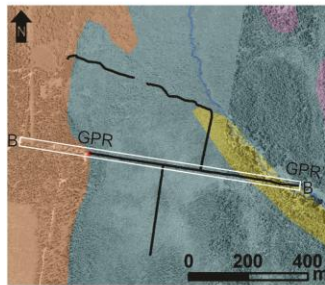
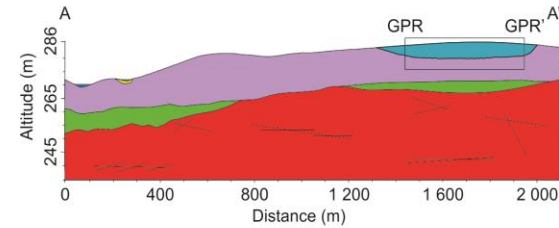
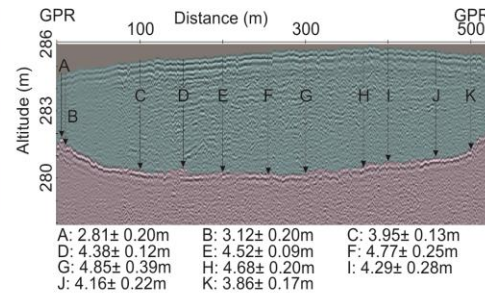
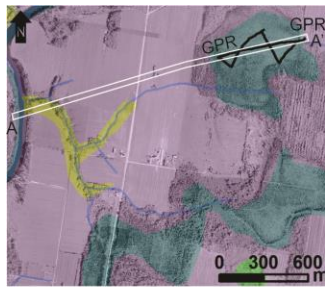
**Objectif initial:** Évaluer les fonctions hydrogéologiques des tourbières à l'échelle de l'Abitibi-Témiscamingue

**Approches retenues:** SIG + Géophysique

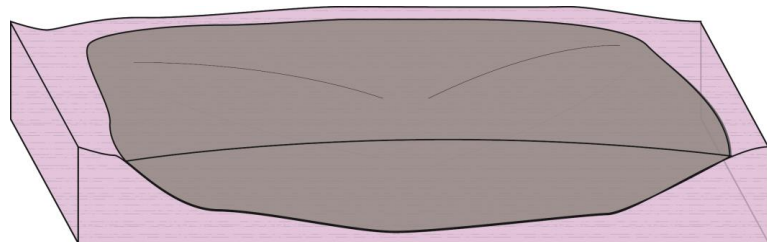




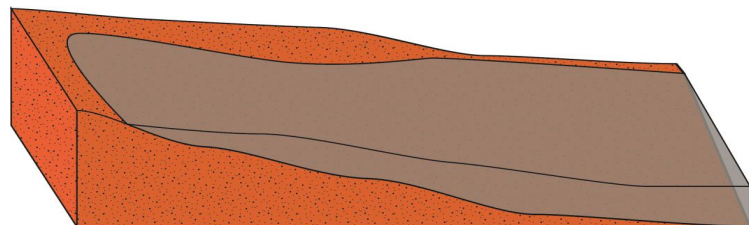
## 2. Caractérisation des tourbières d'Abitibi-Témiscamingue (PACES-AT)



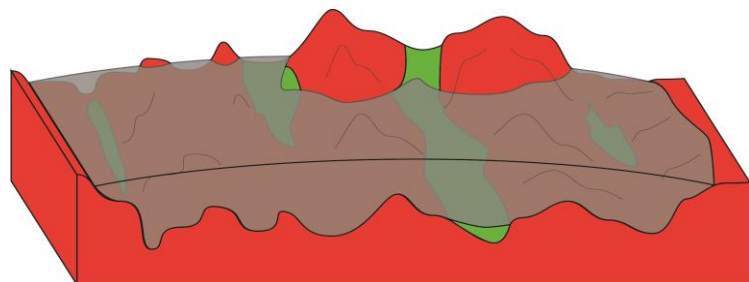
## 2. Caractérisation des tourbières d'Abitibi-Témiscamingue (PACES-AT)



**Tourbière sur argile**



**Tourbière de flanc d'esker**



**Tourbière sur roc/till**

## 2. Caractérisation des tourbières d'Abitibi-Témiscamingue (PACES-AT)

**Q?:** Considérant l'hétérogénéité et la diversité des tourbières, comment peut-on interpréter les fonctions hydrogéologiques de ces environnements à l'échelle de grandes régions?

**Piste de solution:** Opter pour le développement d'un système de classification qui nous permet d'interpréter la diversité des complexes tourbeux de la région (p. ex.: Brinson, 1993 - modèle «*Hydrogéomorphique*»)

**Problème:** Par définition, les systèmes de classification reposent sur la définition de classes distinctes en fonction de paramètres ciblés. Or, bien souvent, l'environnement naturel constitue un continuum et l'identification de seuils entre les classes devient subjectif

### 3. Développement d'une approche graphique

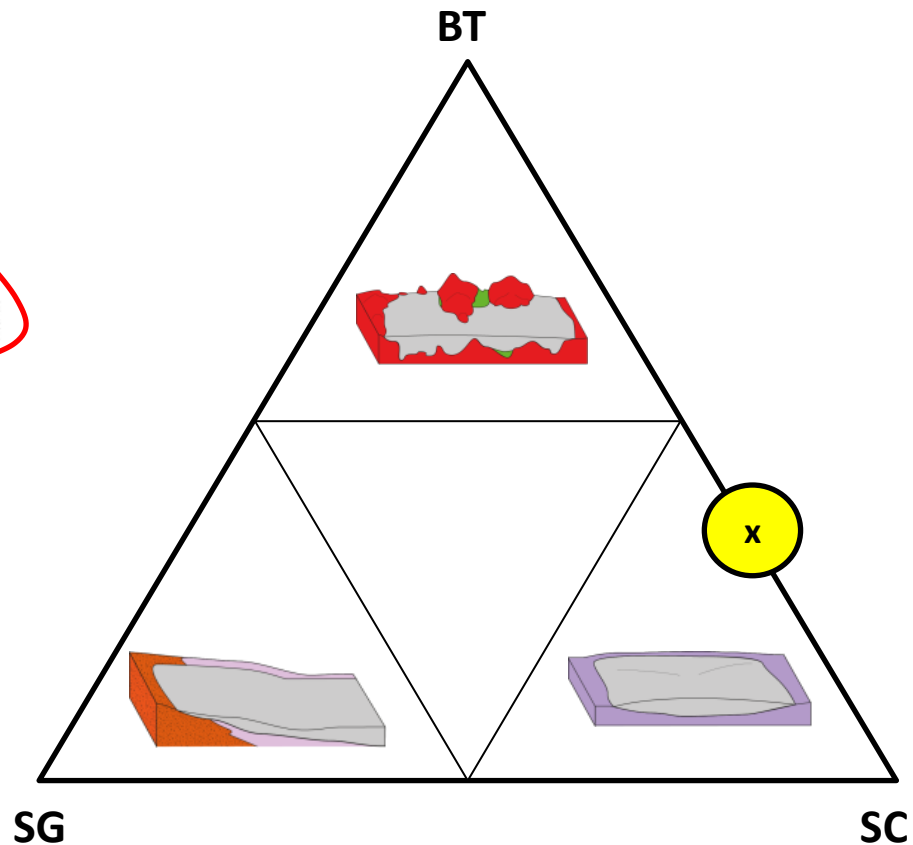
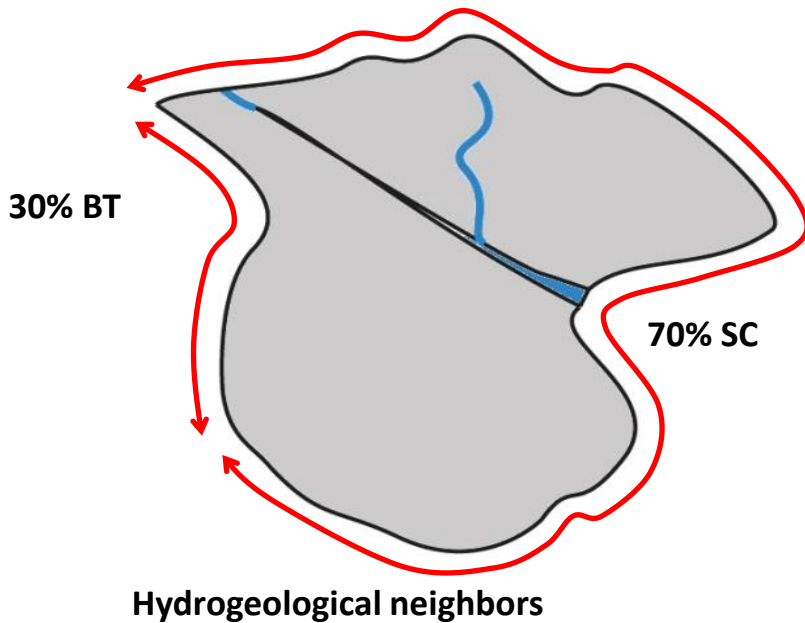
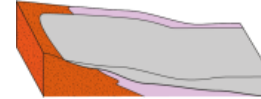
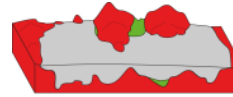
**Alternative:** Développement d'une **approche quantitative** permettant de représenter la position des complexes tourbeux au sein de l'environnement hydrogéologique **sans avoir à définir des classes arbitraires**

**Hypothèse 1:** Les complexes tourbeux qui partagent leurs limites avec des **unités géologiques voisines** similaires, qui occupent une position similaire au sein du **réseau hydrographique** et qui ont des **caractéristiques géomorphologiques** (p. ex.: altitude, superficie, pente) comparables vont effectuer des fonctions hydrogéologiques similaires

**Hypothèse 2:** L'identification de sites jugés «similaires» d'un point de vue hydrogéologique constitue un outil permettant de **généraliser des interprétations** issues de données terrain ou de modélisations conduites à l'échelle locale. Inversement, les résultats issus de l'approche graphique pourraient permettre de cibler les sites représentatifs pour l'acquisition de données terrain

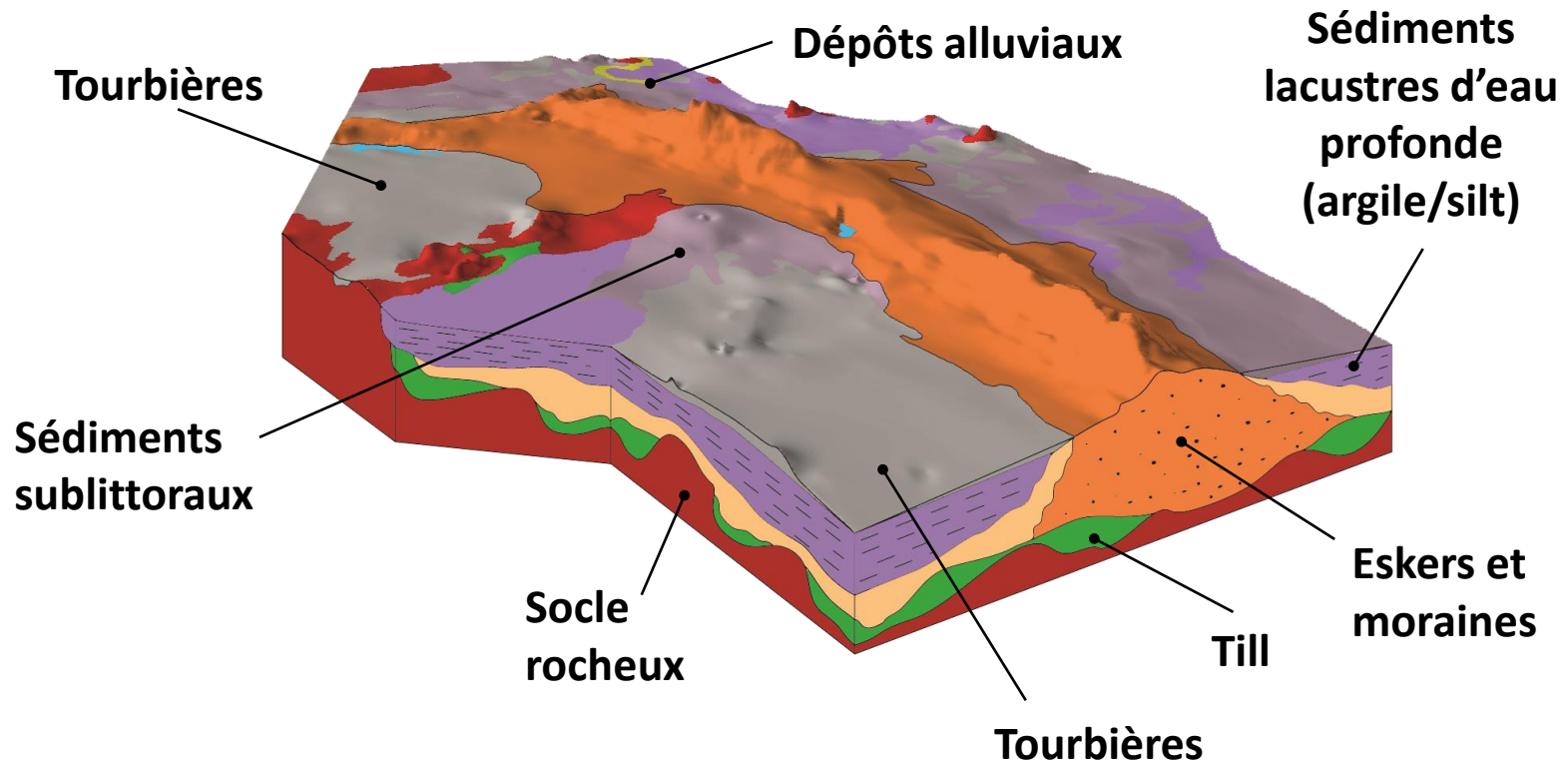
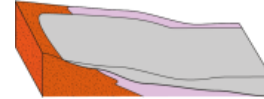
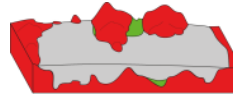
# 3. Développement d'une approche graphique

Évaluation du contact entre les tourbières et les unités géologiques périphériques



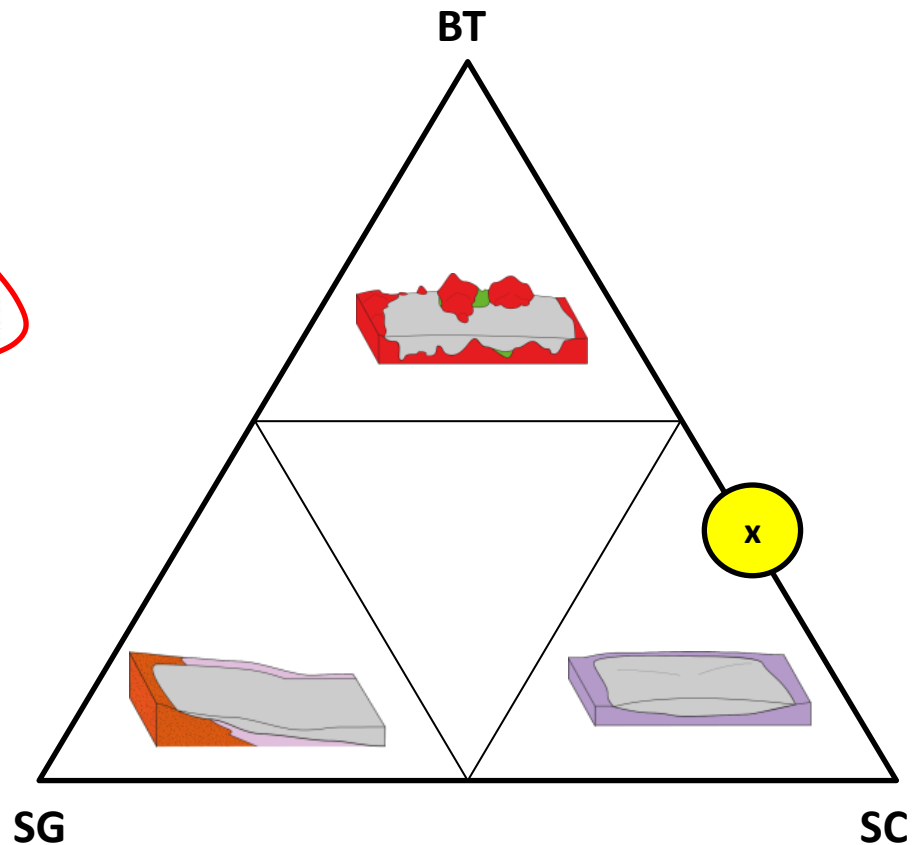
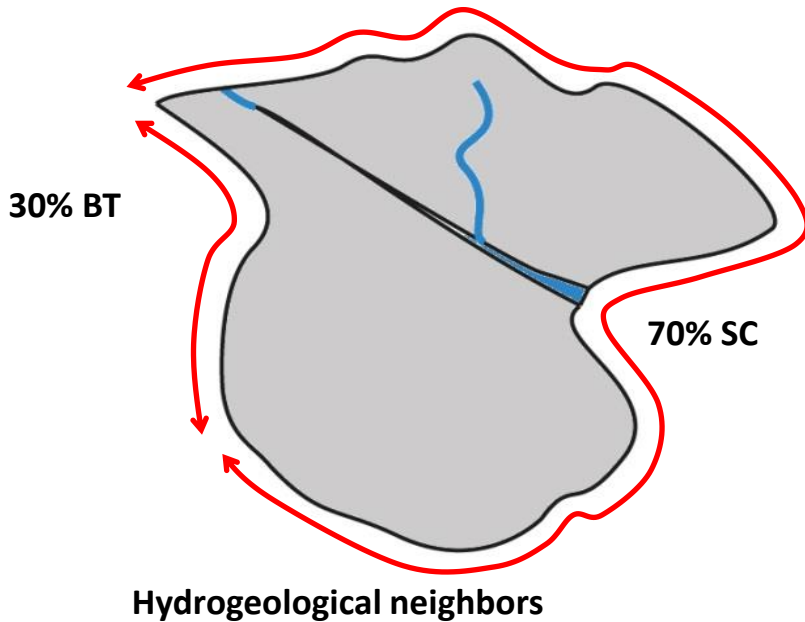
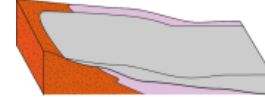
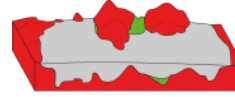
# 3. Développement d'une approche graphique

Évaluation du contact entre les tourbières et les unités géologiques périphériques

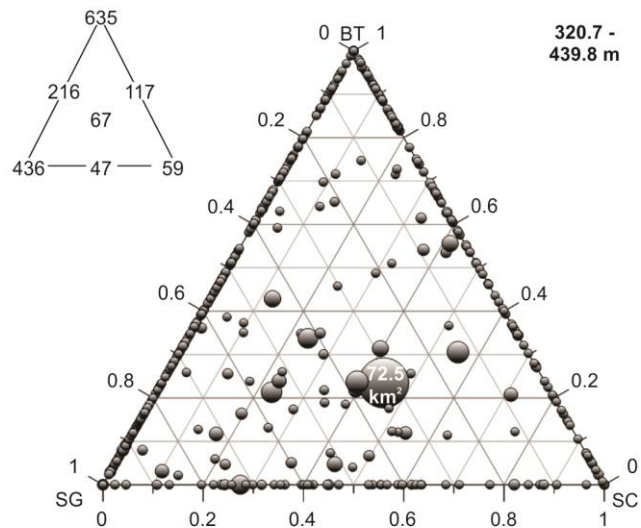
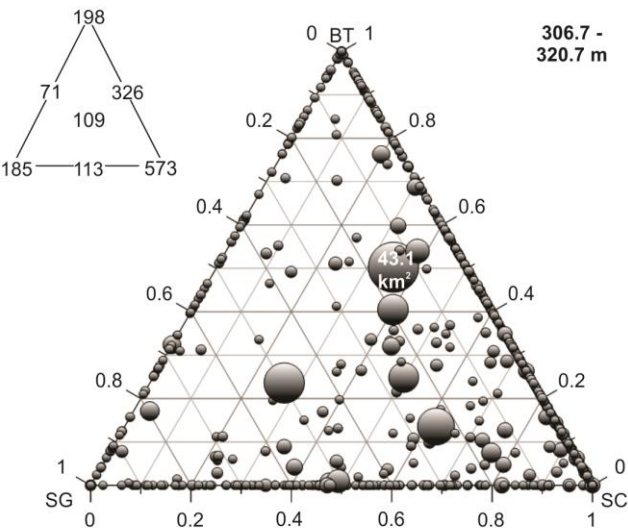
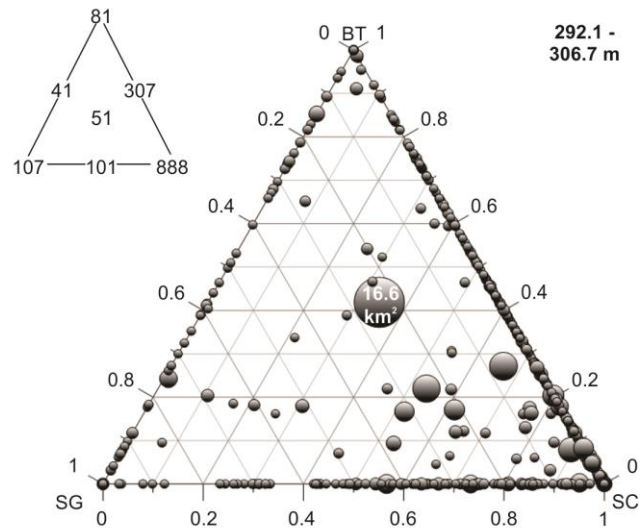
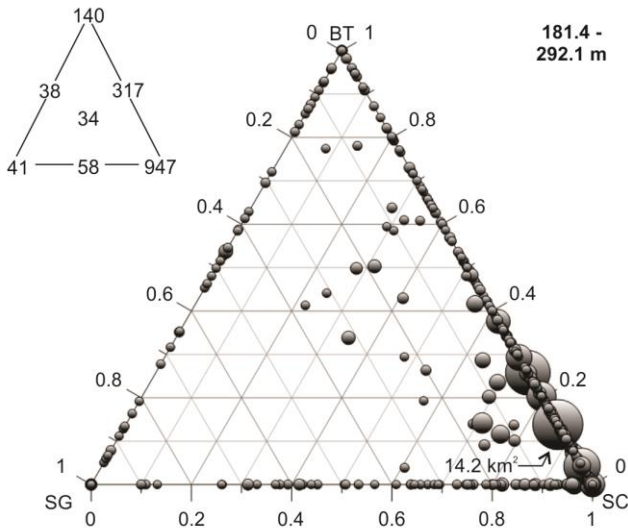


# 3. Développement d'une approche graphique

Évaluation du contact entre les tourbières et les unités géologiques périphériques



# 3. Développement d'une approche graphique



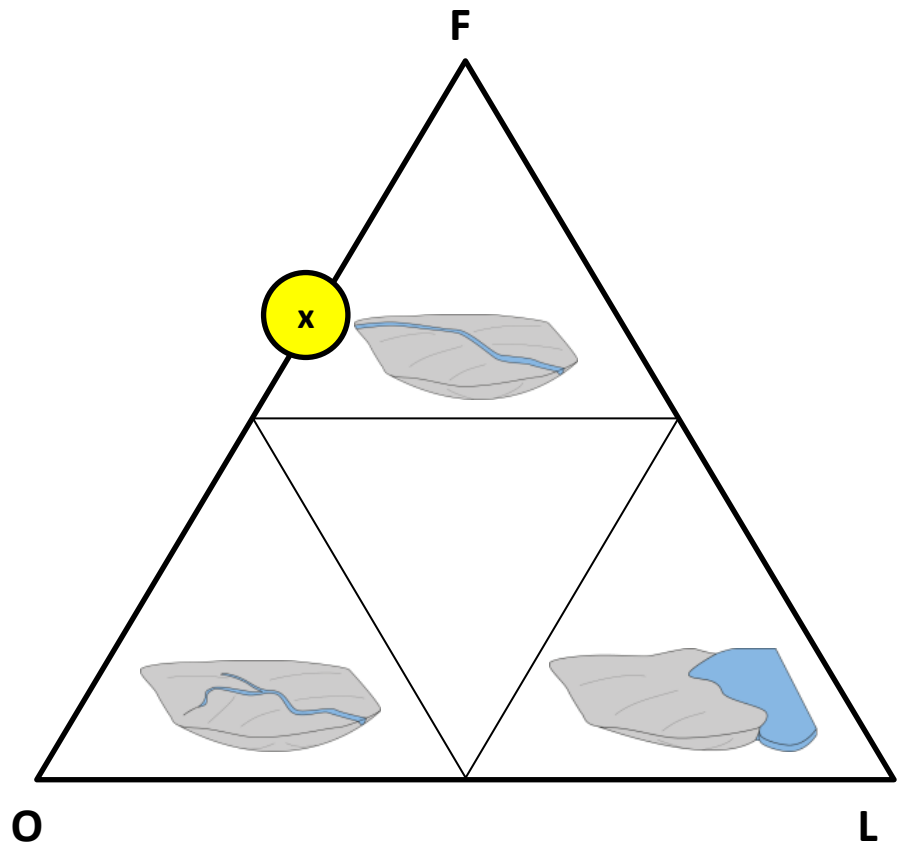
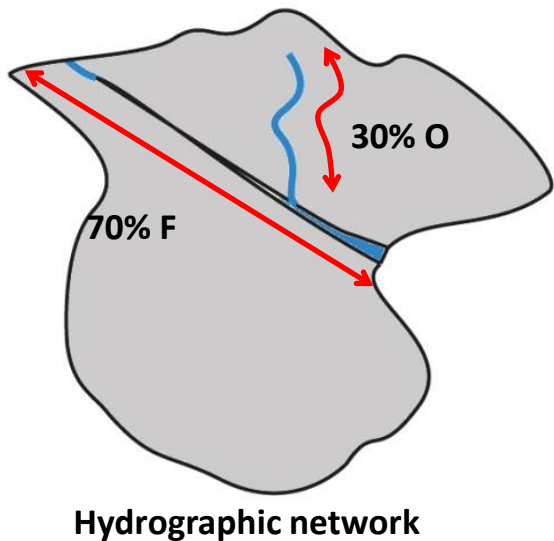
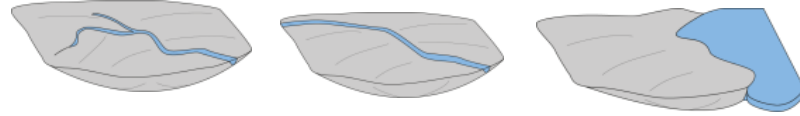
## Contact avec les unités géologiques périphériques:

- Diminution (en nombre et en proportion) des tourbières sur argile avec une augmentation de l'altitude
- Augmentation (en nombre et en proportion) des tourbières sur roc et sable avec une augmentation de l'altitude
- Complexes les plus vastes: dans la portion intermédiaire des triangles



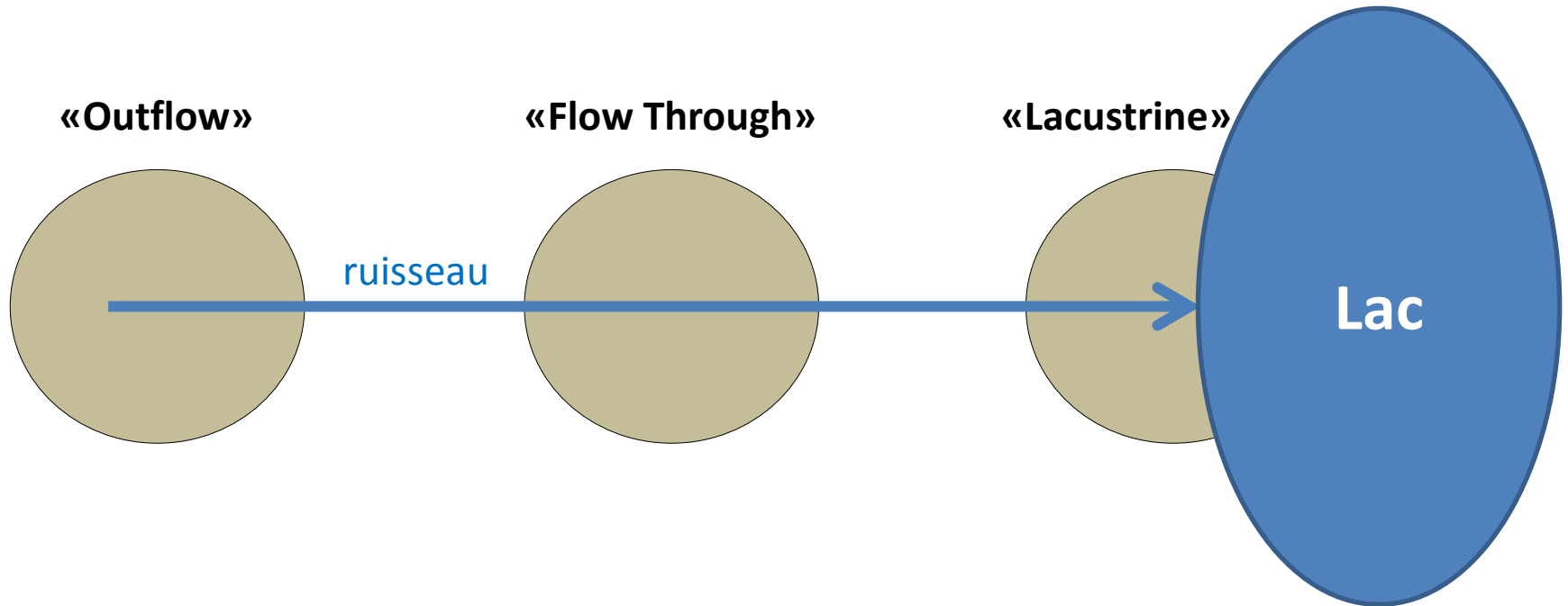
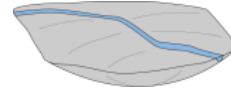
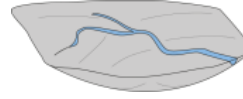
# 3. Développement d'une approche graphique

Évaluation de la position au sein du réseau hydrographique



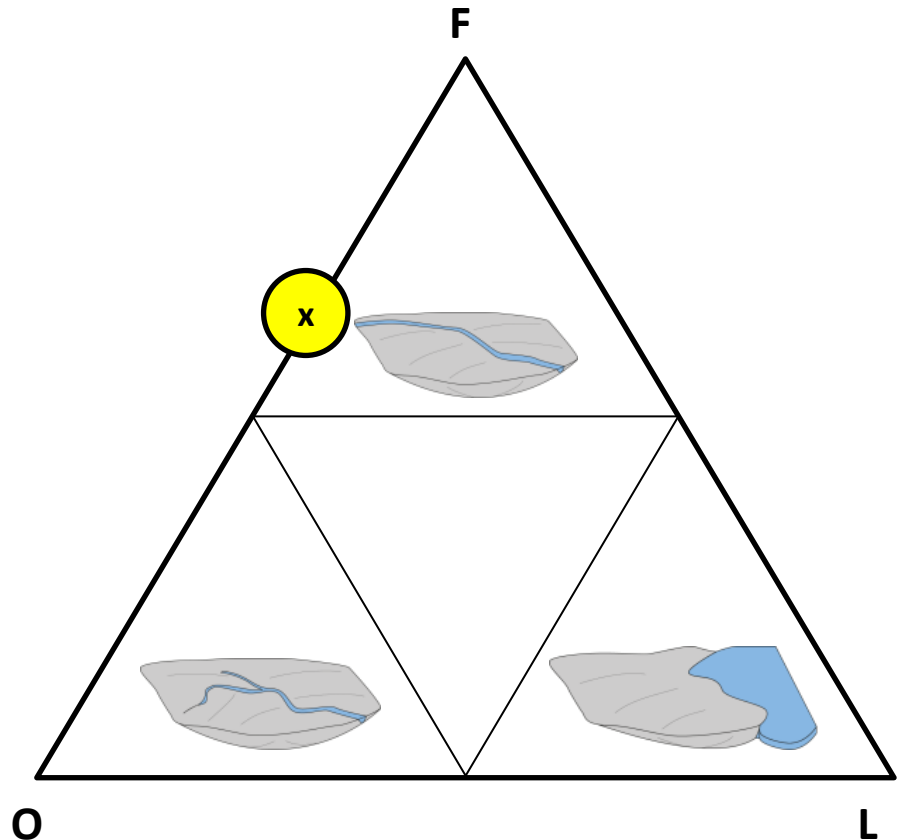
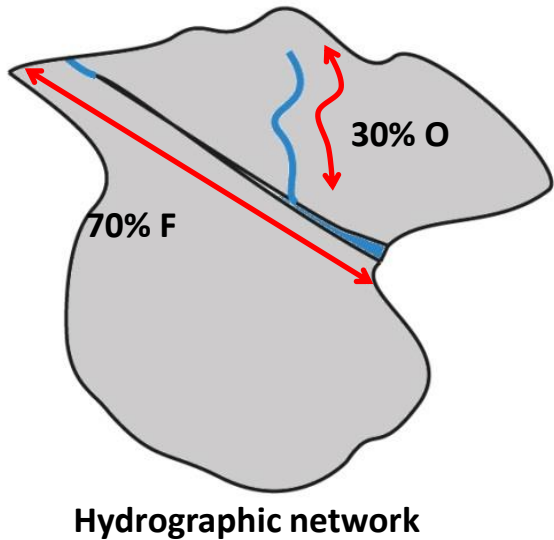
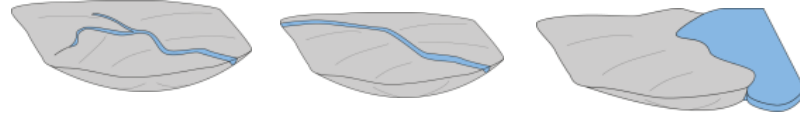
# 3. Développement d'une approche graphique

Évaluation de la position au sein du réseau hydrographique

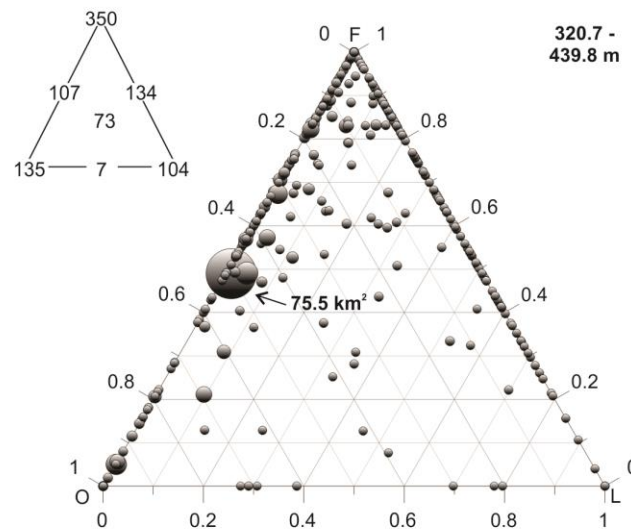
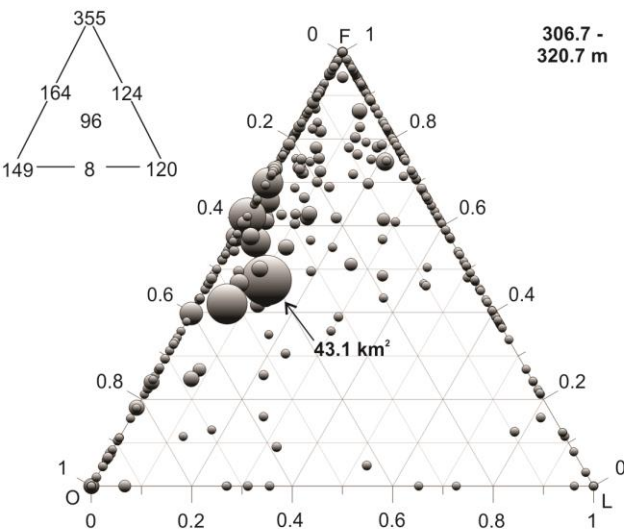
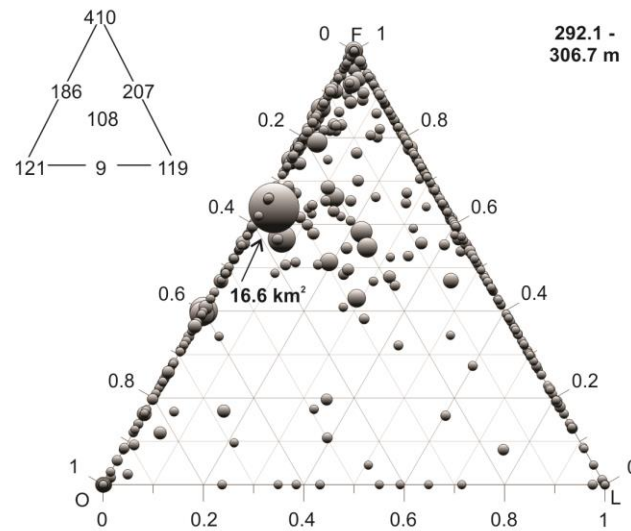
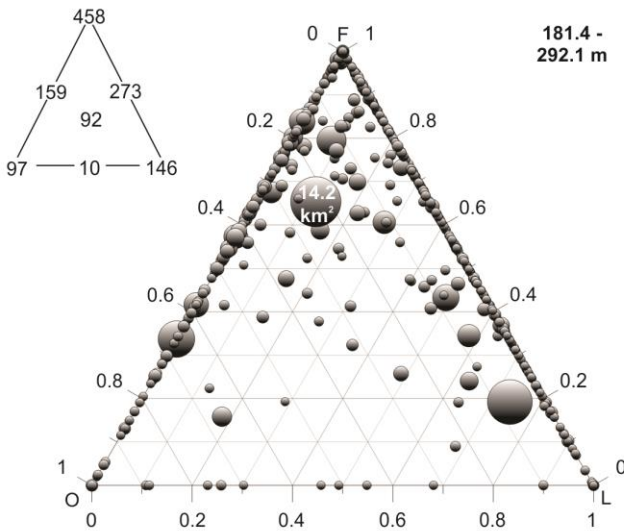


# 3. Développement d'une approche graphique

Évaluation de la position au sein du réseau hydrographique



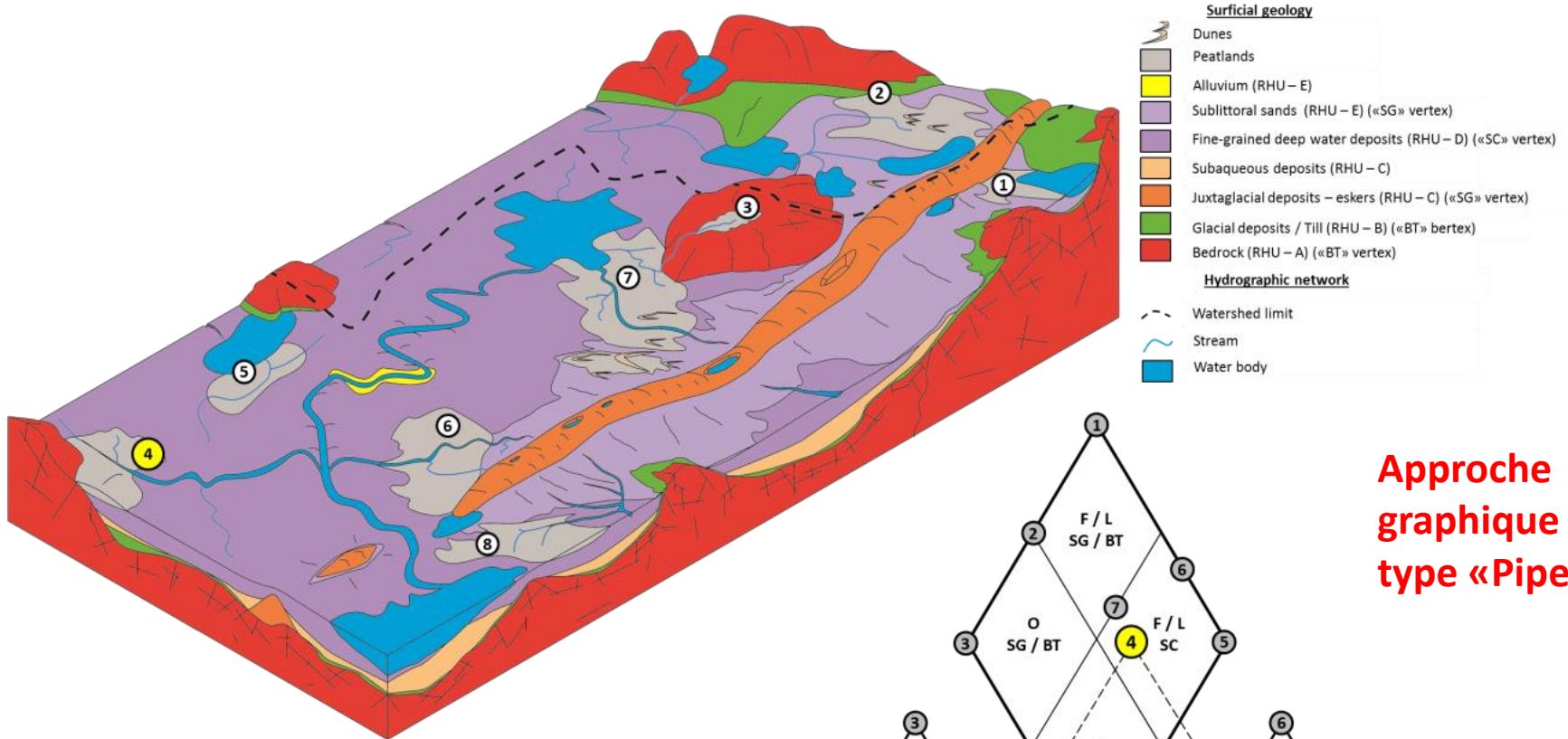
# 3. Développement d'une approche graphique



## Position au sein du réseau hydrographique:

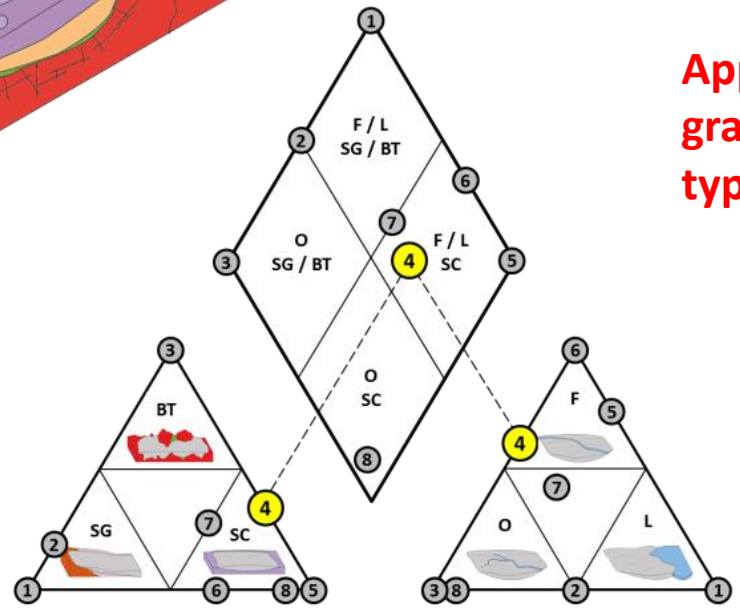
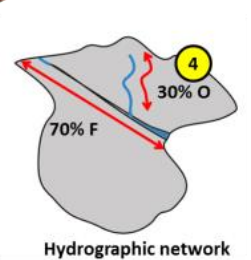
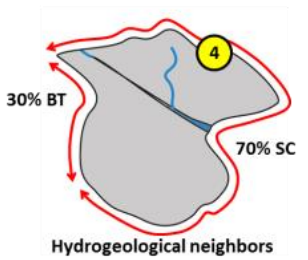
- Diminution (en nombre et en proportion) des tourbières «Lacustrine» et «Flow through» avec une augmentation de l'altitude
- Augmentation (en nombre et en proportion) des tourbières «outflow» avec une augmentation de l'altitude
- Complexes les plus vastes: dans la portion intermédiaire des triangles

# 3. Développement d'une approche graphique

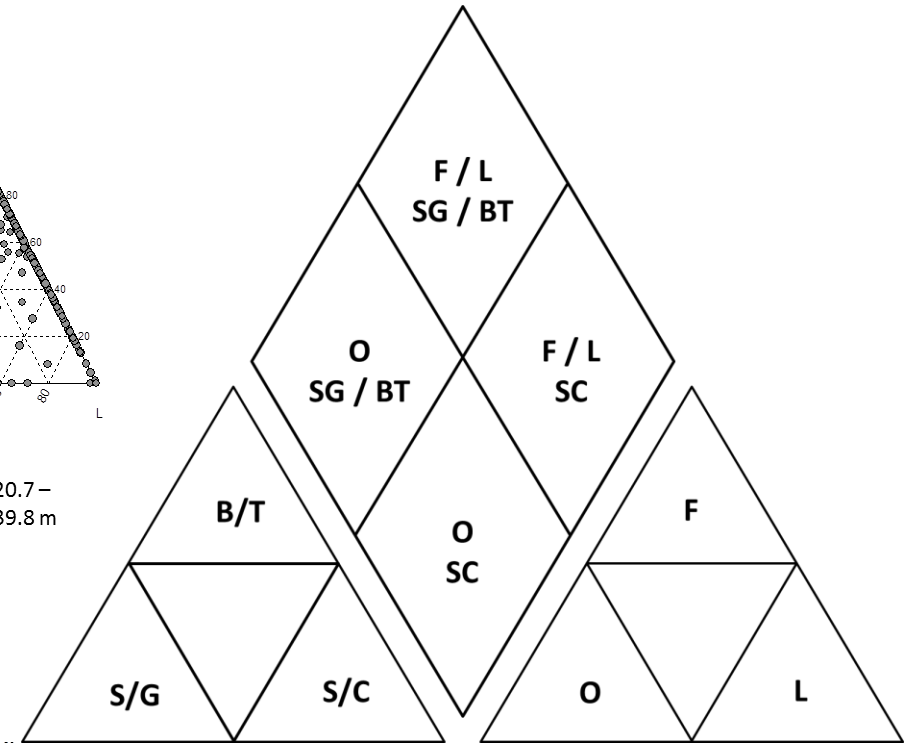
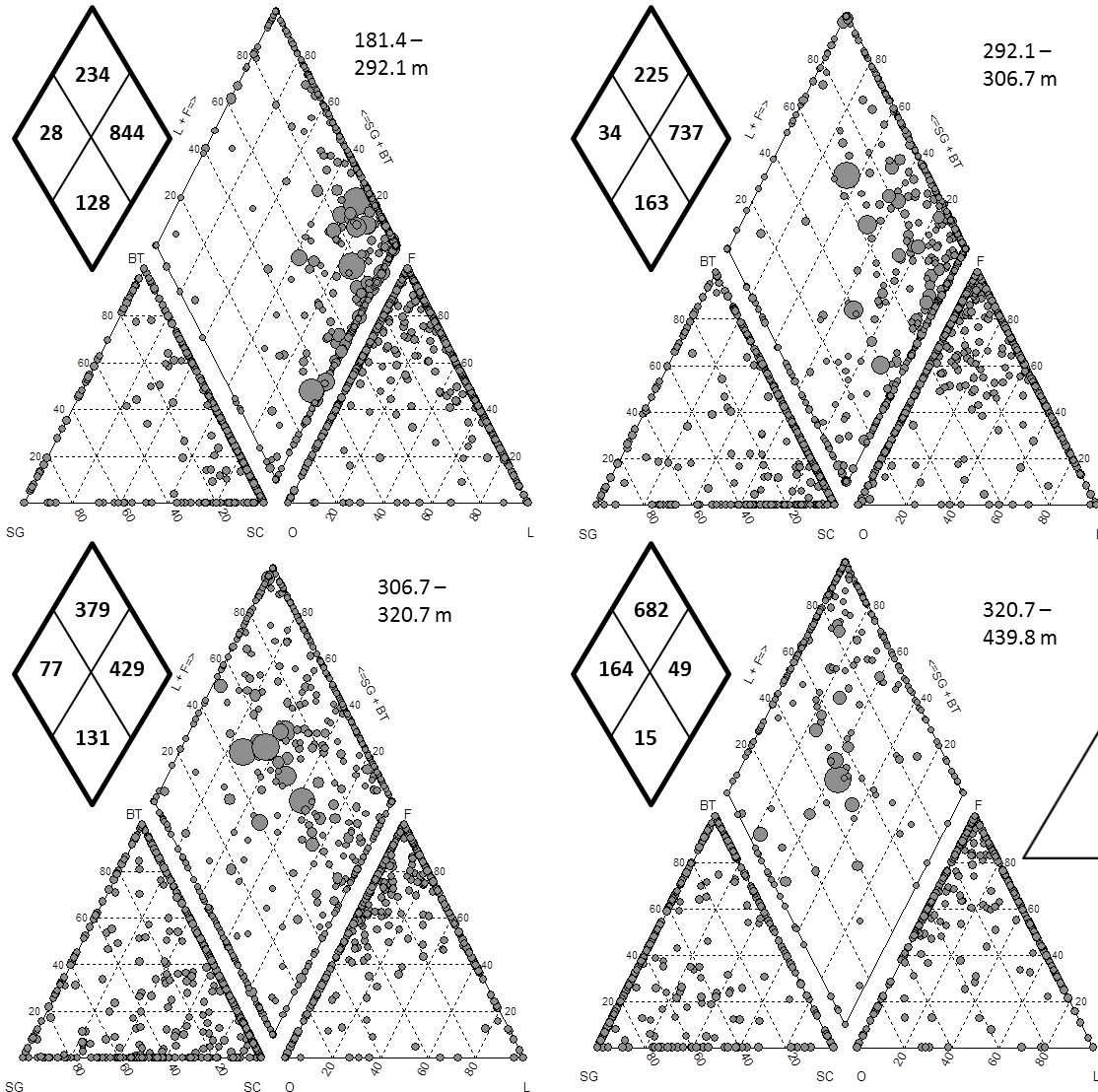


- Surficial geology**
- Dunes
  - Peatlands
  - Alluvium (RHU - E)
  - Sublittoral sands (RHU - E) («SG» vertex)
  - Fine-grained deep water deposits (RHU - D) («SC» vertex)
  - Subaqueous deposits (RHU - C)
  - Juxtaglacial deposits - eskers (RHU - C) («SG» vertex)
  - Glacial deposits / Till (RHU - B) («BT» vertex)
  - Bedrock (RHU - A) («BT» vertex)
- Hydrographic network**
- Watershed limit
  - Stream
  - Water body

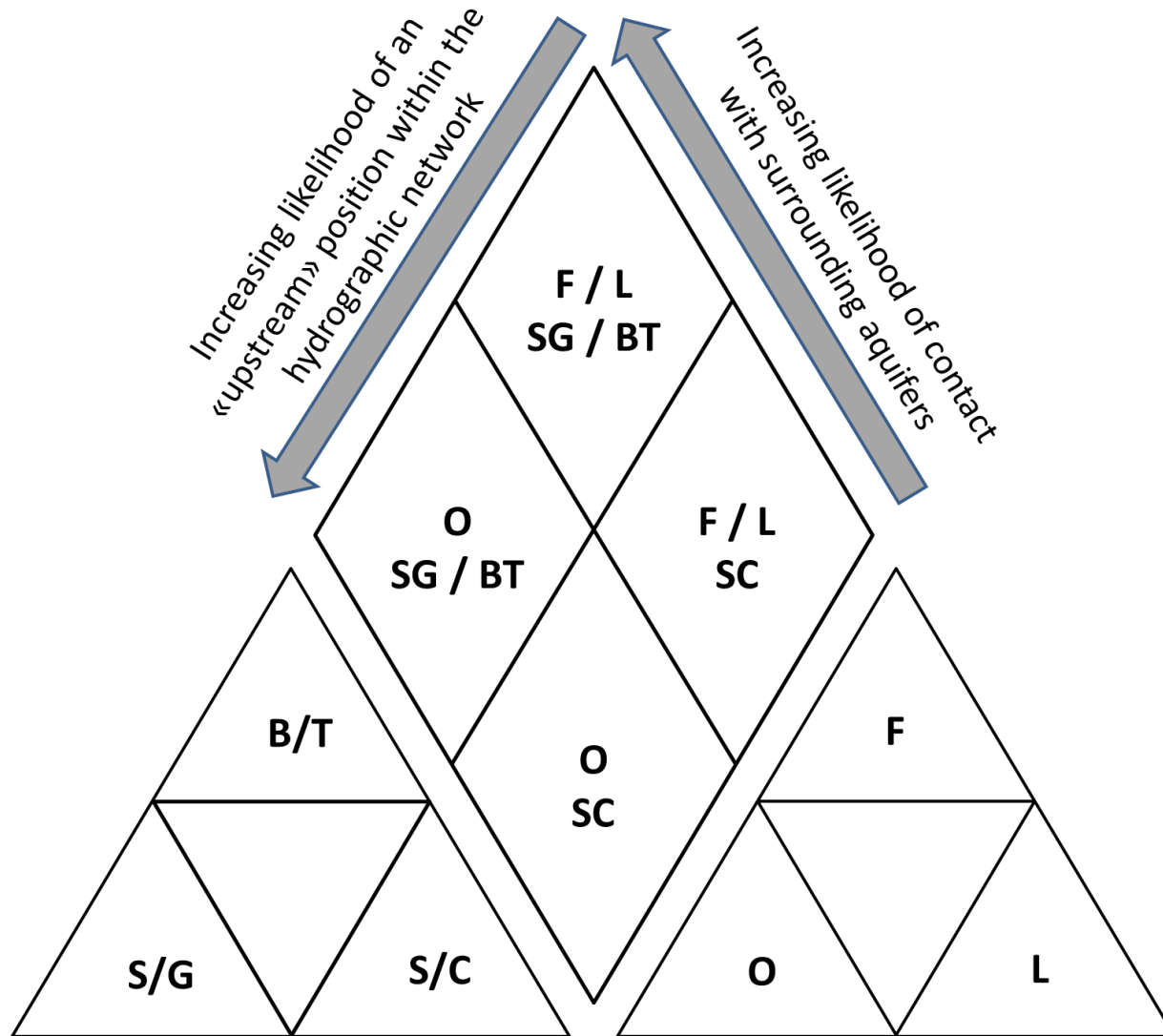
**Approche graphique de type «Piper»**



# 3. Développement d'une approche graphique



# 3. Développement d'une approche graphique



# 3. Développement d'une approche graphique

## Principaux avantages de l'approche:

- **Méthodologie simple à adapter et largement applicable**
- **Complément aux approches de classification préexistantes**
- **Représentation continue de l'environnement hydrogéologique**
- **Possibilité de représenter conjointement jusqu'à 8 caractéristiques**

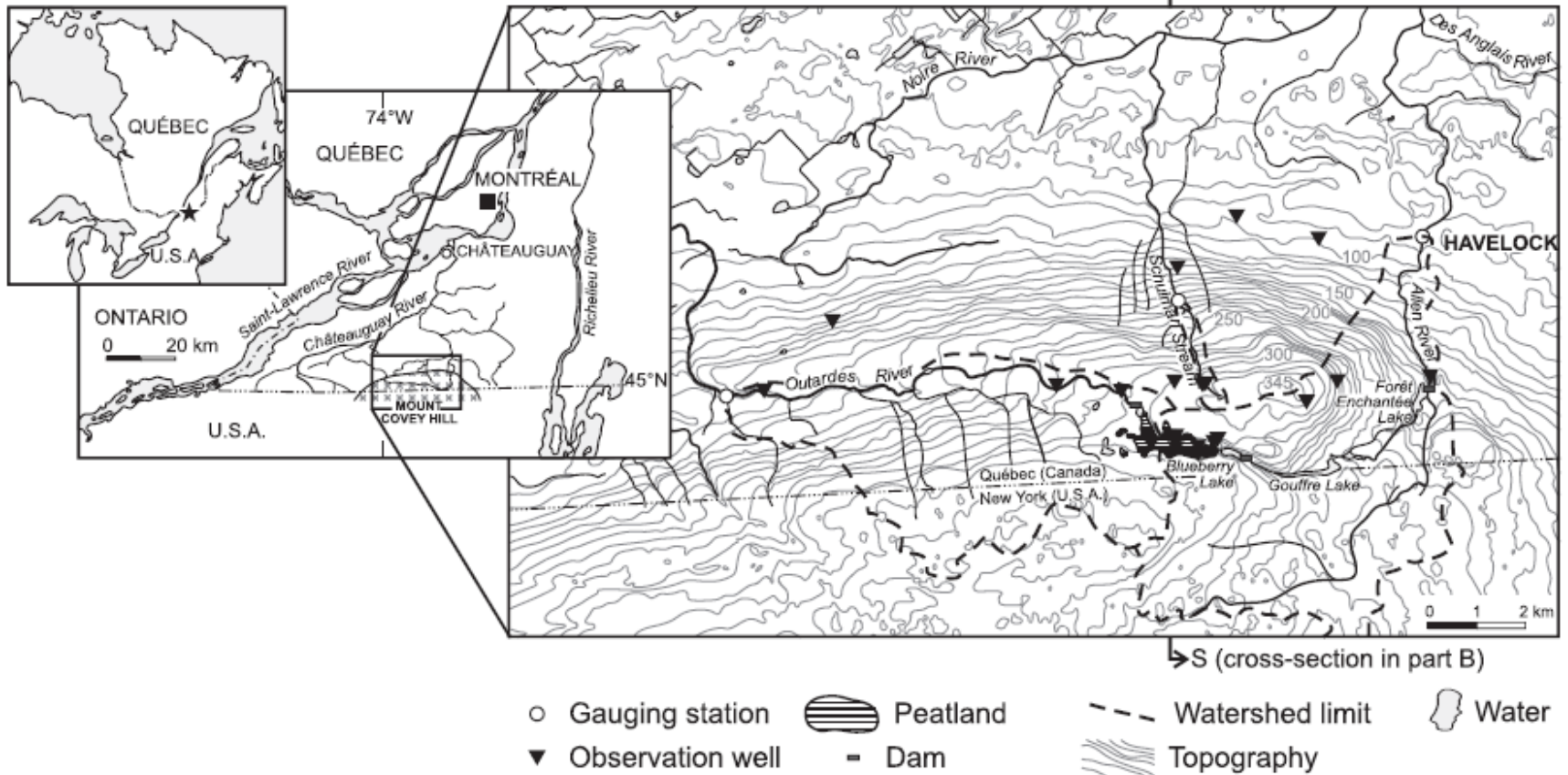
## Principales limites de l'approche:

- **La qualité des représentations graphiques est fonction de la qualité des données exploitées pour les calculs**
- **L'approche ne permet pas une évaluation des flux (seulement une évaluation des contacts)**
- **L'approche ne permet pas une évaluation des matériaux sous-jacents aux dépôts tourbeux**



# 4. Ouvertures et pistes de réflexion

Modélisation numérique: exemple de la tourbière de Covey Hill (**Levison et al., 2014**)



## 4. Ouvertures et pistes de réflexion

Modélisation numérique: exemple de la tourbière de Covey Hill (**Levison et al., 2014**)

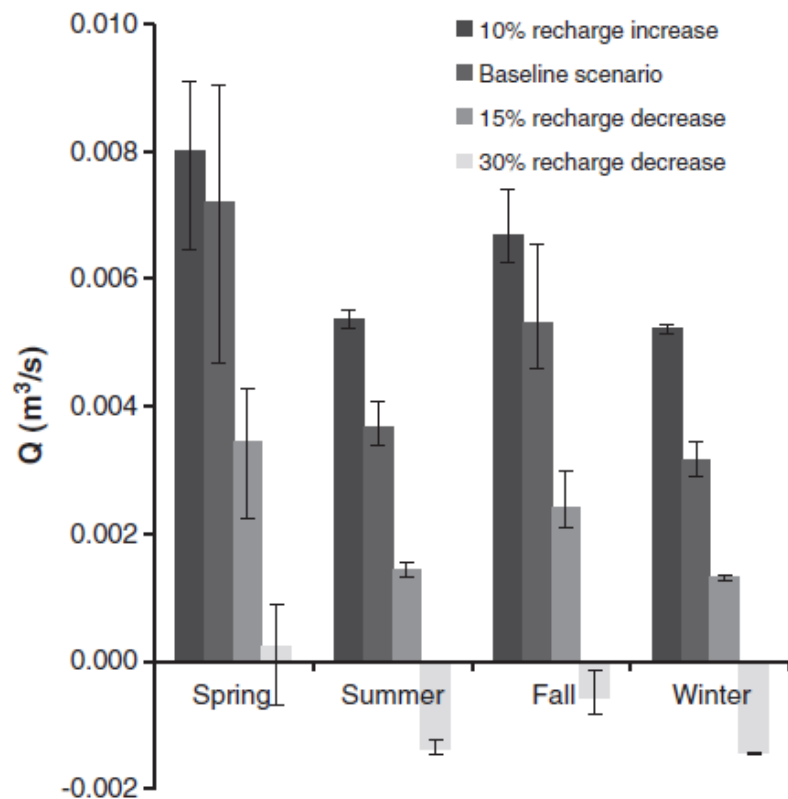


Figure 10. Simulated aquifer to peatland flows for the recharge scenarios (error bars represent the interannual variability over the four simulated years)

# 4. Ouvertures et pistes de réflexion

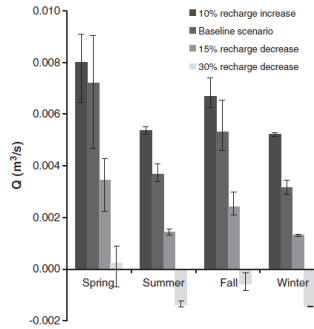
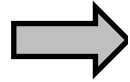
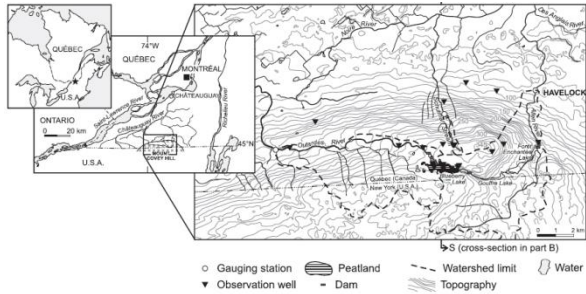
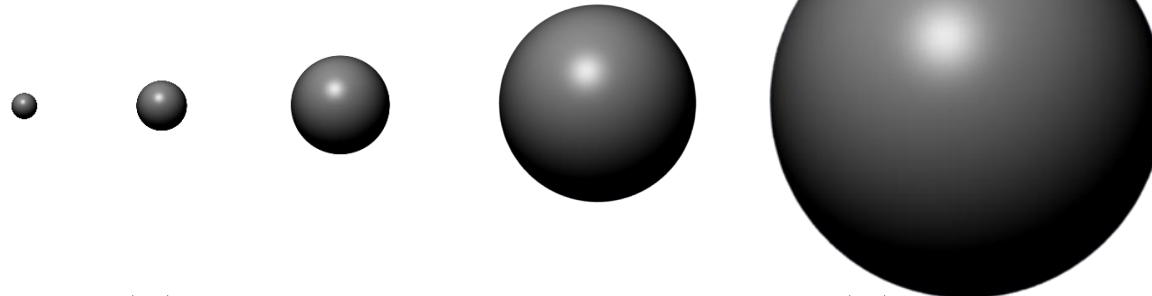
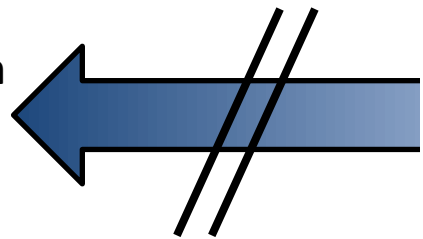


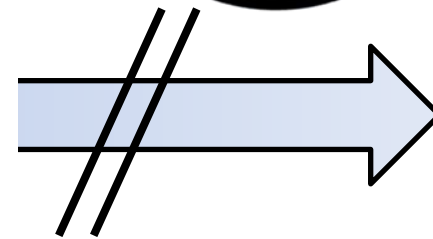
Figure 10. Simulated aquifer to peatland flows for the recharge scenarios (error bars represent the interannual variability over the four simulated years)



Donnée terrain  
( $10^{-6}$  km<sup>2</sup>)



Modélisation  
hydrogéologique  
locale/régionale  
(km<sup>2</sup> – 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>)



Grands bassins  
versants  
( $>10^5$  km<sup>2</sup>)

# 4. Ouvertures et pistes de réflexion

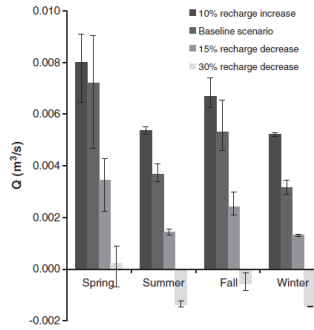
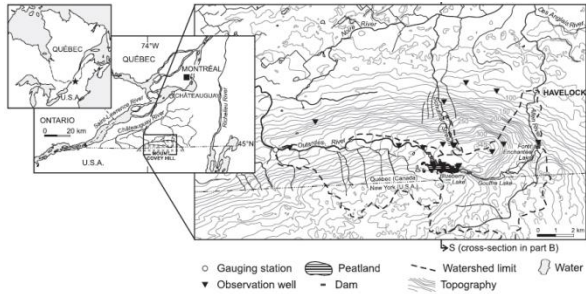
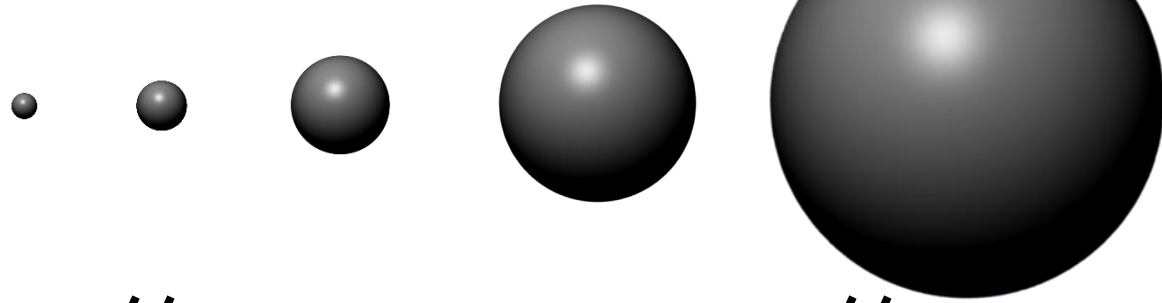
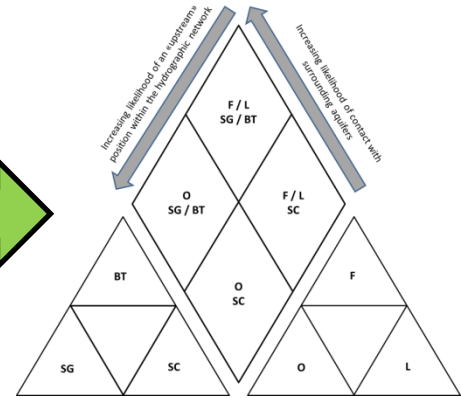
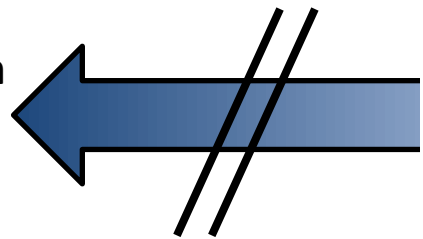


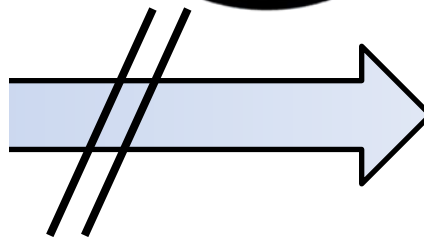
Figure 10. Simulated aquifer to peatland flows for the recharge scenarios (error bars represent the interannual variability over the four simulated years)



Donnée terrain  
( $10^{-6}$  km<sup>2</sup>)



Modélisation  
hydrogéologique  
locale/régionale  
(km<sup>2</sup> – 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>)



Grands bassins  
versants  
( $>10^5$  km<sup>2</sup>)

# 4. Ouvertures et pistes de réflexion

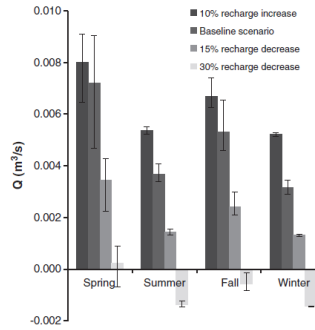
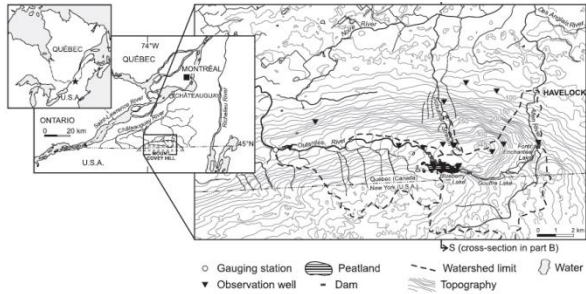
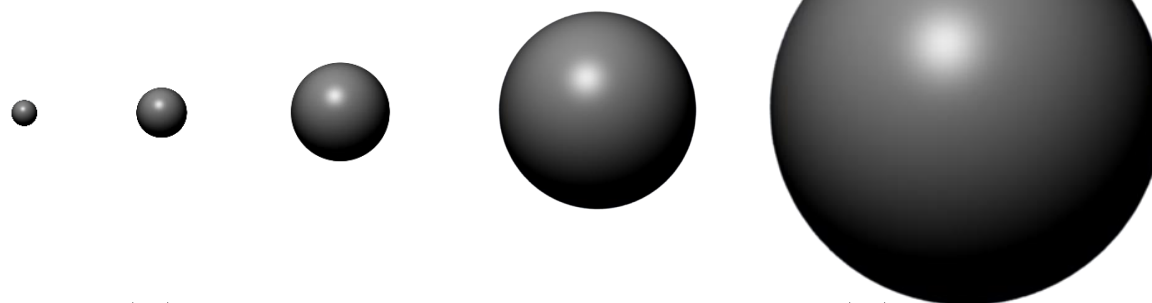
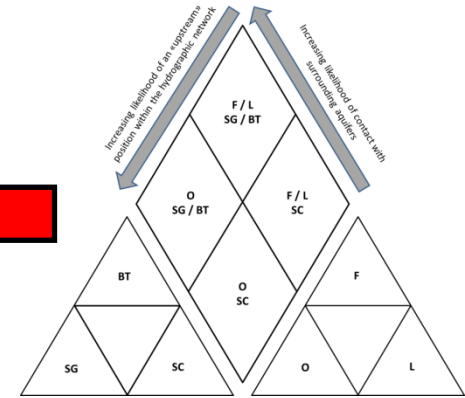
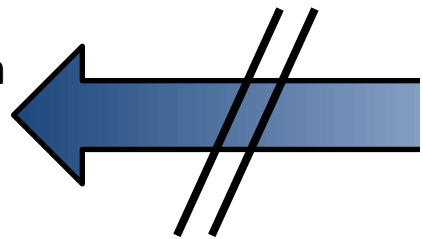


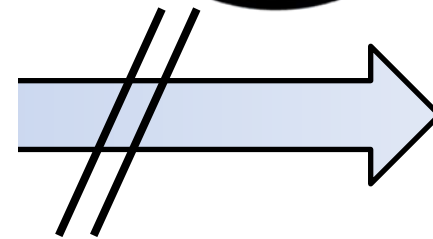
Figure 10. Simulated aquifer to peatland flows for the recharge scenarios (error bars represent the interannual variability over the four simulated years)



Donnée terrain  
( $10^{-6}$  km<sup>2</sup>)



Modélisation  
hydrogéologique  
locale/régionale  
(km<sup>2</sup> – 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>)



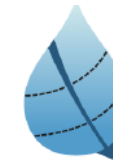
Grands bassins  
versants  
( $>10^5$  km<sup>2</sup>)

# Remerciements

## Partenaires des PACES-AT



Développement durable,  
Environnement et Lutte  
contre les changements  
climatiques



Groupe de  
Recherche  
Interuniversitaire sur les  
Eaux  
Souterraines



## Partenaires du fonds eau souterraine de la FUQAT



# Références pertinentes

- Acreman M.C., Blake J. R., Booker D. J., Harding R. J., Reynard N., Mountford J. O., Stratford C. J. 2009. A simple framework for evaluating regional wetland ecohydrological response to climate change with case studies from Great Britain. *Ecohydrology* 2:1–17.
- Baird AJ, Morris PJ, Belyea LR. 2011. The DigiBog peatland development model 1: rationale, conceptual model, and hydrological analysis. *Ecohydrology* 5: 242–255.
- Bjelm L. 1980. Geological Interpretation with subsurface interface radar in peat lands. In *Proceedings 6th International Peat Congress, Duluth, Minnesota*; 7–8.
- Brinson M. M. 1993. A hydrogeomorphic classification for wetlands. U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC, Wetlands Research Program Technical Report.
- Cloutier, V., Rosa, E., Nadeau, S., Dallaire, P.-L., Blanchette, D., et Roy, M., 2015. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 2). Rapport de recherche P002.R3. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 313 p., 15 annexes, 24 cartes thématiques (1:100 000).
- Clymo R. S. 1983. Peat. In *Ecosystems of the world 4A. Mires: swamp, bog, fen and moor* (ed. A. J. P. Gore), pp. 159–224. Amsterdam: Elsevier.
- Comas X., Slater L., Reeve A. 2004. Geophysical evidence for peat basin morphology and stratigraphic controls on vegetation observed in a Northern Peatland. *Journal of Hydrology* 295: 173–184.
- Comas X., Slater L., Reeve A. 2005. Stratigraphic controls on pool formation in a domed bog inferred from ground penetrating radar (GPR). *Journal of Hydrology* 315: 40–51.
- Comas X., Slater L., Reeve A. 2011. Pool patterning in a northern peatland: Geophysical evidence for the role of postglacial landforms. *Journal of Hydrology* 399: 173–184.
- Comas, X., Terry, N., Slater, L., Warren, M., Kolka, R., Kristijono, A., Sudiana, N., Nurjaman, D. and Darusman, T. 2015. Imaging tropical peatlands in Indonesia using ground penetrating radar (GPR) and electrical resistivity imaging (ERI): implications for carbon stock estimates and peat soil characterization. *Biogeosciences Discussions*. 12: 191- 229.

# Références pertinentes

Hilbert, D. W., Roulet, N. & Moore, T. 2000 Modelling and analysis of peatlands as dynamical systems. *J. Ecol.* 88: 230–242.

Holden J., Burt T.P. 2002. Piping and pipeflow in a deep peat catchment. *Catena* 48: 163-199.

Holden J., Burt T. P. 2003a. Runoff production in blanket peat covered catchments. *Water Resour. Res.* 39, 1191.

Holden J., Burt T. P. 2003b. Hydraulic conductivity in upland blanket peat: measurement and variability. *Hydrol. Process.* 17: 1227–1237.

Holden J. 2004. Hydrological connectivity of soil pipes determined by ground-penetrating radar tracer detection. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 437–442.

Holden J. 2005. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Phil. Trans. R. Soc. A* 363: 2891–2913.

Ingram H. A. P. 1983. Hydrology. In *Ecosystems of the world 4A. Mires: swamp, bog, fen and moor* (ed. A. J. P. Gore), pp. 67–158. Amsterdam: Elsevier.

Ise T., Dunn A.L., Wofsy S.C., Moorcroft P.R. 2008. High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback. *Nature Geoscience* 1, pp. 763 – 766.

Jutras S., Rousseau A.N., Clerc C. 2009. Implementation of a Peatland-Specific Water Budget Algorithm in HYDROTEL. *Canadian Water Resources Journal* 34 (4): 349-364.

Kettridge N., Comas X., Baird A., Slater L., Strack M., Thompson D., Jol H., Binley A. 2008. Ecohydrologically important subsurface structures in peatlands revealed by ground-penetrating radar and complex conductivity surveys. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 113 (4) Article number G04030.

Lapen D. R., Price J. S., Gilbert R. 2005. Modelling two-dimensional steady-state groundwater flow and flow sensitivity to boundary condition in blanket peat complexes. *Hydrological Processes* 19: 371–386.

Levison J., Larocque M., Fournier V., Gagné, S., Pellerin S., Ouellet M.A. 2014. Dynamics of a headwater system and peatland under current conditions and with climate change. *Hydrol. Process.* 28: 4808–4822.



# Références pertinentes

- Loisel J., Yu Z., Parkesian A. Nolan J., Slater L. 2013. Quantifying landscape morphology influence on peatland lateral expansion using ground-penetrating radar (GPR) and peat core analysis. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 118 (2): 373-384.
- Parsekian A.D., Slater L., Ntarlagiannis D., Nolan J., Sebesteyen S.D., Kolka R.K., Hanson P.J. 2012. Uncertainty in peat volume and soil carbon estimated using ground-penetrating radar and probing. *Soil Science Society of America Journal* 76 (5): 1911-1918.
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Transactions of the American Geophysical Union* 25. p. 914–923.
- Proulx-McInnis S., St-Hilaire A., Rousseau A.N., Jutras S. A review of ground-penetrating radar studies related to peatland stratigraphy with a case study on the determination of peat thickness in a northern boreal fen in Quebec, Canada. *Progress in Physical Geography* 37 (6): 767-786.
- Quinton W. L., Roulet N. T. 1998. Spring and Summer Runoff Hydrology of a Subarctic Patterned Wetland. *Arctic and Alpine Research* 30 (3): 285-294.
- Reeve A. S., Warzocha J., Glaser P. H., Siegel D. I. 2001. Regional ground-water flow modeling of the Glacial Lake Agassiz Peatlands, Minnesota. *Journal of Hydrology* 243: 91–100.
- Reeve A. S., Evensen R., Glaser P. H., Siegel D. I., Rosenberry D. 2006. Flow path oscillations in transient ground-water simulations of large peatland systems. *Journal of Hydrology* 316: 313–324.
- Richardson M., Ketcheson S., Whittington P., Price J. 2012. The influences of catchment geomorphology and scale on runoff generation in a northern peatland complex. *Hydrological Processes* 26:1805-1817.
- Rosa E., Larocque M. 2008. Investigating peat hydrological properties using field and laboratory methods: application to the Lanoraie peatland complex (southern Quebec, Canada). *Hydrol. Process.* 22: 1866–1875.
- Rossi P. M., Ala-aho P., Ronkanen A.-K., Klove B. 2012. Groundwater–surface water interaction between an esker aquifer and a drained fen. *Journal of Hydrology* 432–433, pp. 52-60.
- Roulet N.T., Woo M. K. 1986. Hydrology of a wetland in the continuous permafrost region. *Journal of Hydrology* 89: 73-91.

# Références pertinentes

- Roulet N.T., Woo M. K. 1988. Runoff generation in a low arctic drainage basin. *Journal of Hydrology* 101: 213-226.
- Shotyk W., Nesbitt H.W., Fyfe W.S. 1992. Natural and anthropogenic enrichments of trace metals in peat profiles. *International Journal of Coal Geology*, 20 (1-2), pp. 49-84.
- Slater L. D., Reeve A. 2002. Investigating peatland stratigraphy and hydrogeology using integrated electrical geophysics. *Geophysics* 67: 365-378.
- Spence C., Guan X. J., Phillips R. 2011. The Hydrological Functions of a Boreal Wetland. *Wetlands* 31: 75-85.
- Tarnocai C., Kettles I.M., Lacelle B., 2011. Peatlands of Canada; Geological Survey of Canada, Open File 6561; CD-ROM. doi:10.495/288786
- Van Bellen S., Dallaire P.L., Garneau M., Bergeron Y. 2011. Quantifying spatial and temporal Holocene carbon accumulation in ombrotrophic peatlands of the Eastmain region, Quebec, Canada. *Global Biogeochemical Cycles* 25 (2) GB2016.
- Warner B.G., Asada T. 2006. Biological diversity of peatlands in Canada. *Aquatic Sciences* 68: 240-253.
- Zanatta R., Carey S. K., Richardson M. 2013. The influence of hyporheic exchange on reach-scale water budgets in a Precambrian Shield catchment, Quebec, Canada. *Hydrological Processes* 27: 1890-1900.