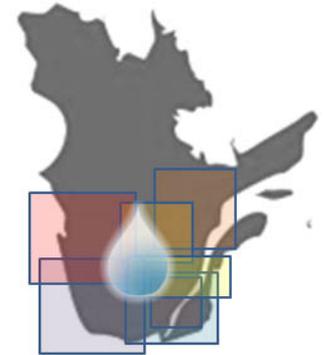


# Impact du PACES sur la connaissance des ressources en eau souterraine au Québec



*Vincent Cloutier (UQAT), Thomas Buffin-Bélangier (UQAR),  
Stéphane Campeau (UQTR), Gwenaëlle Chaillou (UQAR),  
Réal Daigneault (UQAC), Sarah Dorner (Polytechnique Montréal),  
Marie Larocque (UQAM), René Lefebvre (INRS-ETE),  
Jean-Michel Lemieux (Université Laval), John Molson (Université Laval),  
Alain Rouleau (UQAC) et René Therrien (Université Laval)*

## Colloque 207

**Des projets d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines  
à la gestion intégrée de l'eau**



Groupe de Recherche Interuniversitaire  
sur les Eaux Souterraines



Réseau Québécois sur  
les Eaux Souterraines

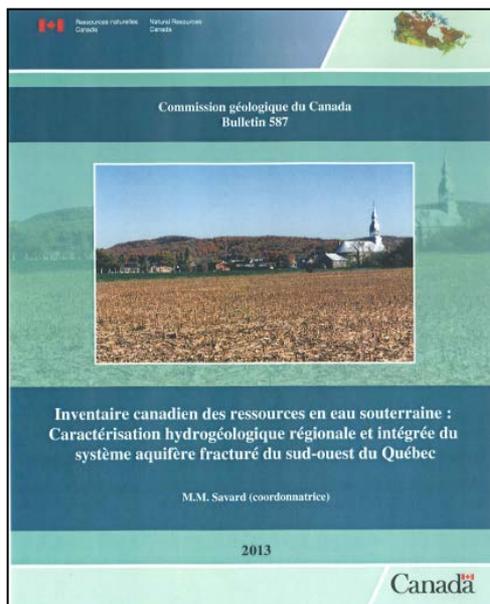
# Projets régionaux pré-PACES

- Projets CGC-MDDEP-INRS et programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec:
  - Cadre méthodologique du PACES
  - Défi d'assurer le transfert

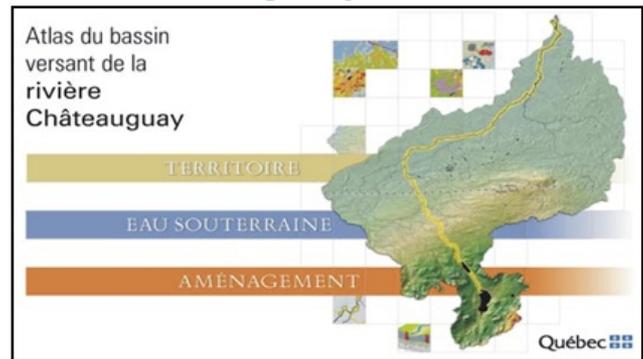
## 1. Portneuf



## 2. Basses-Laurentides



## 3. Châteauguay

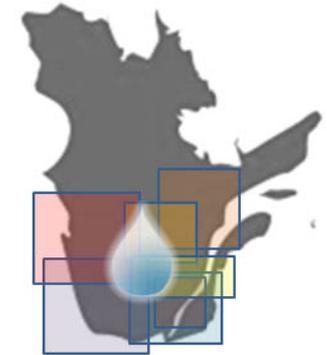


## 4. Chaudière

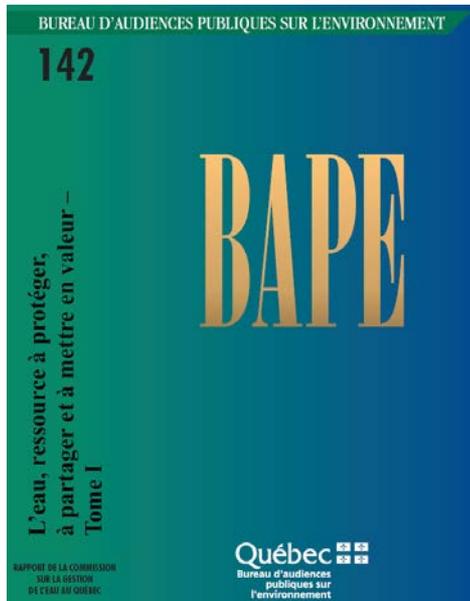


1. [http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/aquiferes/guide\\_granulaires.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/aquiferes/guide_granulaires.pdf)
2. [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2013/rncan-nrcan/M42-587-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/rncan-nrcan/M42-587-fra.pdf)
3. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/atlas/chateauguay/index.htm#tm>
4. <http://cobaric.qc.ca/projets/projets-realises/projet-eaux-souterraines-chaudiere>

# Quelques étapes-clés



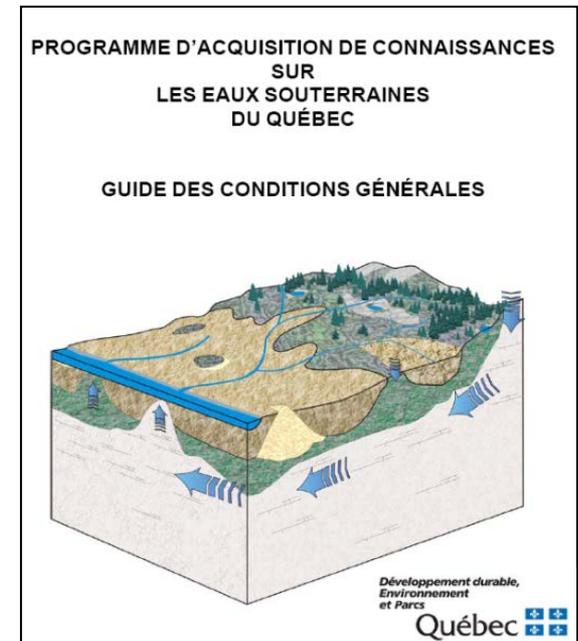
## 1. Rapport du BAPE (2000) sur la *Gestion de l'eau au Québec*



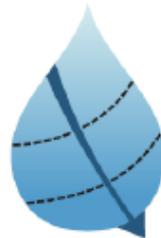
## 2. Politique nationale de l'eau (2002)



## 3. PACES (2008)



## 4. GRIES (2009)



Groupe de  
Recherche  
Interuniversitaire sur les  
Eaux  
Souterraines

1. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/publications/eau-chapitres.htm>
2. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/>
3. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/acquisition-connaissance.htm>
4. <http://www.rqes-gries.ca/gries-a-propos.html>



# Description générale du PACES

---

- Programme créé en 2008 par le MDDEFP
- Objectifs généraux du PACES:
  - 1) Établir le **portrait hydrogéologique** du territoire afin de générer les connaissances essentielles à la protection des ressources aquifères;
  - 2) Intégrer les **acteurs de l'eau** et les **gestionnaires du territoire** dans l'acquisition de connaissances sur l'eau souterraine dans le but d'accroître leur participation dans la mise en œuvre d'une gestion durable de cette ressource.
- Réalisés par des universités en collaboration avec des partenaires régionaux:
  - CRÉ, MRC, OBV, organismes et acteurs de l'eau

- **Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines ⇒ initié en 2009**
- **Regroupement de 11 universités (INRS-ETE, UQAC, UQAM, UQAT, UQAR, UQTR, U. Laval, ÉTS, U. McGill, U. Concordia, Polytechnique Montréal):**
  - **Concertation pour réaliser les projets PACES:**
    - ✓ **Méthodologie et protocoles**
    - ✓ **Uniformisation des livrables**
  - **Mise en commun d'équipements et de services**
  - **Formation de personnel qualifié en hydrogéologie:**
    - ✓ **Professionnels de recherche**
    - ✓ **Étudiants de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycle ⇒ codirections inter-GRIES**

# Treize projets PACES (2009-2015)

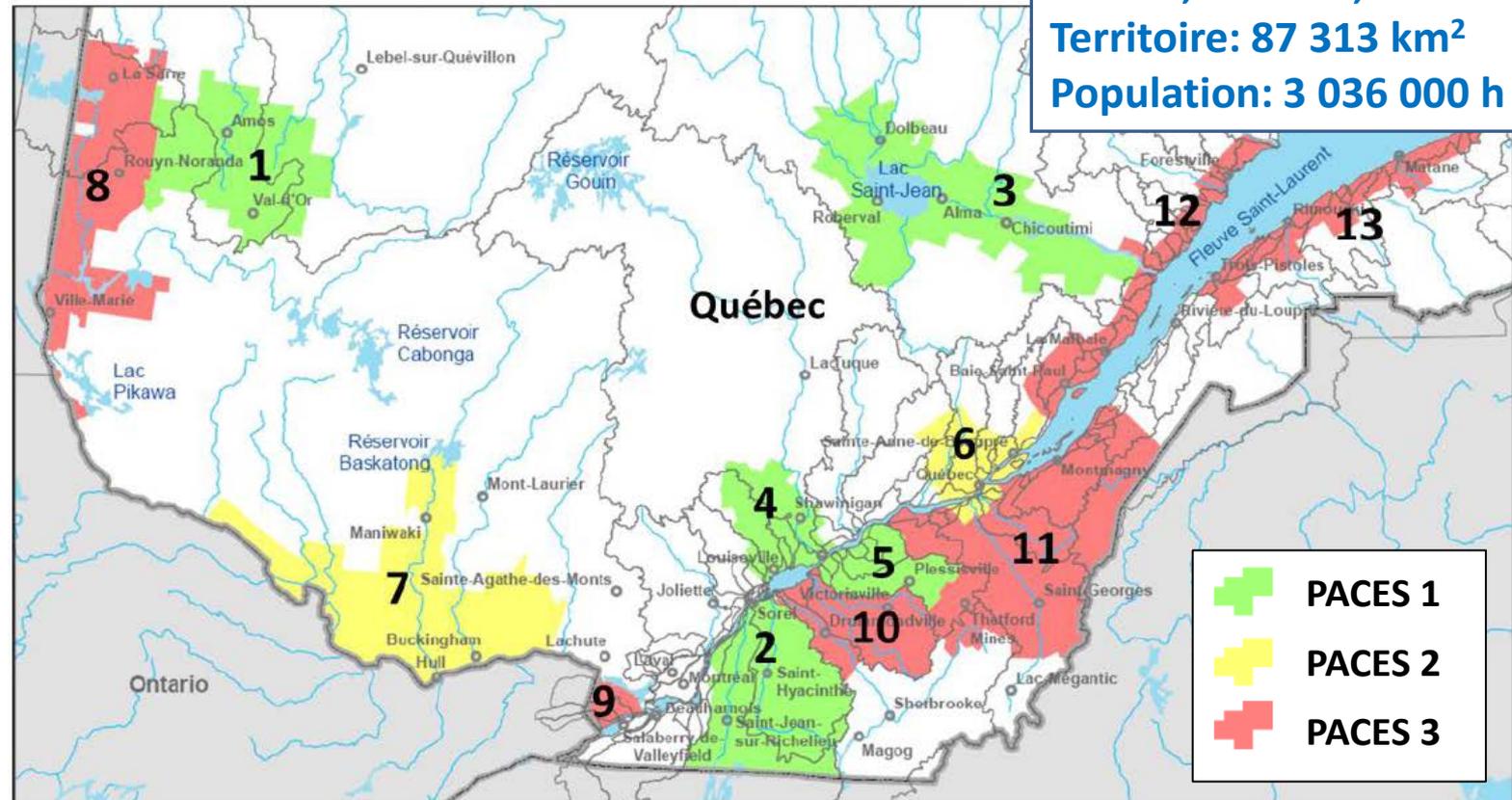
**MDDEFP: 13 M\$**

**Partenaire > 3,5 M\$**

**- 9 CRÉ, 34 MRC, > 17 OBV**

**Territoire: 87 313 km<sup>2</sup>**

**Population: 3 036 000 h**



1 : Abitibi-Témiscamingue-1 (UQAT), 2 : Montréal-Est (INRS-ETE), 3 : Saguenay-Lac-Saint-Jean (UQAC),  
4 : Mauricie (UQTR), 5 : Bécancour (UQÀM), 6 : Communauté métropolitaine de Québec (U. Laval), 7 : Outaouais (U. Laval), 8 : Abitibi-Témiscamingue-2 (UQAT), 9 : Vaudreuil-Soulanges (UQÀM), 10 : Centre-du-Québec (UQÀM),  
11 : Chaudière-Appalaches (INRS-ETE), 12 : Charlevoix/Haute-Côte-Nord (UQAC), 13 : Bas-Saint-Laurent (UQAR)

# Étapes de réalisation des projets PACES

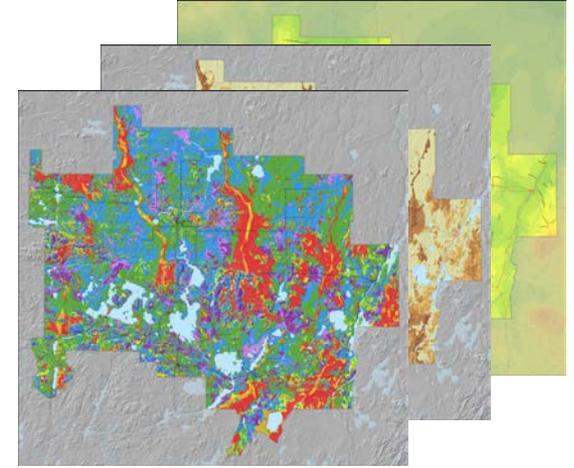
## Phase 1: Collecte des données existantes



COUPE GÉOLOGIQUE			
PROF (m)	Élév (m)	DESCRIPTION	STR
0	117.70	Surface du sol.	
0.13	117.57	Terre végétale.	
1		Argile silteuse brune; consistance raide à très raide.	
3	114.80	Till composé de sable et silt gris, traces de gravier et d'argile.	
3.53	114.17	Roche rocheux: Andésite verte.	
5	111.31	Fin du forage.	

Paramètres	Unités	
		16 mars 2010
Alcalinité (totale en CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	16
Dureté total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	18
Fer dissous (Fe)	mg/l	1,02
Fer total (Fe)	mg/l	-
Manganèse dissous (Mn)	mg/l	0,096
pH (sur place*)	pH	6,9*
Température (sur place)	°C	-0,1
Carbone organique total	mg/l	19
Couleur vraie	UCV	196
Turbidité	UTN	20

## Phase 3: Analyse des données



## Phase 2: Travaux de terrain



Synthèse

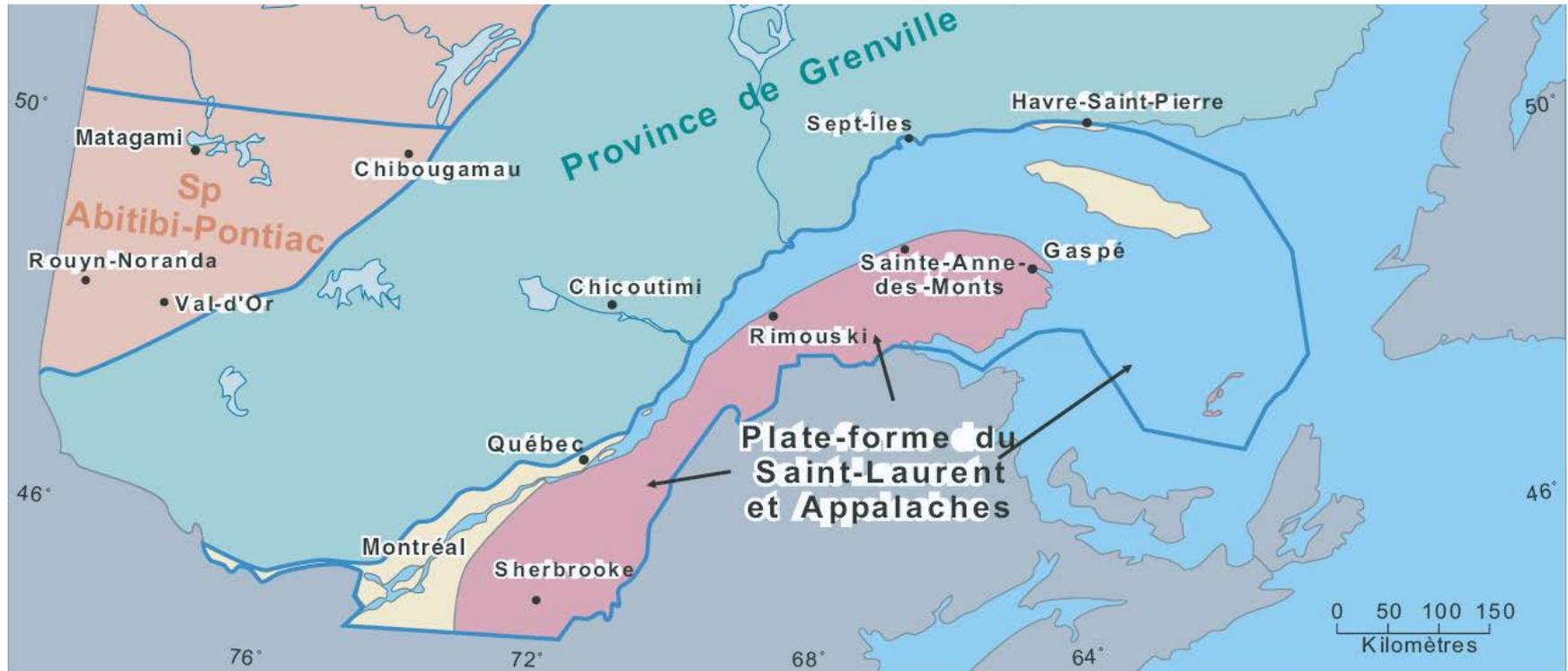


Transfert



# Contexte géologique: socle rocheux

- Trois grands ensembles géologiques principaux:
  - Bouclier Canadien, Basses-Terres du St-Laurent, Appalaches



# Contexte géologique: Quaternaire

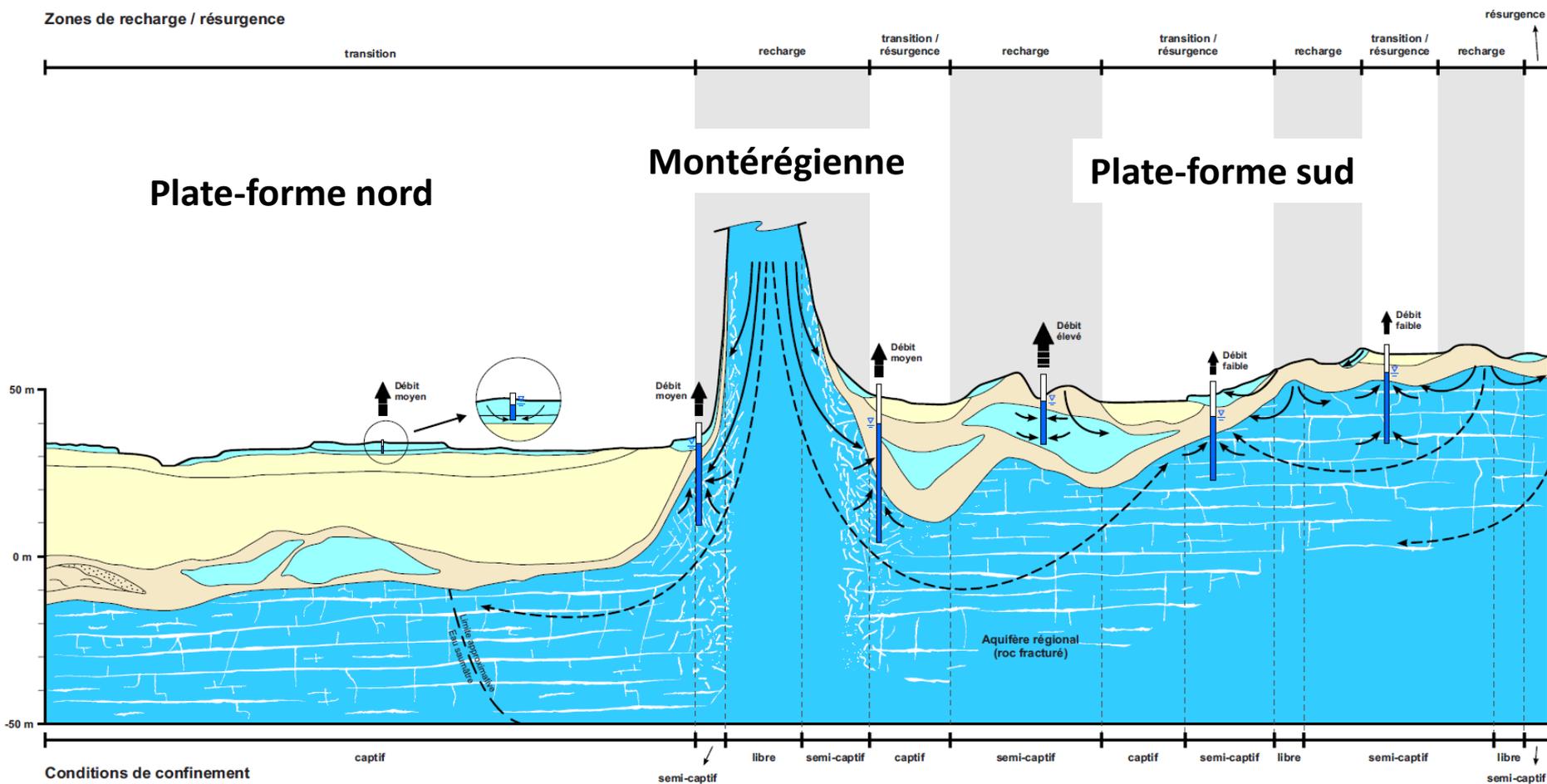


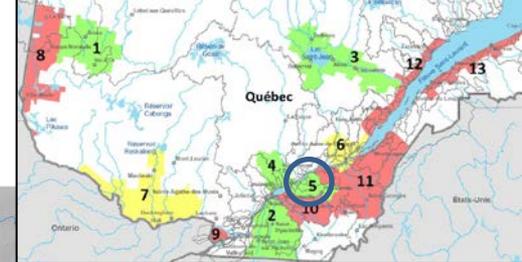
- Extension des mers postglaciaires et lacs proglaciaires
- Façonnement du relief
- Fracturation du socle
- Masse d'eau importante:
  - Eau de fonte glaciaire
  - Eau marine
- Sédiments du surface



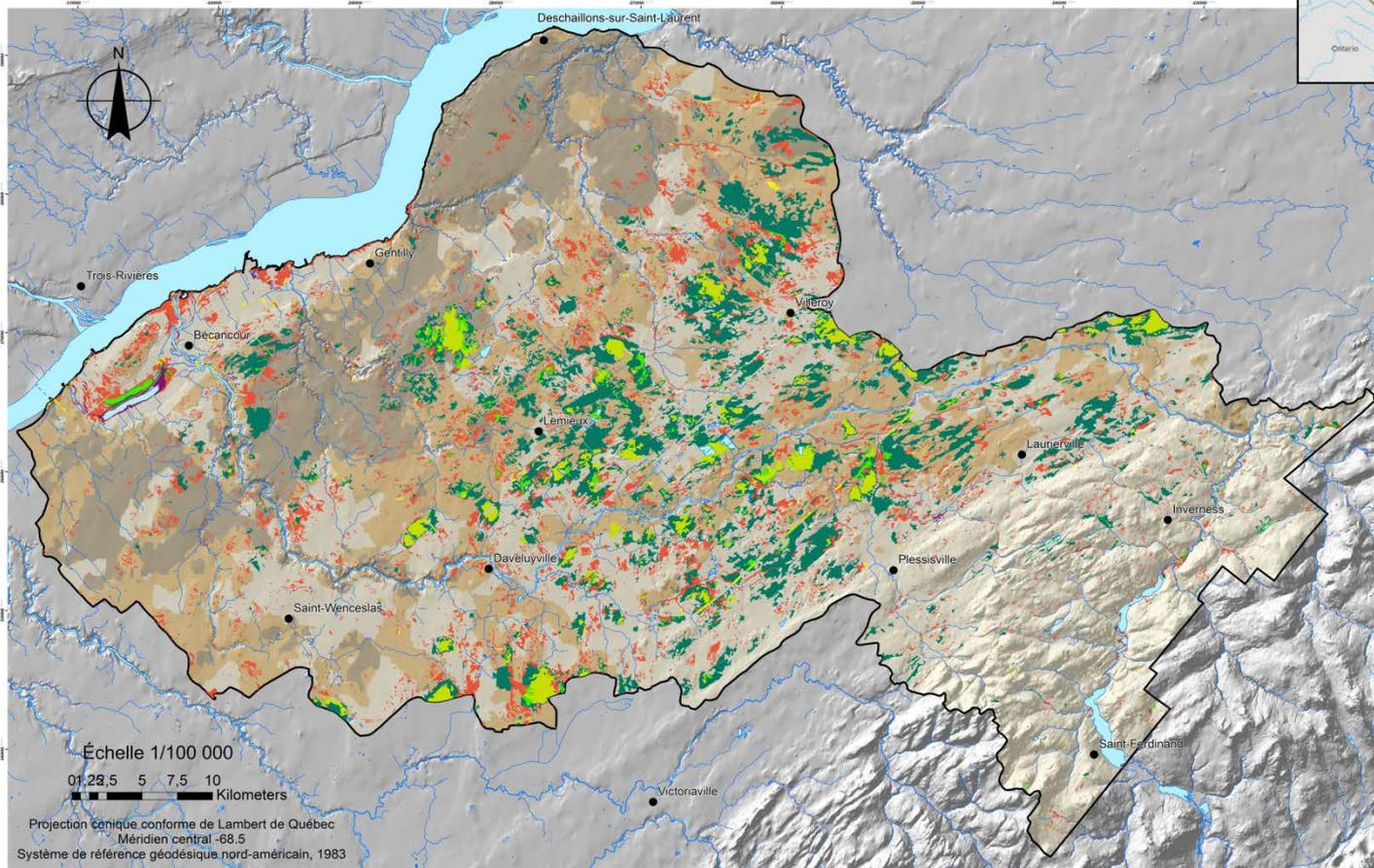


## ■ Modèle hydrogéologique conceptuel





## Principales caractéristiques de la zone Bécancour



Hydrographie superficielle

Zone d'étude

**Indice de confinement**

Nappe libre

Nappe semi-captive

Nappe captive

**Milieus humides**

Marais

Marécage

Prairie humide

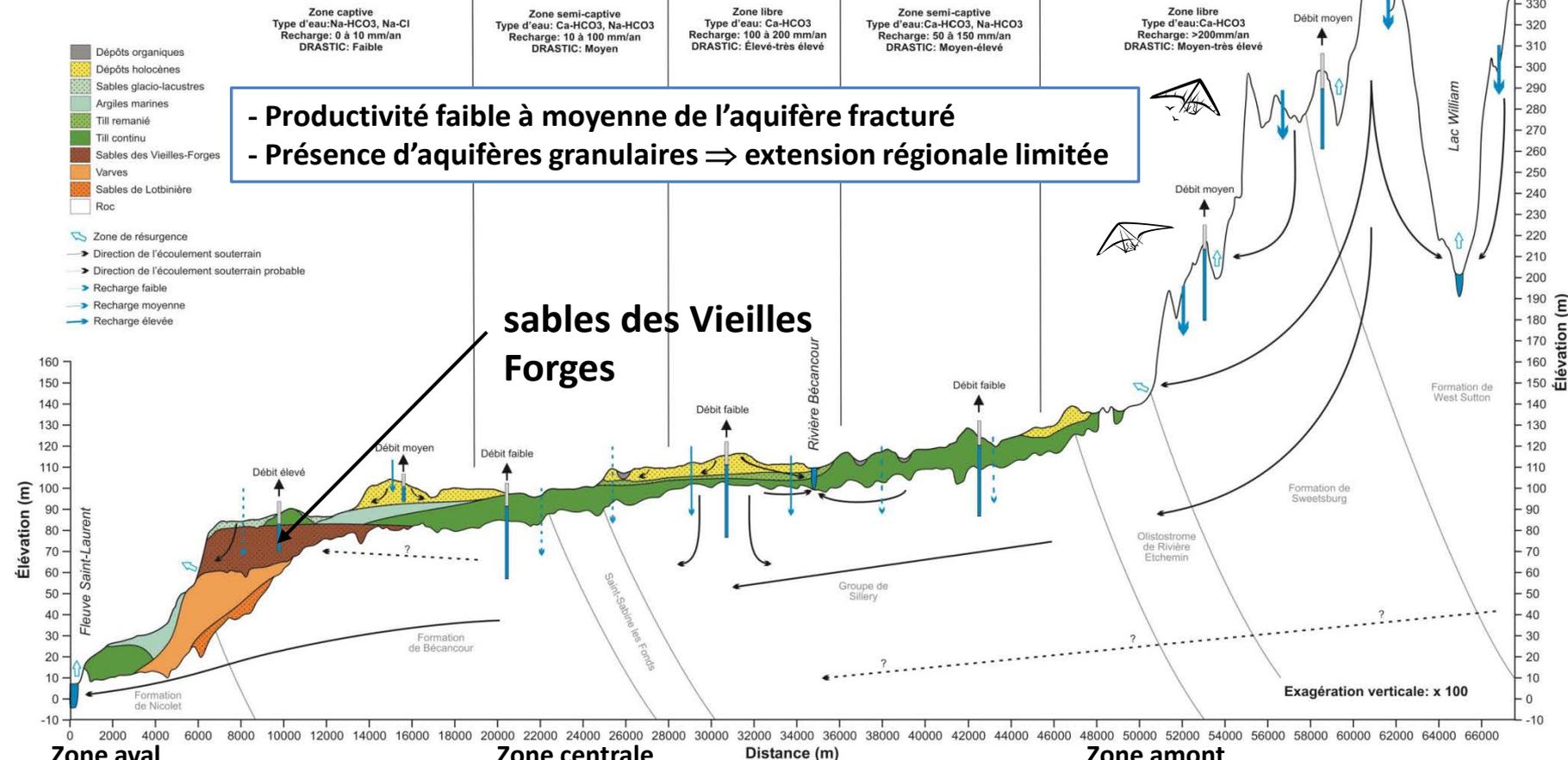
Tourbière minérotrophe (fen)

Tourbière ombrotrophe (bog)

Tourbière boisée

- **Confinement graduel de l'aquifère au roc vers l'aval, lié aux dépôts d'argiles (zones captives = 17%)**
- **Pas de dépassements pour les nitrates, mais impact identifié (13 % des puits au roc >1,5 mg/L N-NO<sub>3</sub>)**
- **Vulnérabilité de l'eau souterraine plus élevée dans les Appalaches**
- **Beaucoup de milieux humides sur le territoire (486 km<sup>2</sup>)**

## Principales caractéristiques amont-aval de l'aquifère au roc



- Productivité faible à moyenne de l'aquifère fracturé  
 - Présence d'aquifères granulaires ⇒ extension régionale limitée

sables des Vieilles Forges

### Zone aval

- Recharge faible ou nulle
- Aquifère Captif
- Vulnérabilité faible
- Eaux minéralisées (Na-HCO<sub>3</sub> et Na-Cl)

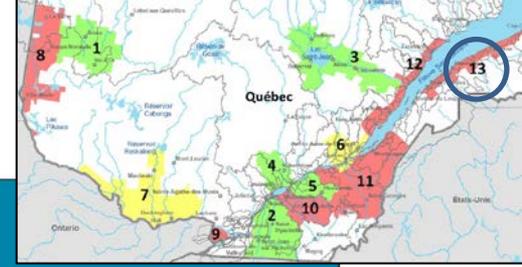
### Zone centrale

- Recharge variable (faible à moyenne)
- Aquifère semi-captif
- Vulnérabilité moyenne à élevée
- Eaux moyennement minéralisées (Ca-HCO<sub>3</sub> et Na-HCO<sub>3</sub>)

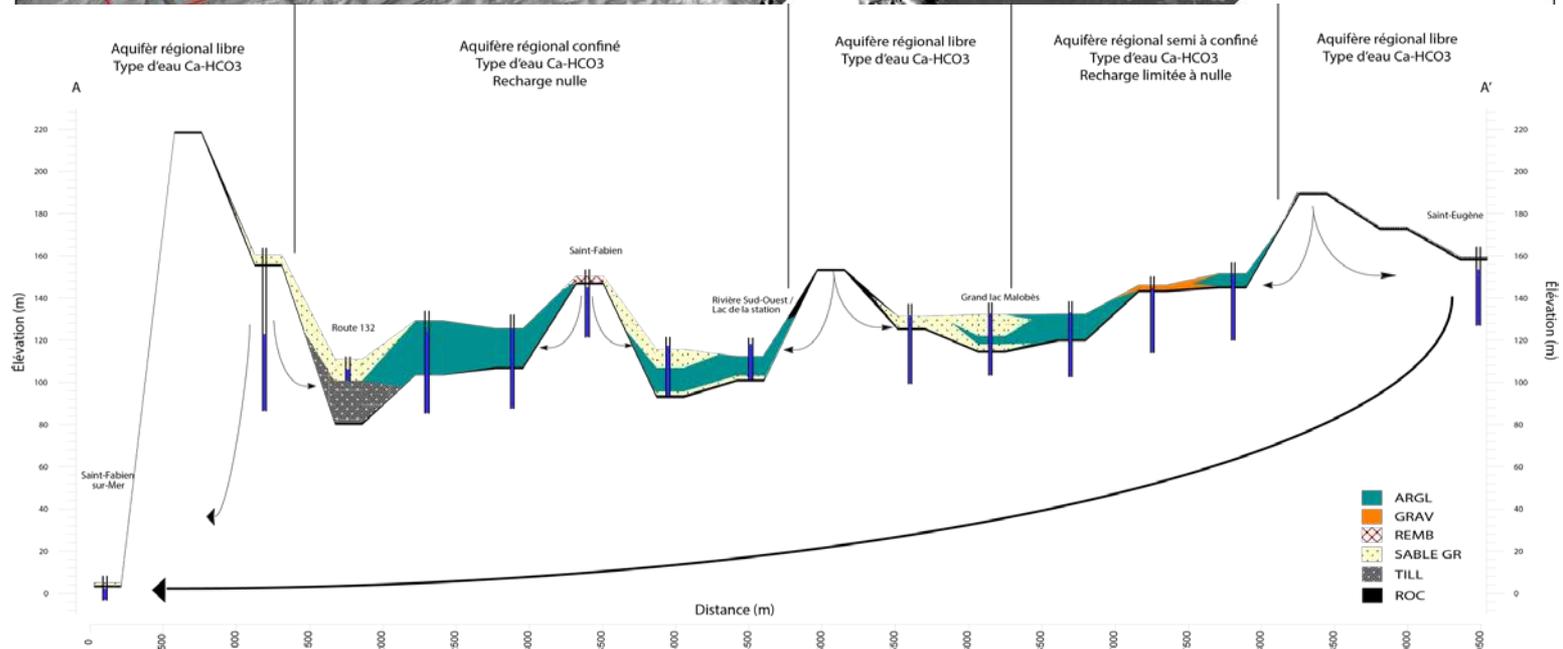
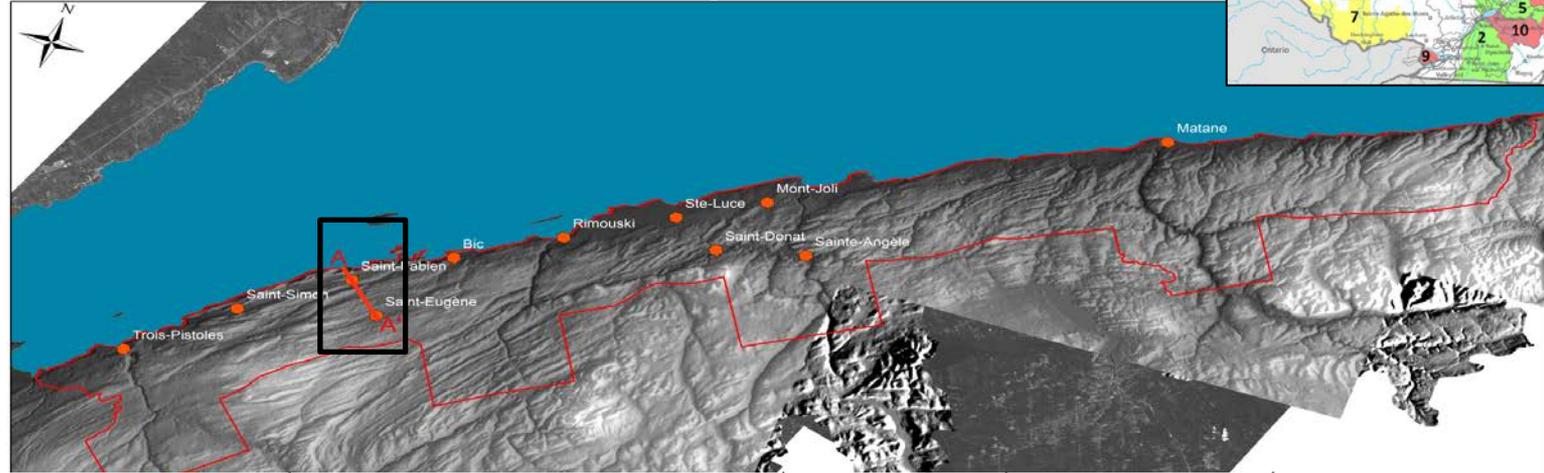
### Zone amont

- Recharge élevée
- Aquifère libre
- Vulnérabilité élevée
- Eaux faiblement minéralisées (Ca, Mg-HCO<sub>3</sub>)





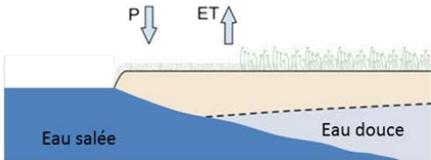
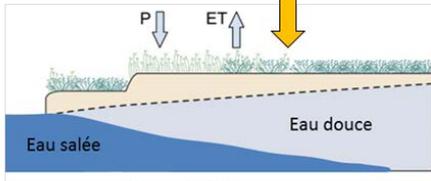
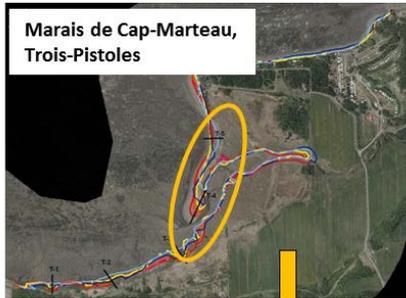
## Modèle conceptuel NEBSL: Saint-Eugène et Saint-Fabien



■ Quatre projets de maîtrise:

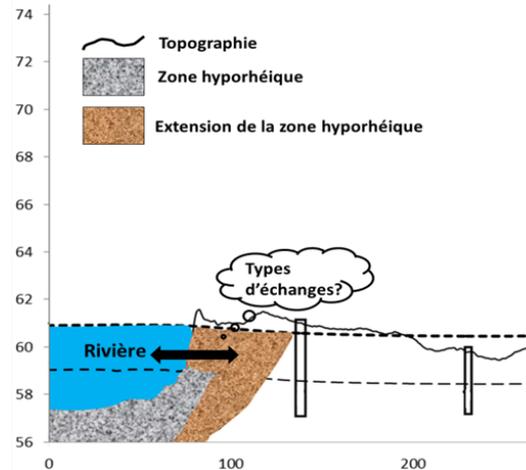
1) Le potentiel aquifère des flèches littorales

Hélène Cocheril



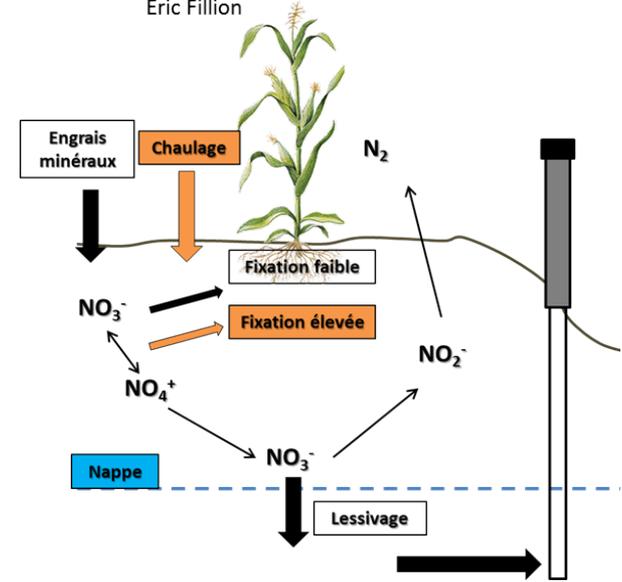
2) Les interactions eau de surface eau souterraine

Catherine Tremblay

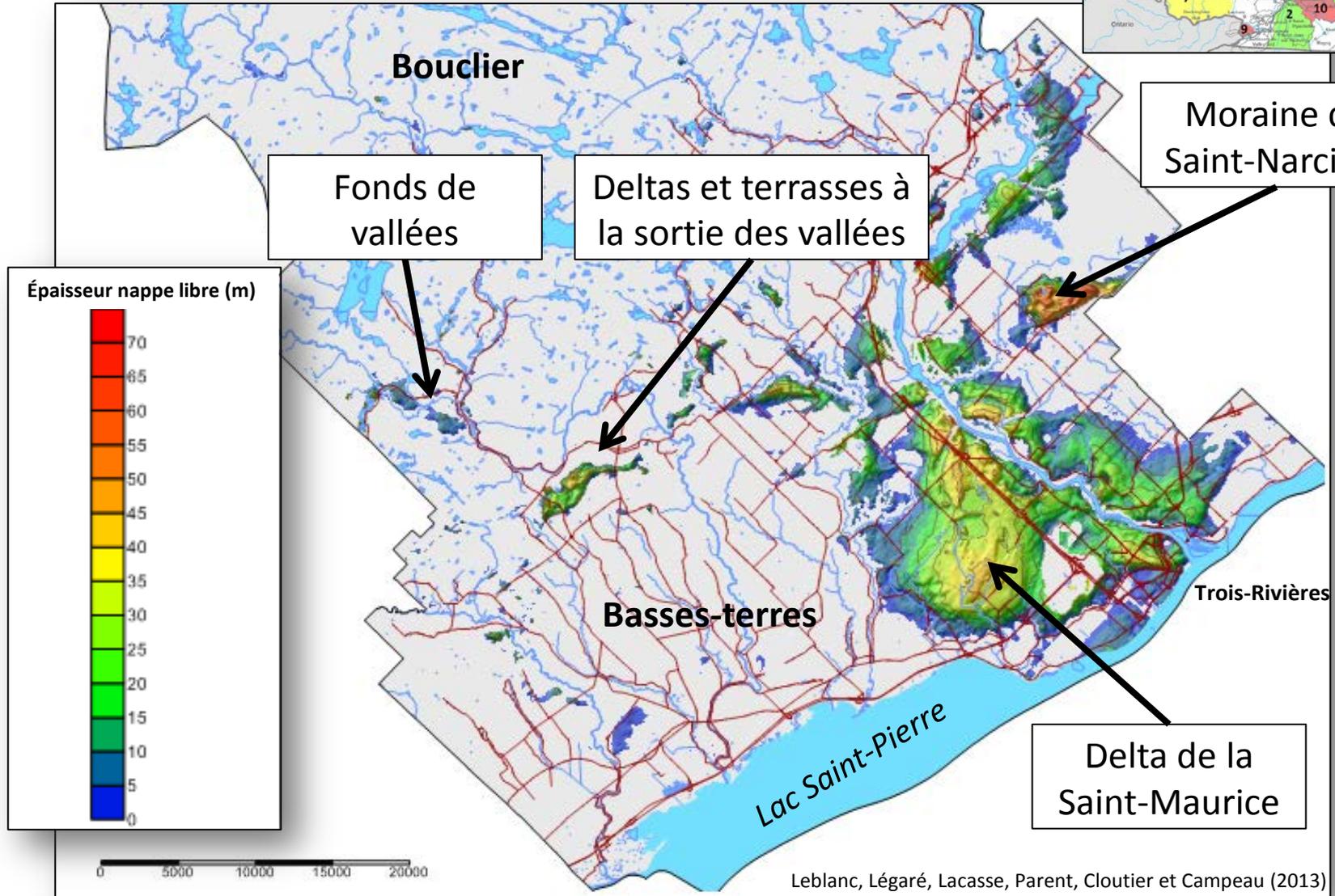


3) La dynamique de l'azote

Éric Fillion



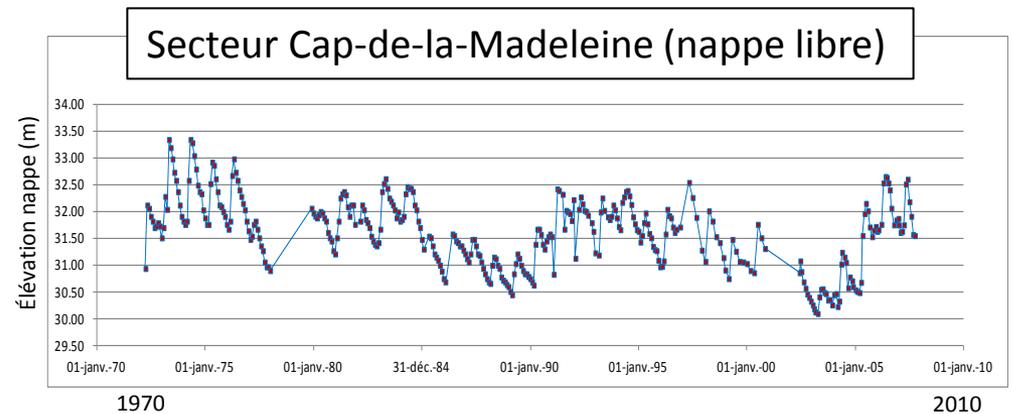
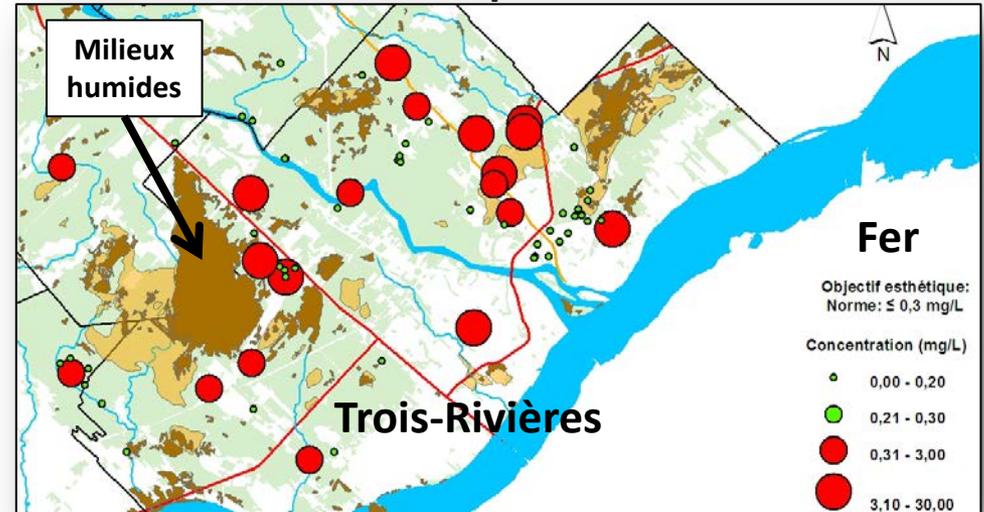
## Principaux aquifères exploités: N.L. dépôts de surface



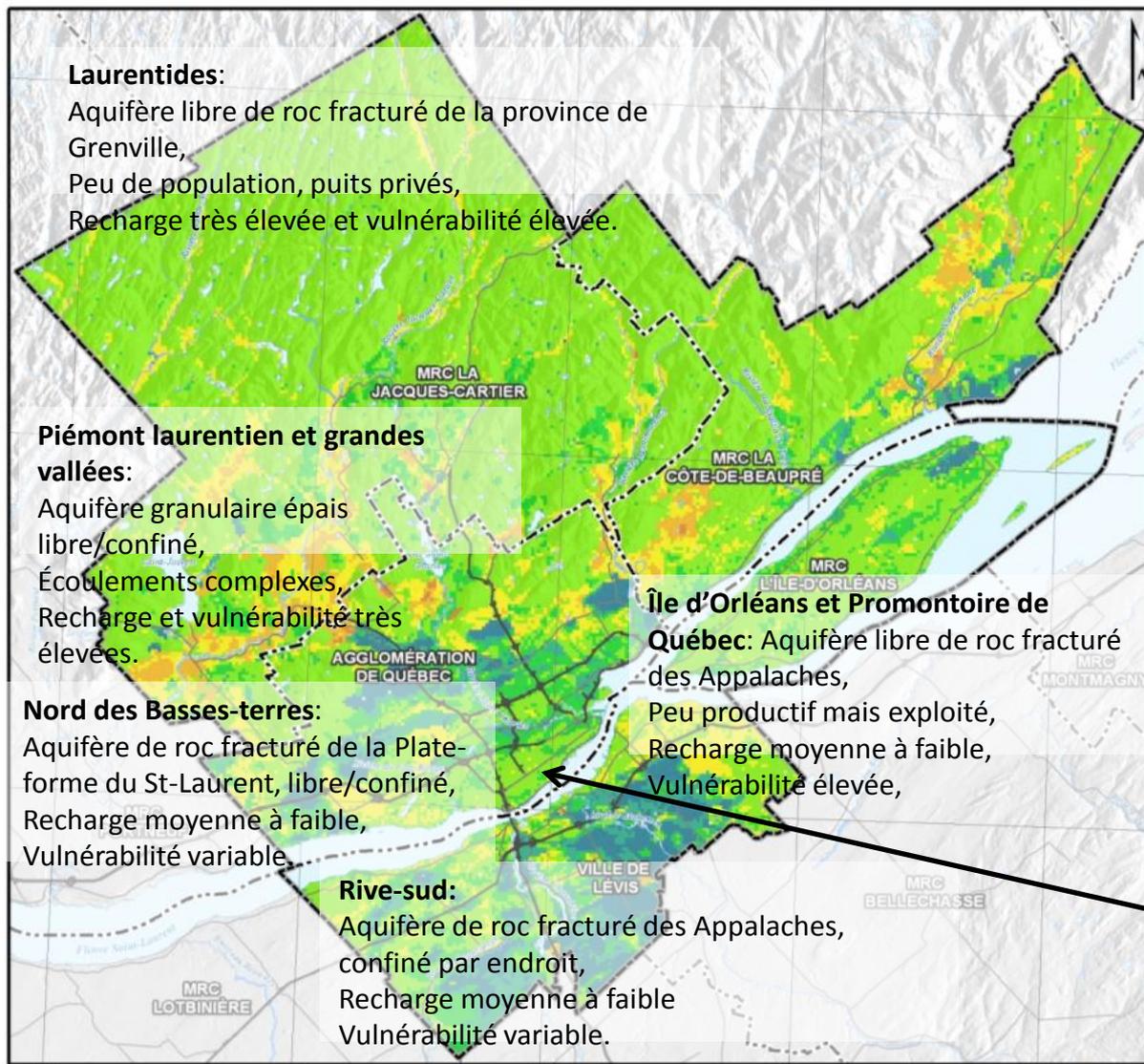
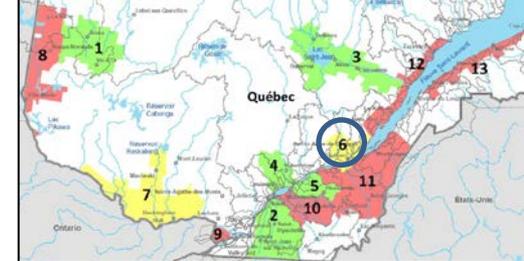
- Il subsiste un potentiel d'exploitation intéressant.
  - Toutefois, certaines nappes sont à la limite de leur capacité.

## Les principales conclusions:

- Près de **40% des puits privés** dépassent une des normes bactériologiques. 12% contiennent **E. coli**.
- Les concentrations élevées en **fer et manganèse** seraient peut-être reliées à la présence de sols organiques en amont.
- L'épandage de **sels déglaçants** sur le réseau routier augmente les concentrations en chlorures.
- Il existe des **cycles de huit ans** au cours desquels les niveaux d'eau peuvent descendre de 2 m.
- Les années sèches, le niveau d'eau dans certains puits peut **limiter l'exploitation de la nappe**.



Leblanc, Légaré, Lacasse, Parent, Cloutier et Campeau (2013)



### Laurentides:

Aquifère libre de roc fracturé de la province de Grenville,  
Peu de population, puits privés,  
Recharge très élevée et vulnérabilité élevée.

### Piémont laurentien et grandes vallées:

Aquifère granulaire épais libre/confiné,  
Écoulements complexes,  
Recharge et vulnérabilité très élevées.

### Nord des Basses-terres:

Aquifère de roc fracturé de la Plate-forme du St-Laurent, libre/confiné,  
Recharge moyenne à faible,  
Vulnérabilité variable.

### Rive-sud:

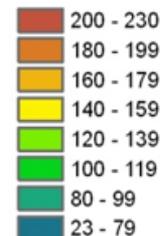
Aquifère de roc fracturé des Appalaches, confiné par endroit,  
Recharge moyenne à faible  
Vulnérabilité variable.

**Île d'Orléans et Promontoire de Québec:** Aquifère libre de roc fracturé des Appalaches,  
Peu productif mais exploité,  
Recharge moyenne à faible,  
Vulnérabilité élevée,

Région urbaine et diversifiée

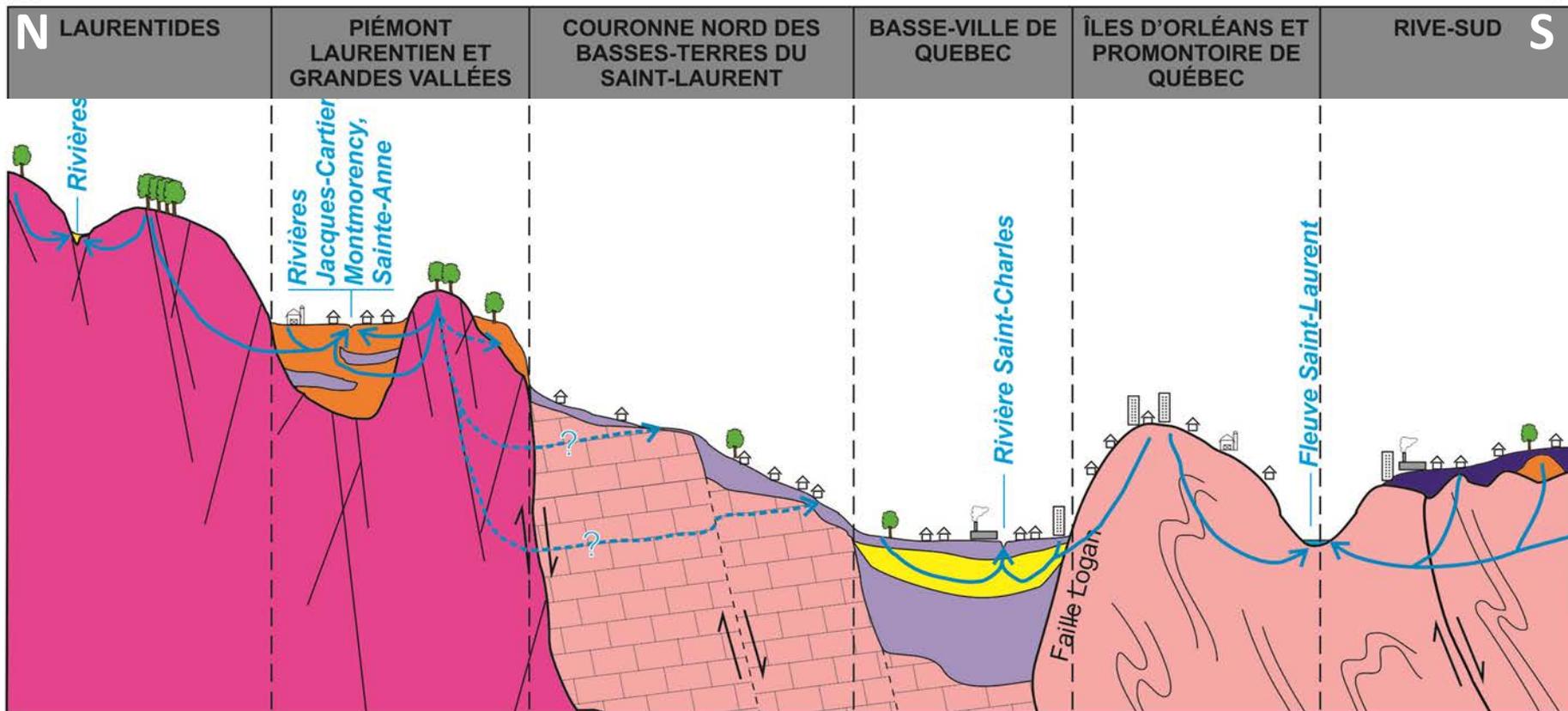
Vulnérabilité des eaux souterraines

### Indice DRASTIC



### Basse-ville de Québec:

Aquifère granulaire du Proto St-Laurent,  
libre/semi-confiné, non exploité,  
Recharge moyenne à faible,  
Vulnérabilité moyenne.



- Aquifère libre de **roc fracturé de la province de Grenville**,
- Peu de population,
- puits privés,
- **Recharge très élevée,**
- **Vulnérabilité élevée.**

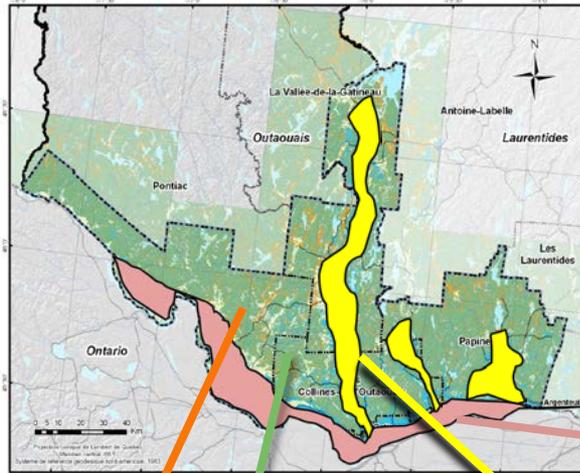
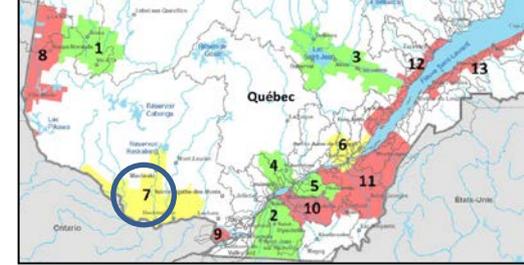
- Aquifère **granulaire épais** libre/confiné,
- Écoulements complexes,
- **Recharge très élevée,**
- **Vulnérabilité très élevée.**

- Aquifère de **roc fracturé de la Plate-forme du St-Laurent**,
- libre/confiné,
- **Recharge moyenne à faible,**
- **Vulnérabilité variable.**

- Aquifère **granulaire du Proto St-Laurent**,
- libre/semi-confiné,
- Non exploité,
- **Recharge moyenne à faible,**
- **Vulnérabilité moyenne.**

- Aquifère libre de **roc fracturé des Appalaches**,
- Peu productif mais exploité,
- **Recharge moyenne à faible,**
- **Vulnérabilité élevée.**

- Aquifère de **roc fracturé des Appalaches**,
- confiné par endroit,
- **Recharge moyenne à faible,**
- **Vulnérabilité variable.**



## Contextes hydrogéologiques

### Basses-terres

- Aquifère granulaire ou de roc fracturé de la Plate-forme du St-Laurent, confiné ou semi-confiné par endroit.
- Vulnérabilité et recharge variable, très faible par endroit.

### Hautes-terres

gravier

- Aquifère libre de roc fracturé de la province de Grenville.
- Peu de population, puits privés
- Recharge élevée,
- Vulnérabilité moyenne à élevée.

Roche du Grenville

### Vallées

Rivières Gatineau  
Petite-Nation  
Du Lièvre  
etc.

argile

gravier

- Aquifère granulaire ou de roc fracturé de la province de Grenville, confiné ou semi-confiné par endroit.
- Vulnérabilité et recharge variables.

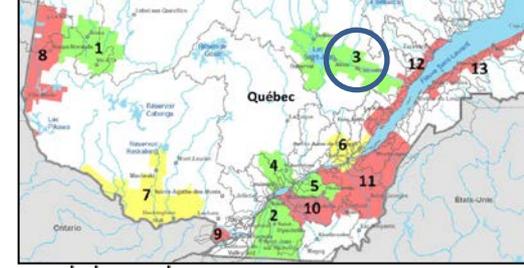
gravier

argile

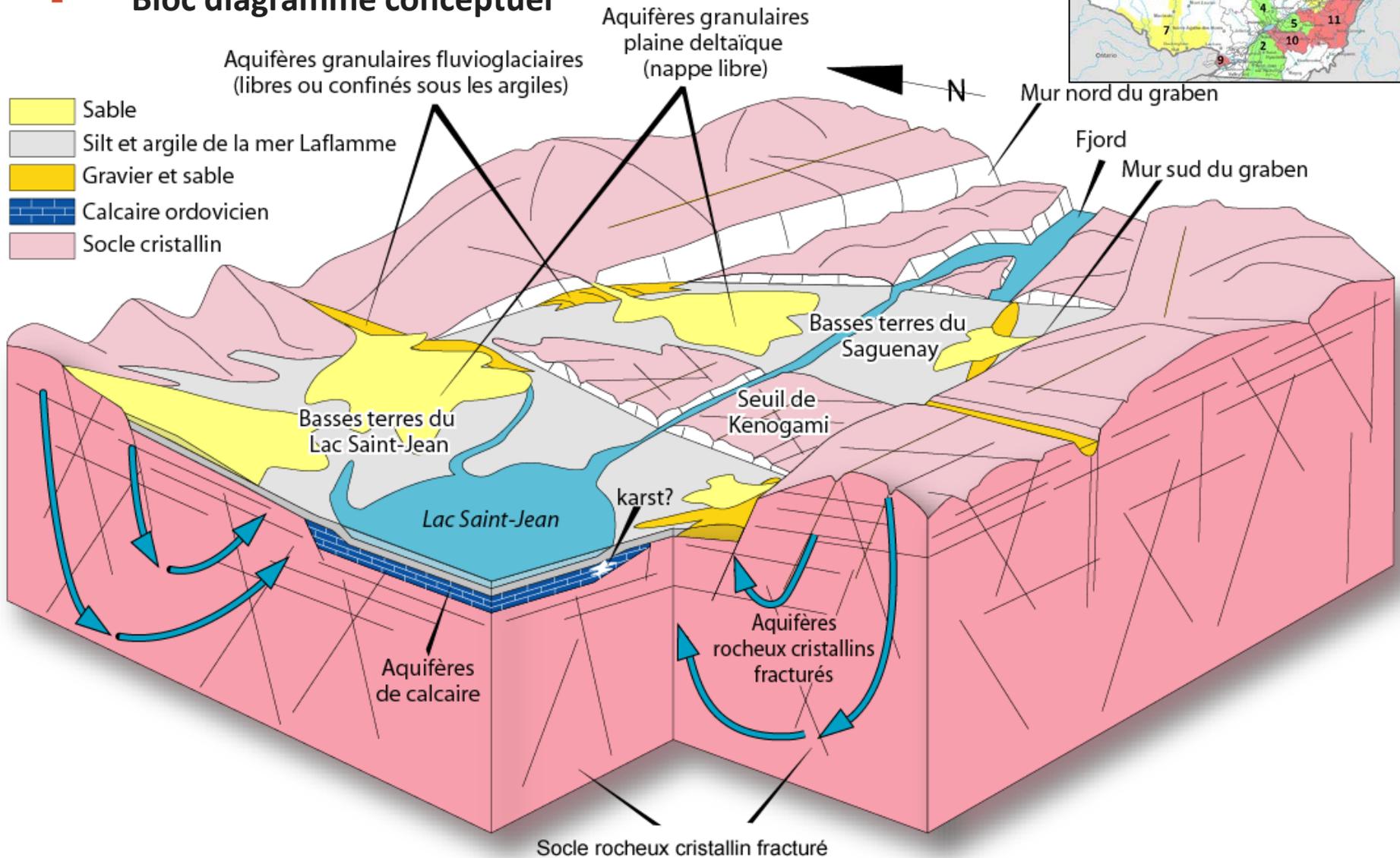
Roche de la Plate-forme  
Du Saint-Laurent

Rivière des  
Outaouais

# PACES Saguenay-Lac-Saint-Jean

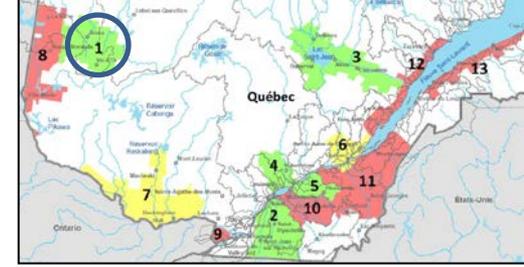


## ■ Bloc diagramme conceptuel

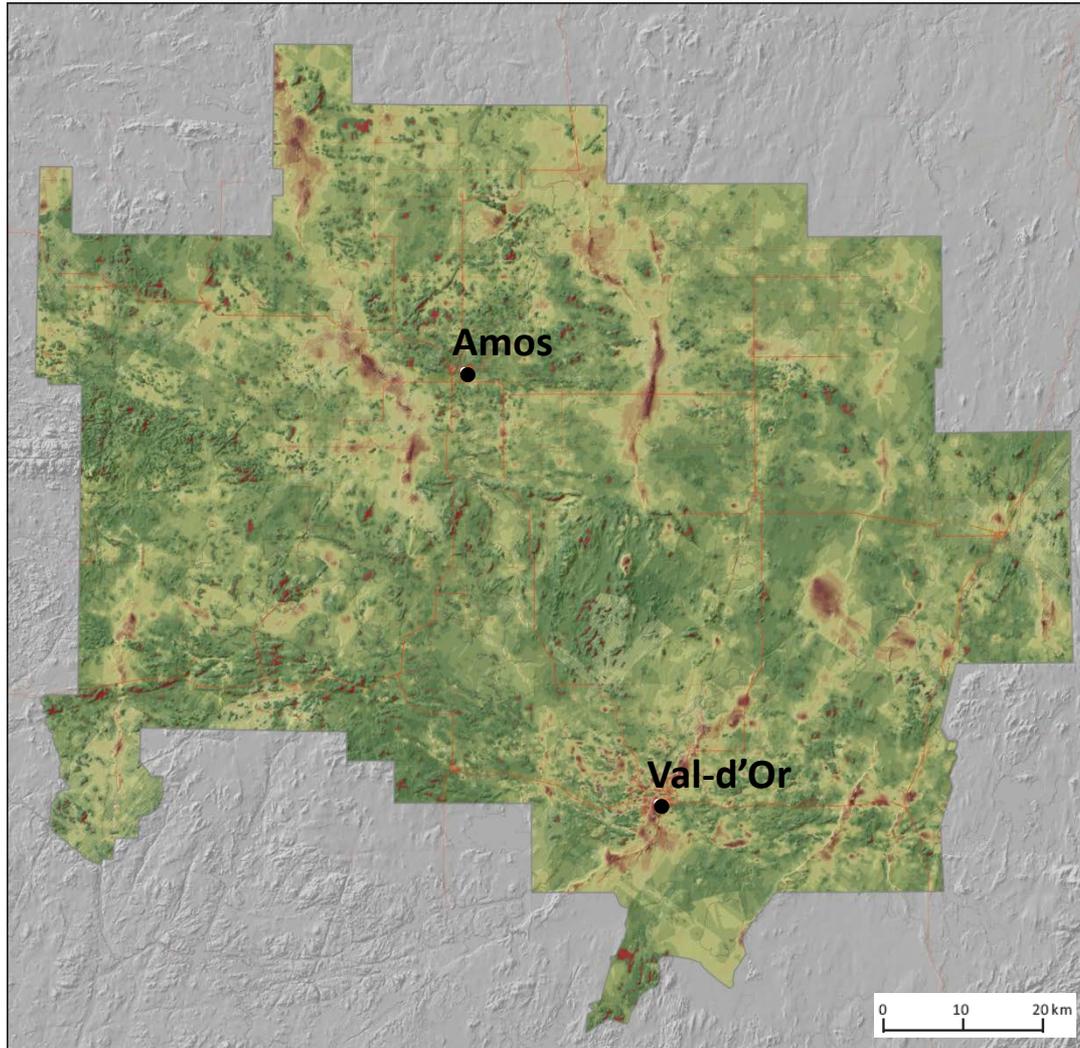


## Apports du PACES-SLSJ

- Concertation régionale : CRÉ-SLSJ, 4 MRCs, Ville de Saguenay, Conseil des Montagnais du LSJ, MDDEP, MAPAQ, MRNF, MAMROT, Agence Santé & services sociaux, OBV
- Portrait global des aquifères régionaux, en socle rocheux et dépôts quaternaires
- Portrait de la fracturation et de la perméabilité du roc sur une portion du territoire (seuil de Kénogami)
- Calcaires paléozoïques identifiés au nord du lac Saint-Jean
- Mise à jour de la carte des dépôts de surface
- Dépassements fréquents des critères de potabilité de l'eau pour les fluorures et le manganèse
- Omni-présence d'eau salée en profondeur dans le roc
- Projets de recherche et formation de PHQ: hydrostratigraphie quaternaire, essais hydrauliques en forage, hydrogéochimie, hydrogéologie structurale

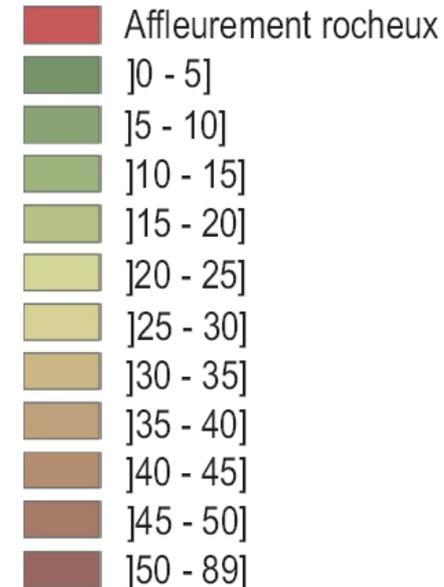


## Épaisseur des dépôts meubles

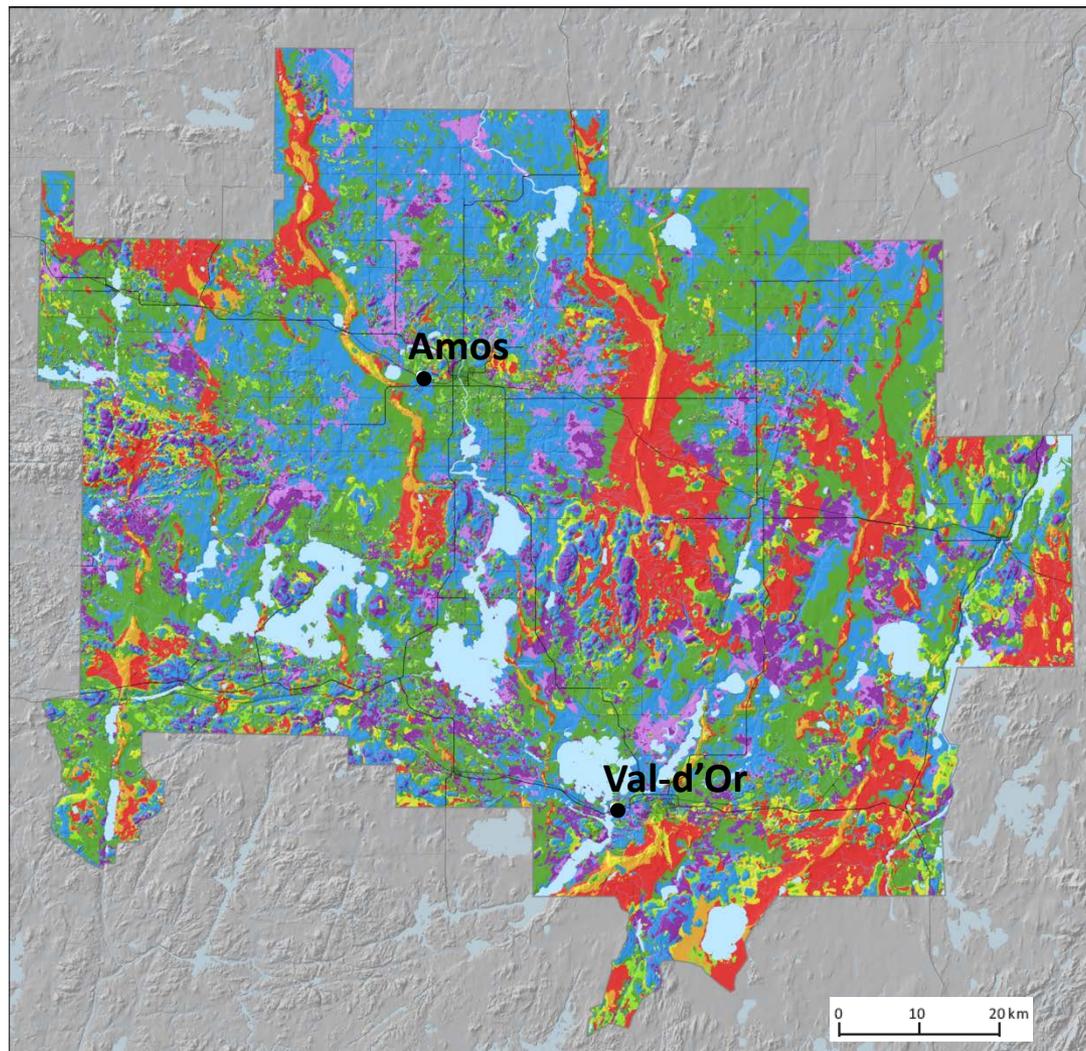


- Variations spatiales d'épaisseur des dépôts au-dessus du roc
  - Épaisseurs des eskers
- Maillage de 100 m x 100 m  
≈ 130 000 points de contrôles

### Épaisseur dépôts meubles (m)



## ■ Vulnérabilité des aquifères: indice DRASTIC



### ■ Indice DRASTIC

➤ Attribution de cotes à 7 paramètres

**D:** Profondeur à la nappe (Depth)

**R:** Recharge

**A:** Aquifère

**S:** type de Sol

**T:** Topographie

**I:** Impact de la zone vadose

**C:** Conductivité hydraulique



# Livrables PACES uniformes entre les régions

---

1. Topographie
2. Routes, limites municipales et toponymie
3. Modèle altimétrique numérique
4. Hydrographie
5. Limites de bassins versants
6. Occupation du sol
7. Couverture végétale
8. Milieux humides
9. Affectation du territoire
10. Pédologie
11. Géologie du Quaternaire
12. Géologie du roc
13. Activités anthropiques pouvant altérer l'eau souterraine
14. Prélèvements d'eau souterraine
15. Aires d'alimentation et de protection des ouvrages de captage collectifs
16. Pente du sol
17. Coupes hydrostratigraphiques
18. Épaisseur des dépôts meubles
19. Topographie du roc
20. Contextes hydrogéologiques
21. Séquences stratigraphiques
22. Conditions d'écoulement
23. Piézométrie dans les formations superficielles et dans le roc
24. Paramètres hydrogéologiques
25. Emplacement des stations de suivi
26. Zones préférentielles de recharge et de résurgence
27. Utilisation de l'eau
28. Qualité de l'eau
29. Vulnérabilité des aquifères selon la méthode DRASTIC

# Le PACES, ses retombées...

---

- **Connaissance et accessibilité de l'information:**
  - ✓ **≈ 70% du territoire québécois municipalisé**
- **Recherche dynamique interinstitutionnelle:**
  - ✓ **Pôles d'expertise régionaux**
- **Partenaires régionaux pleinement impliqués;**
- **Formation d'étudiants par des recherches sur des questions d'intérêt pour chaque région:**
  - ✓ **Recherches réalisées grâce au FRQNT et FRQSC**
- **Teneurs de fond pour la chimie de l'eau;**
- **Fondements pour des travaux futurs détaillés;**
- **Opportunité pour une intégration des territoires PACES;**
- **Positionné pour gérer la ressource...**

## ... et les défis!

---

- **Transfert des connaissances:**
  - ✓ **Principal élément permettant l'utilisation des données des PACES en appui à la gestion durable de l'eau souterraine**
  
- **Suivi de la ressource:**
  - ✓ **Suivi de sa qualité et des niveaux piézométriques dans le temps;**
  - ✓ **Mise à jour des données dans les régions PACES.**

# Conclusions et suites à donner

Pré - 2008

Peu d'outils fiables permettant de considérer les ressources aquifères dans le cadre de la gestion du territoire



Lacunes majeures au niveau des connaissances relatives au cadre hydrogéologique régional

2008 – Aujourd'hui

Mobilisation significative des partenaires gouvernementaux et régionaux



Acquisition de connaissances:

- PACES (2009-2015)  $\approx$  70%
- Projets FRQNT et FRQSC

Regroupements:  
chercheurs: GRIES (2009)  
+ utilisateurs: RQES (2011)

Demain

1. Poursuite du programme PACES pour compléter la couverture



2. Transfert des connaissances PACES vers les utilisateurs et gestion durable du territoire

LEVIER

# Remerciements

- **Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques**
- **Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies**
- **Fonds de recherche du Québec - Société et culture**
- **Partenaires des régions PACES**
  - **9 CRÉ, 34 MRC, villes, 17 OBV**
- **Organismes publiques**
- **Professionnels de recherche**
- **Étudiants de 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles**

<http://www.rqes-gries.ca/gries-a-propos.html>

***Merci de votre attention***

