

Évolution de la caractérisation des systèmes aquifères au Québec

R. Lefebvre¹, M. Parent², C. Rivard², Y. Michaud², R. Martel¹,
M. Ouellet³, A. Rivera², M.M. Savard², M. Nastev²,
D. Paradis², R.H. Morin⁴, E. Gloaguen¹ & A. Pugin²

1: INRS, 2: Commission Géologique du Canada,
3: Ministère du Développement durable de l'Environnement et des
Parcs, 4: US Geological Survey

Présent contexte de la recherche

- Dynamisme de la recherche grâce aux projets PACES et FQRNT
- Concertation entre organismes (MDDEP, CGC, universités, firmes d'experts...)
- Implication des partenaires régionaux
- La situation présente découle d'efforts continus et concertés sur près de 20 ans

Perspective de la présentation

- Point de vue du Centre géoscientifique de Québec (exemples des travaux du CGQ)
- Les travaux PACES ne sont pas couverts
- L'évolution de la cartographie est décrite en fonction des aspects suivants:
 - Développement de la cartographie
 - Développement de la recherche
 - Développement des partenariats
- Le but est de montrer les progrès accomplis et d'identifier des voies prometteuses

Développement de la cartographie

Étapes charnières

- Projet de politique (milieu des années 1990)
- Programme hydrogéol. de la CGC (1994)
- Projets Portneuf & AFSOQ (1995-2003)
- BAPE – *La gestion de l'eau au Qc* (1999)
- Politique nationale de l'eau (2002)
- Guides & Atlas Châteauguay (2008 2006)
- Nouvelles lois et réglementations (>2007)
- Bureau de l'eau, PACES & FQRNT (2008)
- Créations du GRIES & du RQES (2009)

Cartographie hydrogéologique (<1994)

- MRNF & MEQ. Études de reconnaissance et détaillées (pas systématiques).
- DHI - Décennie hydrologique (1965-1975)
- ARDA - Aménagement rural et développement agricole (1967-1975)
- Programmes du MEER (Ministère de l'expansion économique régionale)
- PCI - programmes de connaissances intégrées (1975-1982)
- Volet cartes de vulnérabilité (1985-1988)

Programme d'hydrogéologie de la CGC

Programme initié en 1994

Description Qualitative

Caractérisation 3D des contextes géologiques d'aquifères clés canadiens (identification, cartographie, inventaire).

Conceptualisation Quantitative

- Compréhension de la dynamique des aquifères (recharge, émergence, emmagasinement)
- Modélisation 3D de la dynamique
- Inventaires des ressources en eau souterraine
- Système pour un réseau national de surveillance

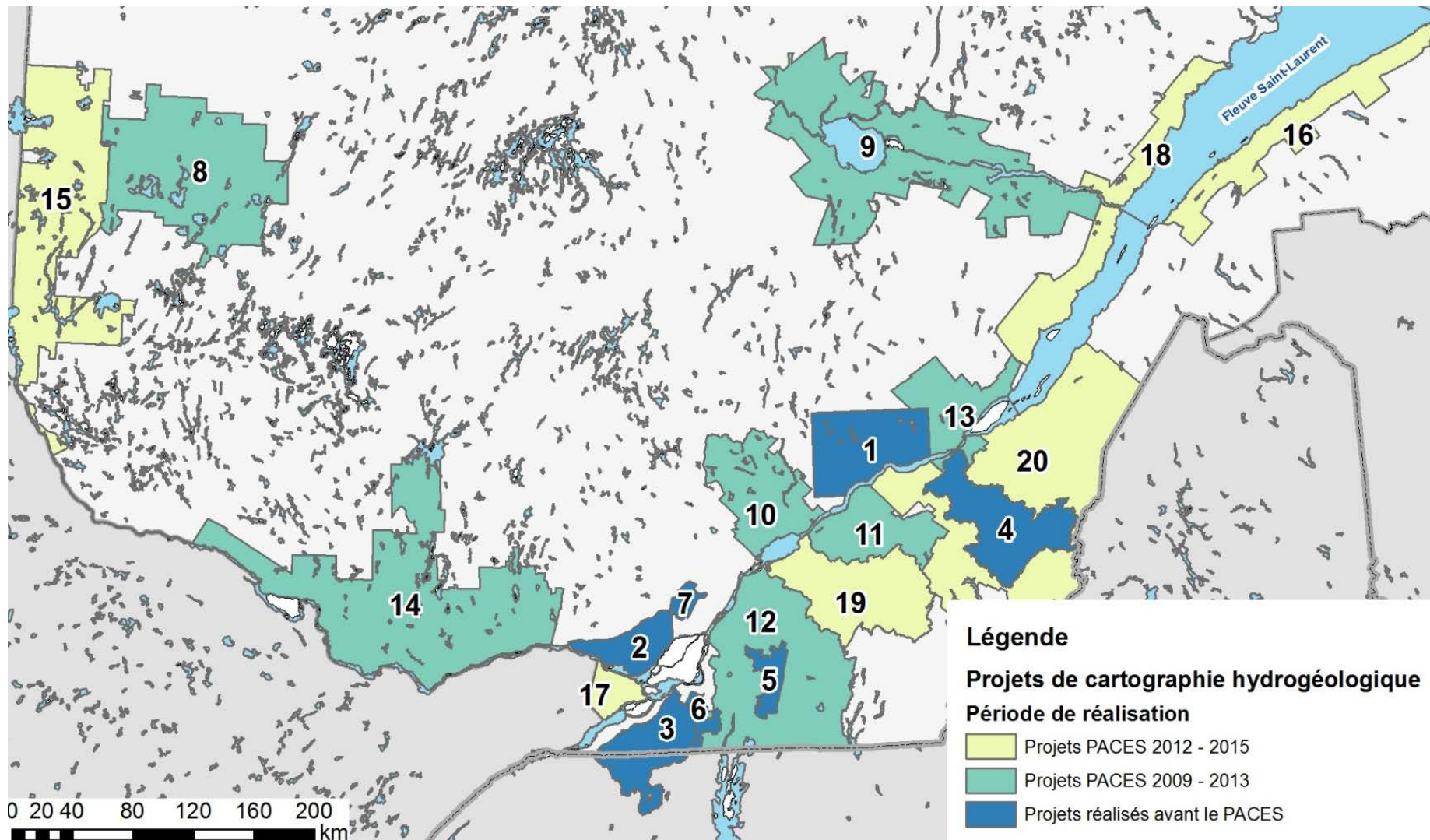
Gestion Durable

- Gestion des ressources en eau souterraine
- Simulation de l'écoulement régional
- Standardisation des bases de données

Cartographie hydrogéologique (>1994)

- Avant le PACES (1995 à 2008)
 - CGC / MDDEP: Portneuf, Basses-Laurentides, Châteauguay, Esker Amos. CEDAQ: 4 projets.
 - Ailleurs: Maritimes, Annapolis, PEI, Ghana...
- Phases I & II du PACES (2009-2013)
 - 7 projets: Abitibi-Témiscamingue, Saguenay-Lac Saint-Jean, Mauricie, Bécancour, Montérégie Est, CMQ, Outaouais
- Phase III du PACES (2012-2015)
 - 6 projets: Abitibi-Témiscamingue, Bas-Saint-Laurent, Charlevoix, Vaudreuil-Soulanges, Bas-Saint-François-Nicolet, Chaudière-Appalaches

Cartographie depuis 1995

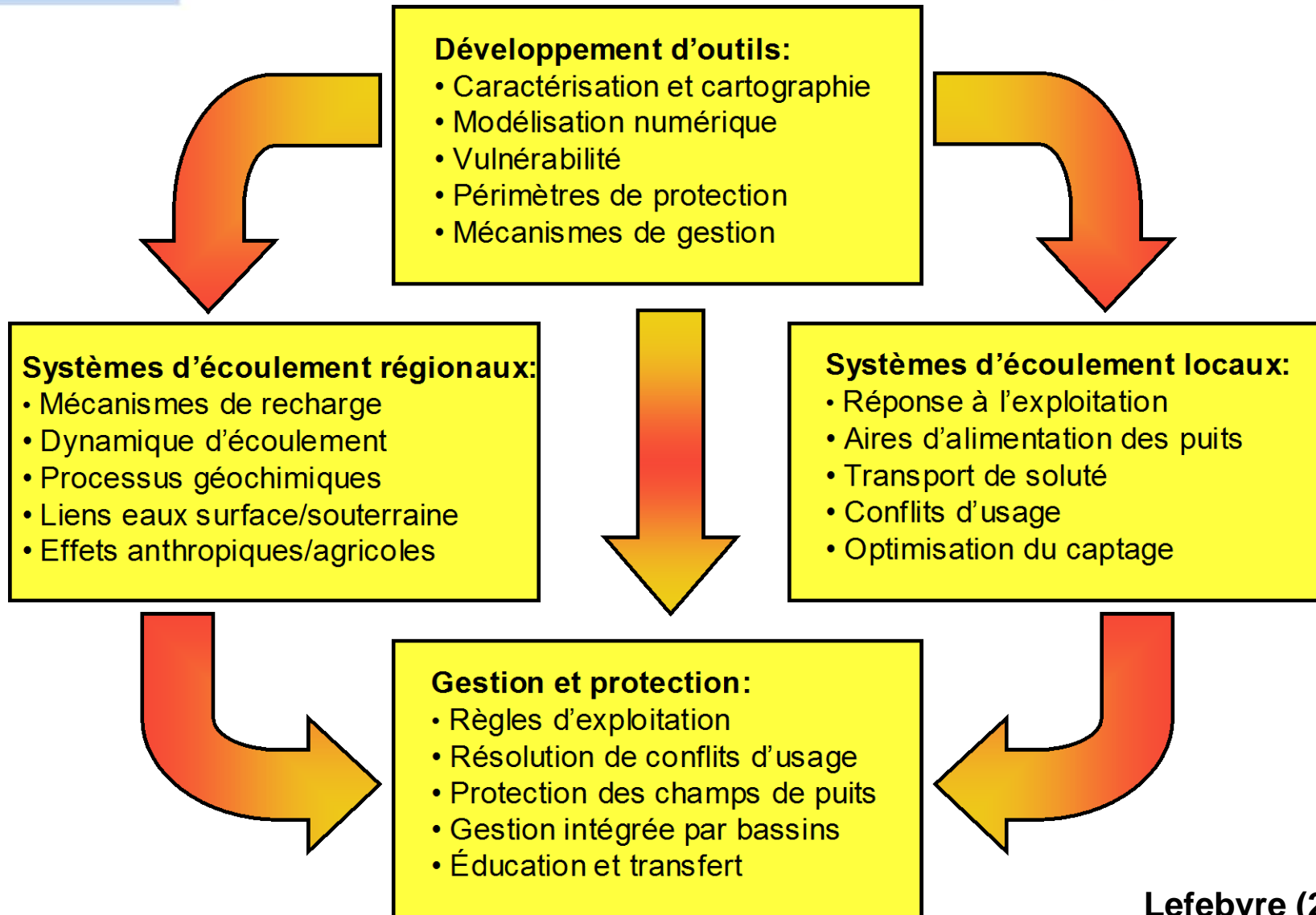


Situation actuelle

- Le PACES permet la couverture systématique du Québec municipalisé
- La majorité du territoire municipalisé est déjà en voie de caractérisation
- Une dernière phase PACES pourrait permettre de terminer la couverture
- Retombées multiples du PACES:
 - Connaissance et accessibilité de l'information
 - Recherche dynamique interinstitutionnelle
 - Partenaires régionaux pleinement impliqués
 - Fondements pour des travaux futurs détaillés
- Positionné pour gérer la ressource

Développement de la recherche

Fondements pour assurer la gestion



Développement d'outils

- Cartographie (bases de l'approche PACES):
 - SIG & BD (Michaud et Boisvert)
 - Géologie 3D (Girard, Ross et Lamarche)
 - Modèles conceptuels (Fagnan et Nastev)
 - Cartes hydrogéologiques (Guides et Atlas)
- Vulnérabilité:
 - Fagnan, Murat, Ross, Nastev...
- Périmètres de protection:
 - Paradis, Karanta, Guide UQAC
- Modélisation numérique régionale:
 - Modèles: L.-Charrette, Nastev, Lavigne...
 - Simulateurs: Therrien, Molson, Paniconi...

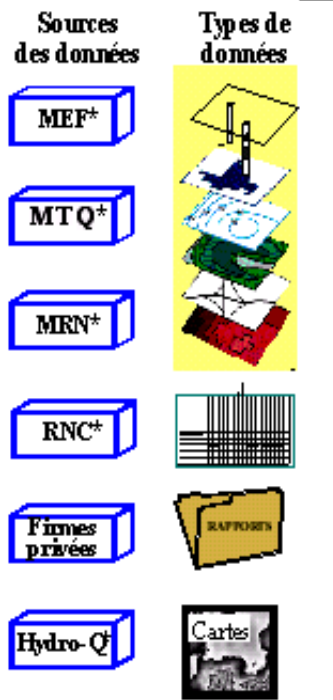
Choix des types de cartes à produire

Level of information Possible use	Low (Scarce and heterogenous data from various sources)	Advanced (systematic investigation)	High (hydrogeological system and groundwater models)
Reconnaissance and Exploration	general hydrogeological map (aquifer)	hydrogeological parameter maps	regional groundwater systems maps (conceptual model)
Planning and Development	map of groundwater resource potential	Planches hydro	
Management and Protection	map of groundwater vulnerability	specialized hydrogeological maps (planning maps)	graphic representation derived from GIS (sections, 3D diagrams, scenarios)
Possible use Level of information	static _____ time-dependence _____ ► dynamic low _____ reliability _____ ► high low _____ cost _____ ► high large _____ area represented _____ ► small small _____ scale _____ ► large		

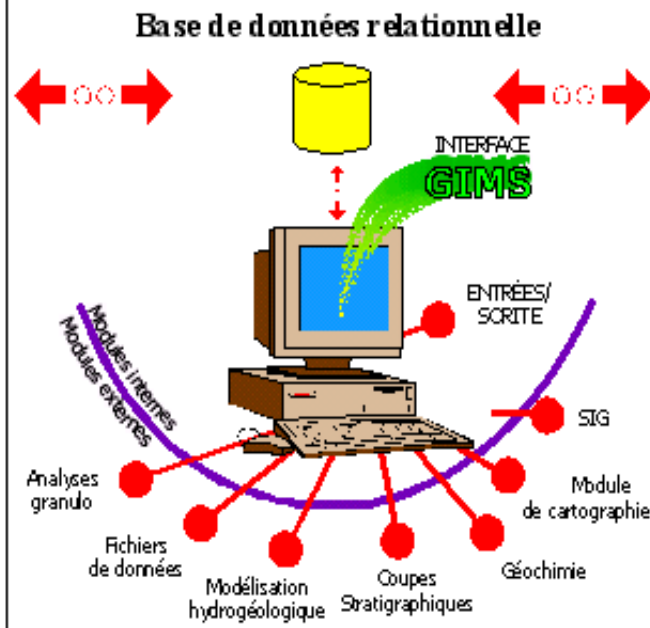
Michaud et al. (2002) (D'après Struckmeier et Margat, 1995)

Étape de la caractérisation régionale

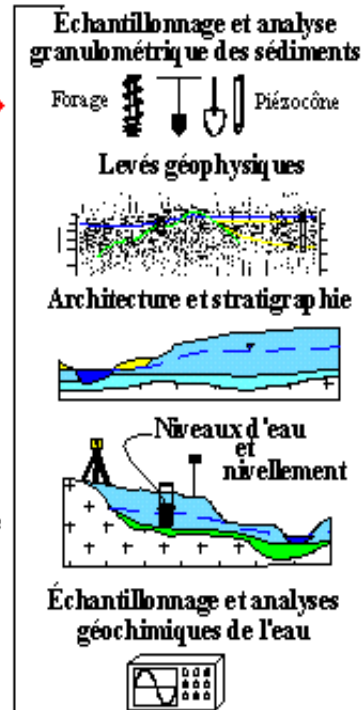
1) Compilation de l'information existante



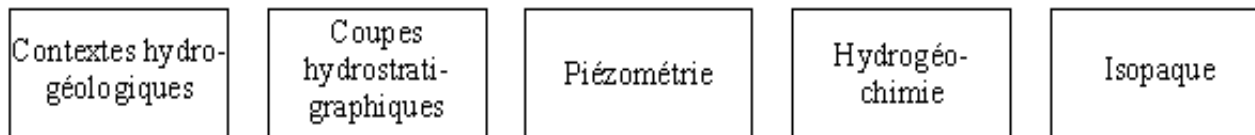
3) Intégration et analyse des données géoscientifiques



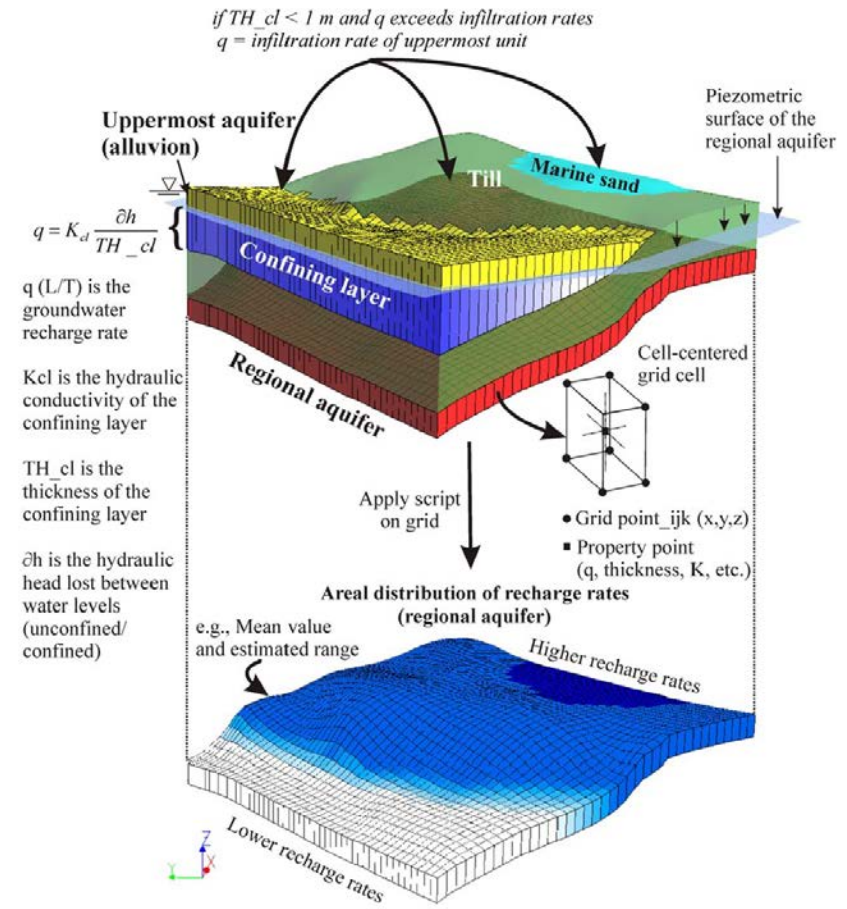
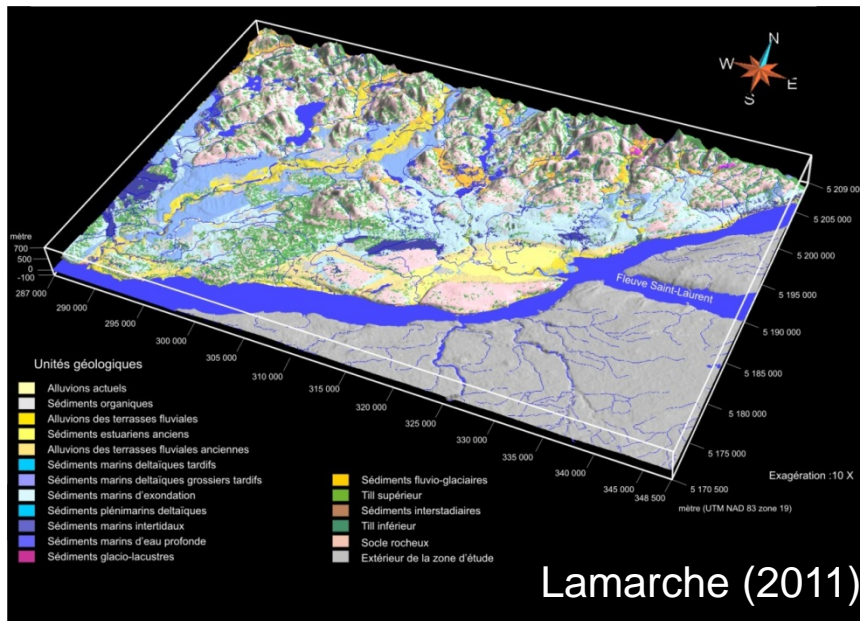
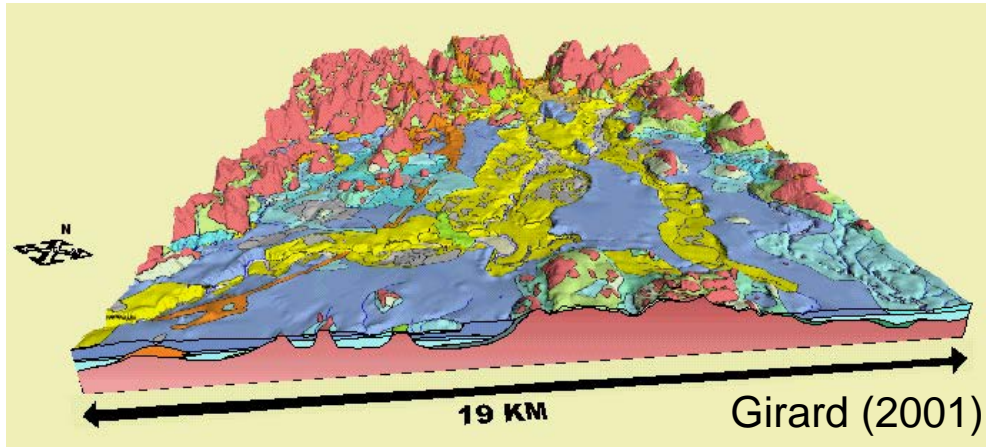
2) Travaux de terrain



4) Interprétation et production de cartes hydrogéologiques

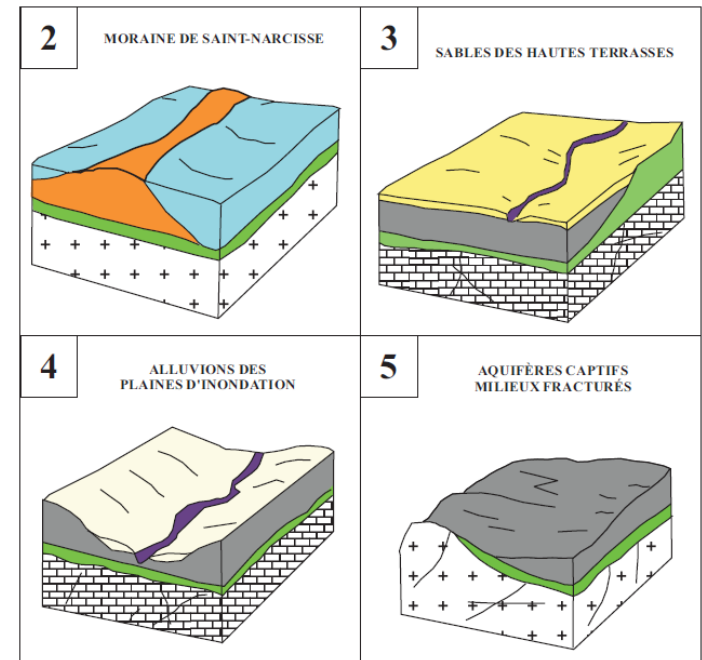
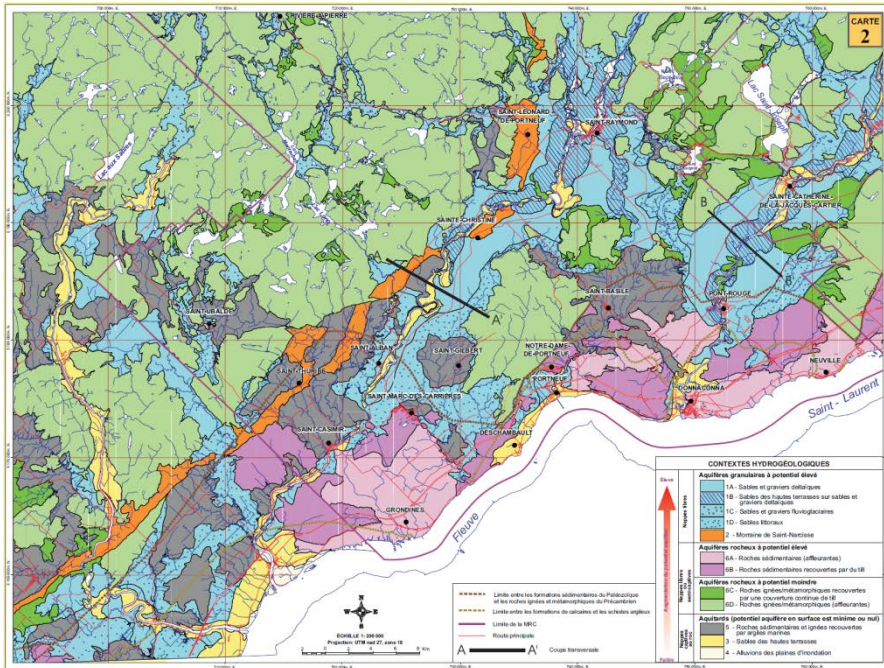
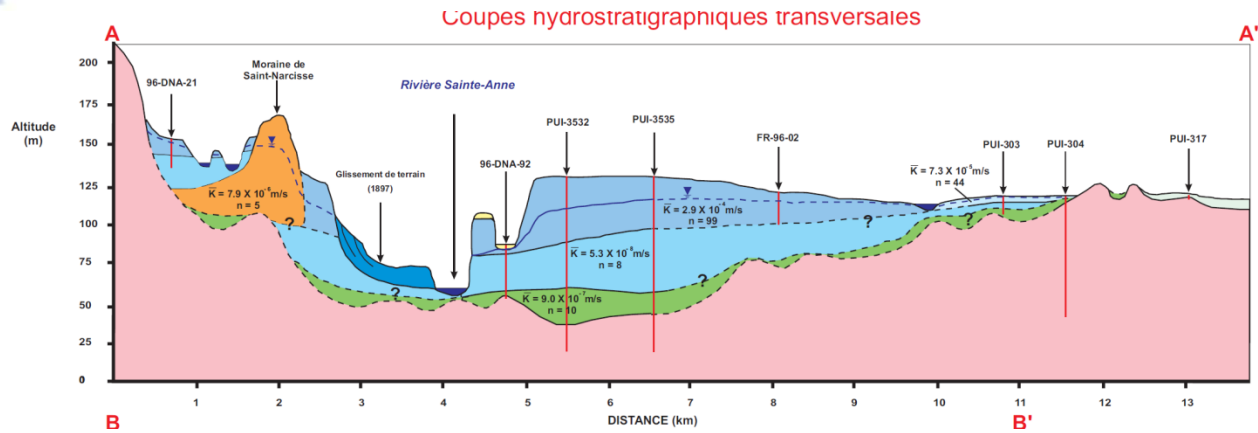


Modèles géologiques 3D



Ross et al. (2002)

Hydrostrati. et contextes - Portneuf



Guides méthodologiques

Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères en roches sédimentaires fracturées

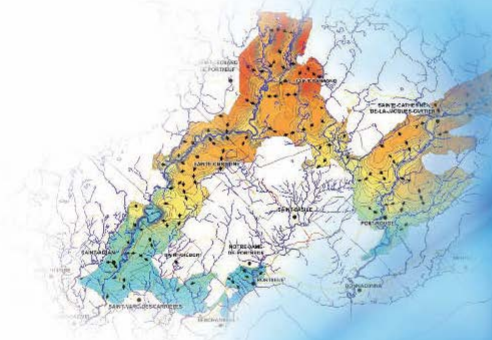


Canada Ressources naturelles / Natural Resources Canada
Université du Québec / Institut national de la recherche scientifique
Bât. 7000, 1030 Avenue de la Recherche

Canada

Québec

Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères granulaires



Canada Ressources naturelles / Natural Resources Canada
Université du Québec / Institut national de la recherche scientifique
Bât. 7000, 1030 Avenue de la Recherche

Canada

Québec

Atlas Châteauguay

Atlas du bassin
versant de la
rivière
Châteauguay

TERRITOIRE

EAU SOUTERRAINE

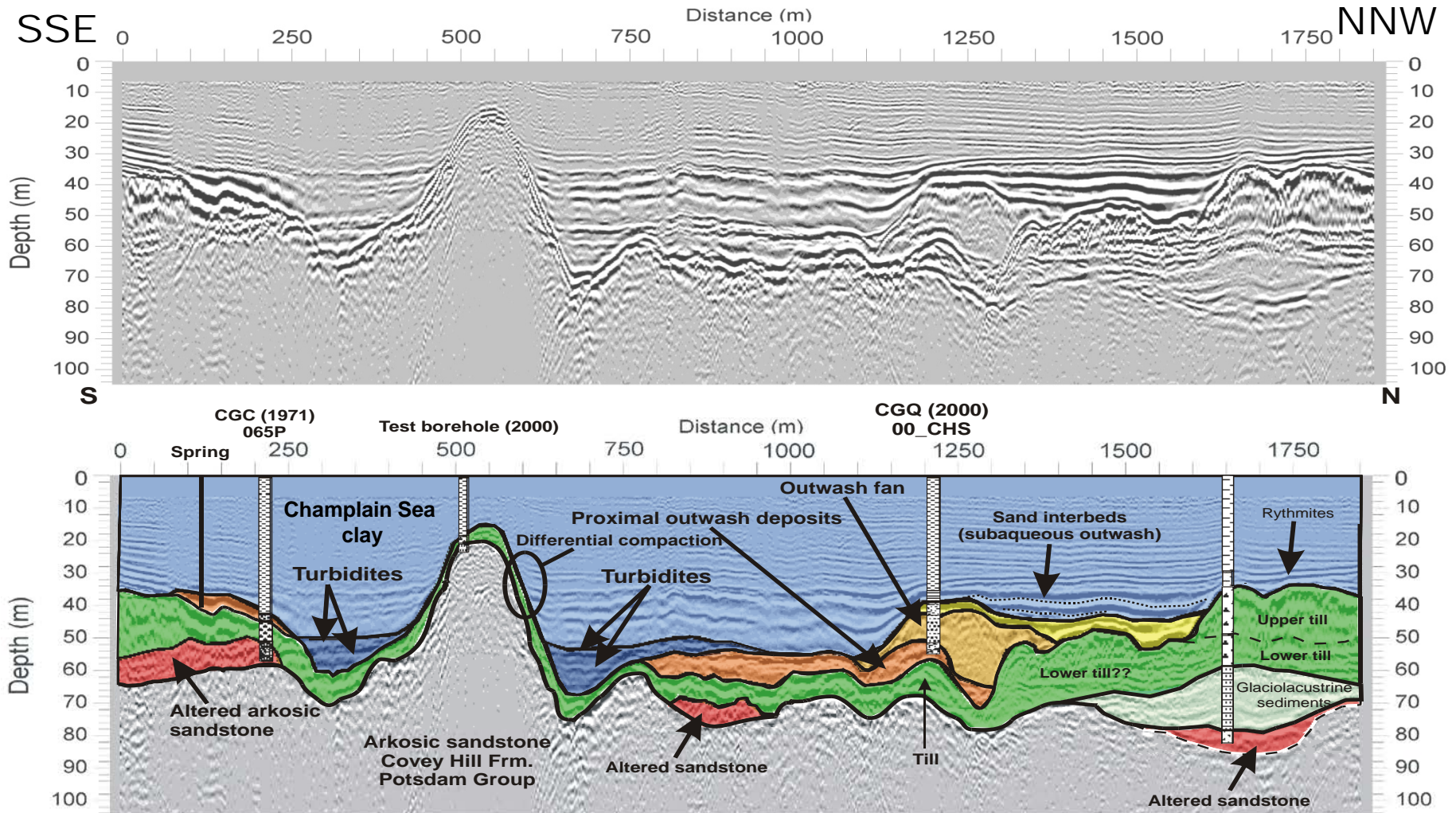
AMÉNAGEMENT



Développement de la caractérisation

- Portneuf: travaux conventionnels (forages, essais de pompage, piézométrie, échantillons d'eau...) et piézocône
- Basses-Laurentides et Châteauguay: travaux conventionnels (sans piézométrie) et non conventionnels (sismique, essais Lugeon, diagraphies, échantillons multi-niveaux...)
- Projets PACES: emphase importante sur les levés indirects (sismique, CPT...) et développement des moyens d'intégration

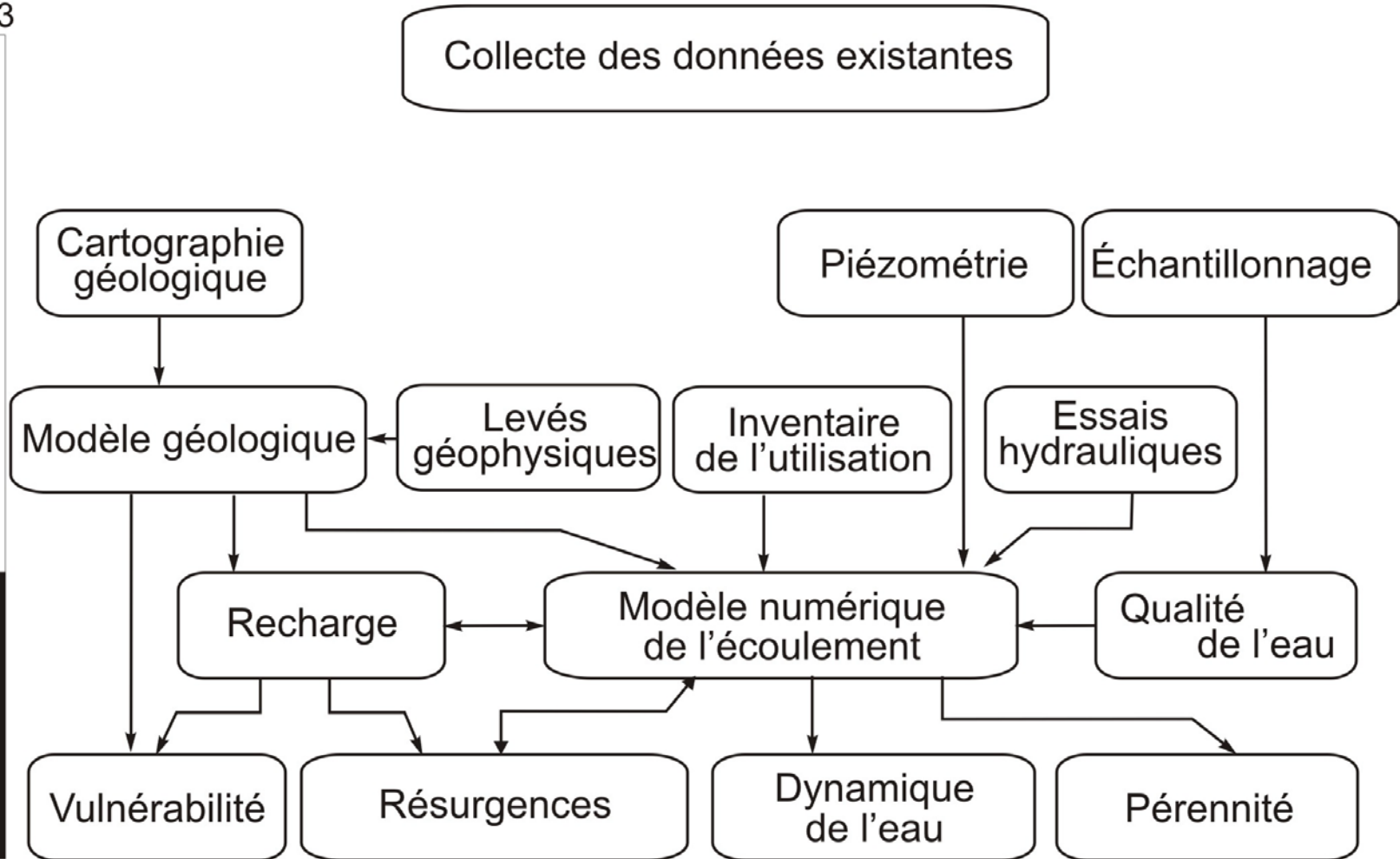
Sismique – Basses-Laurentides



Ross & Parent (2002)

Étapes du projet Châteauguay

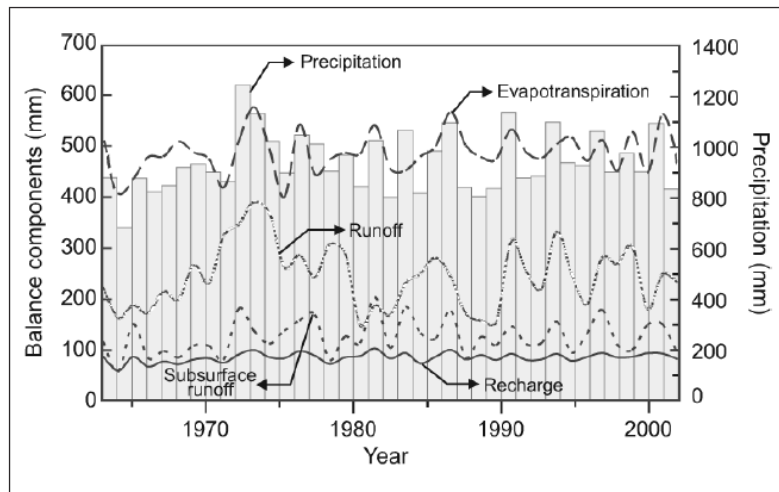
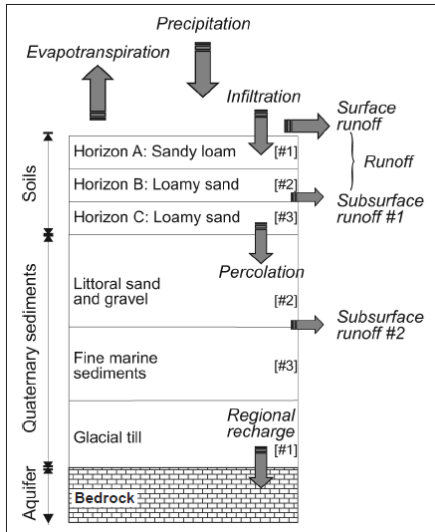
An
123



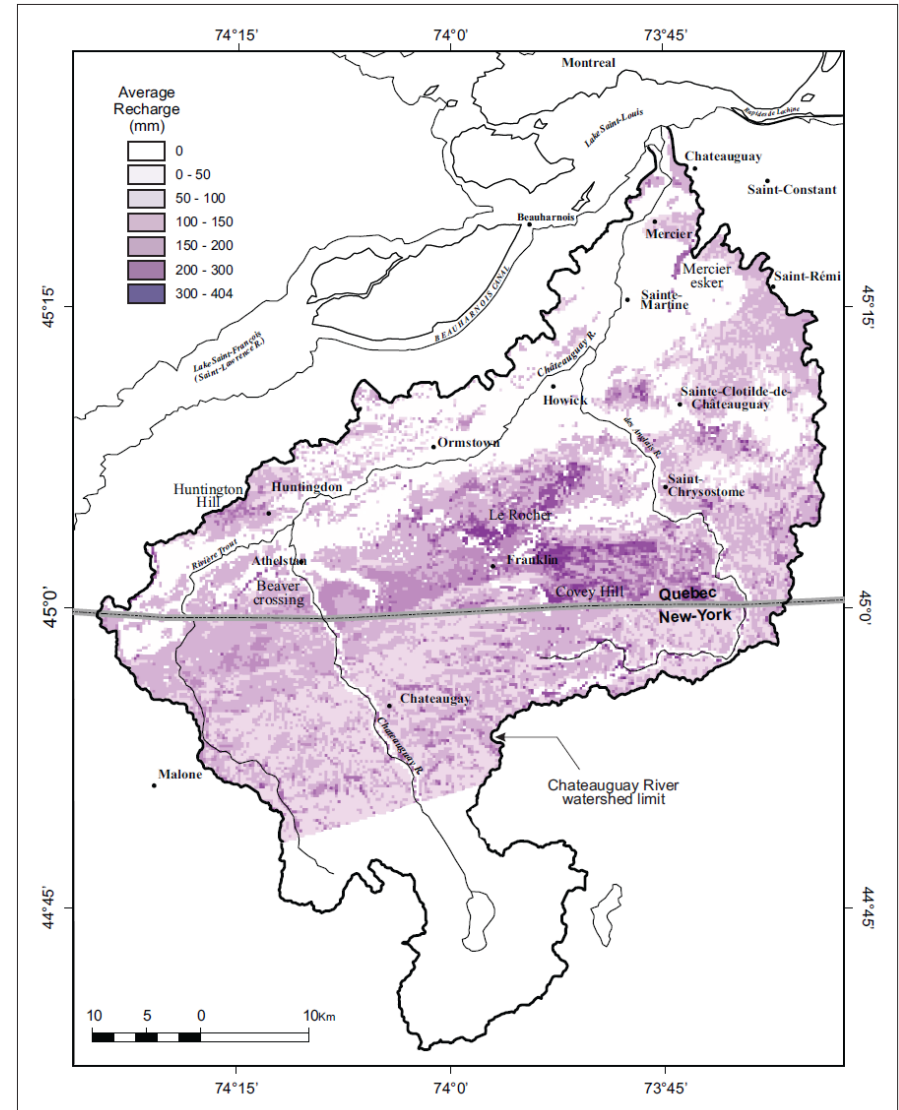
Systemes d'écoulement régionaux

- **Hydraulique des milieux fracturés:**
 - Nastev, Rouleau...
- **Mécanismes de recharge:**
 - Bilans: Fagnan, Larose-Charrette, Maltais...
 - Méthodes de terrain: Hamel, Gosselin...
 - HELP: Croteau, Rivard, Vigneault...
- **Processus géochimiques:**
 - Cloutier, Blanchette, Benoît...
- **Effets anthropiques:**
 - Bourque, Savard et al. (PEI), Bonton...
- **Liens eaux de surface et souterraine:**
 - Therrien, Paniconi, Larocque...

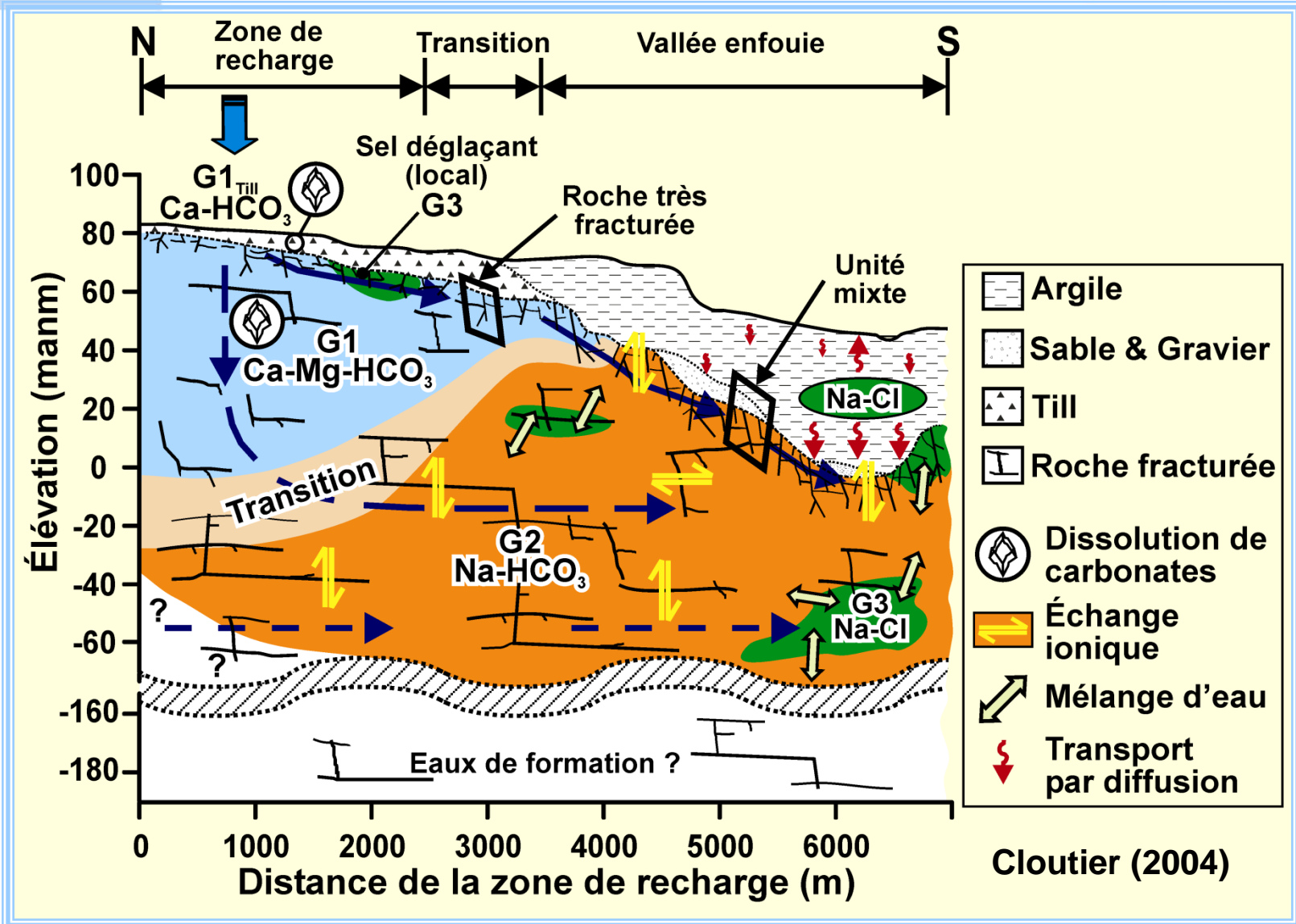
Recharge – Châteauguay



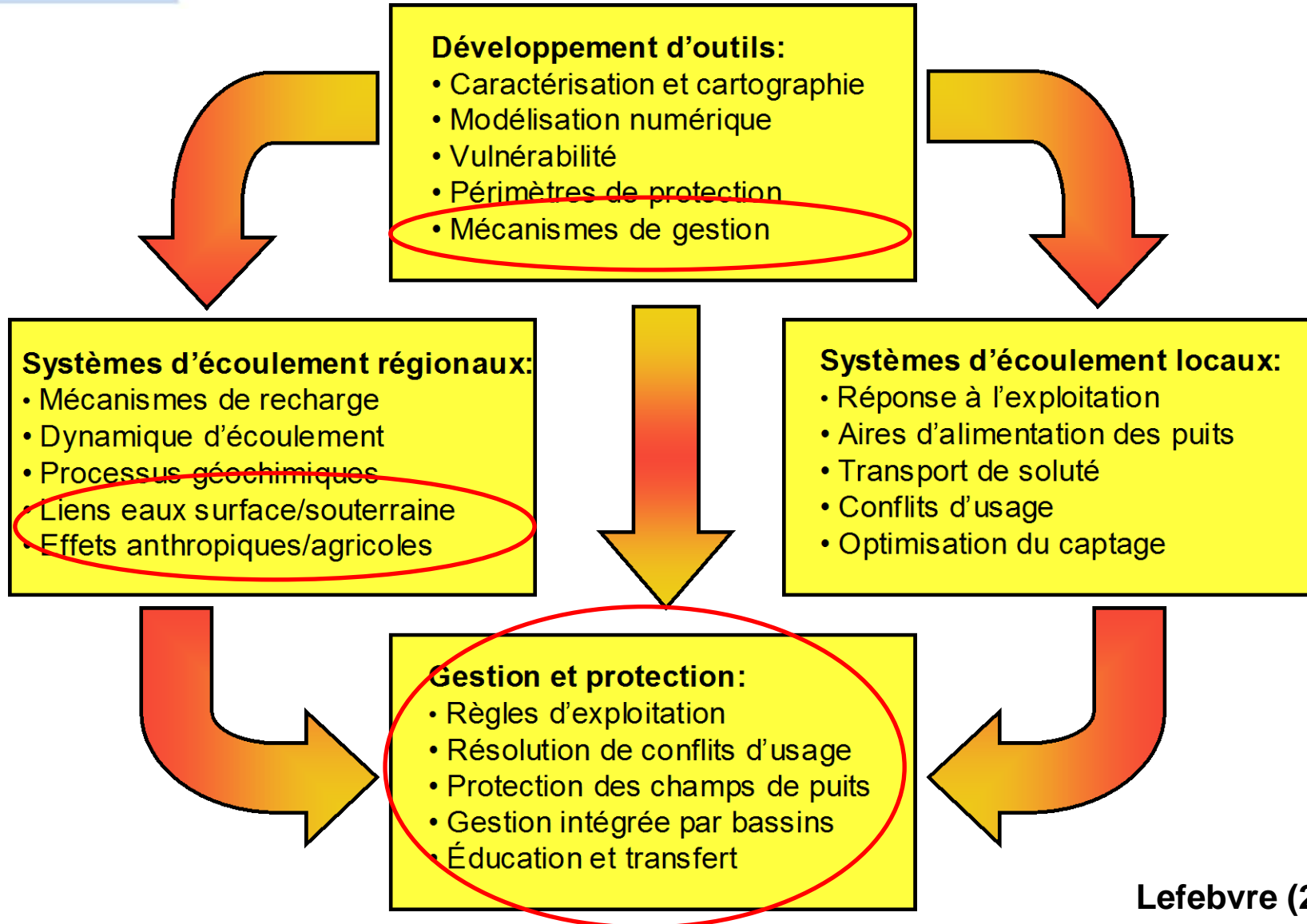
Croteau et al. (2010)



Hydrogéochimie – Basses-Laurentides



Développements futurs requis



Développement des partenariats

Culture de collaboration

- Une approche collaborative a toujours été favorisée pour la réalisation des projets antérieurs au PACES
- La CGC et le MDDEP ont collaboré dans la réalisation des projets au Québec
- Les universités ont participé aux projets qui ont permis la formation aux 2^e et 3^e cycles (INRS, U. Laval, UQAM, UQAC initialement)
- Implication de partenaires régionaux et de recherche (USGS, AgCan, Env. Can., etc.)

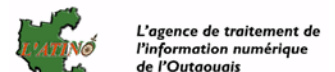
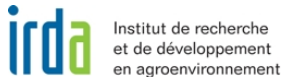
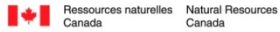
Participants – Basses-Laurentides



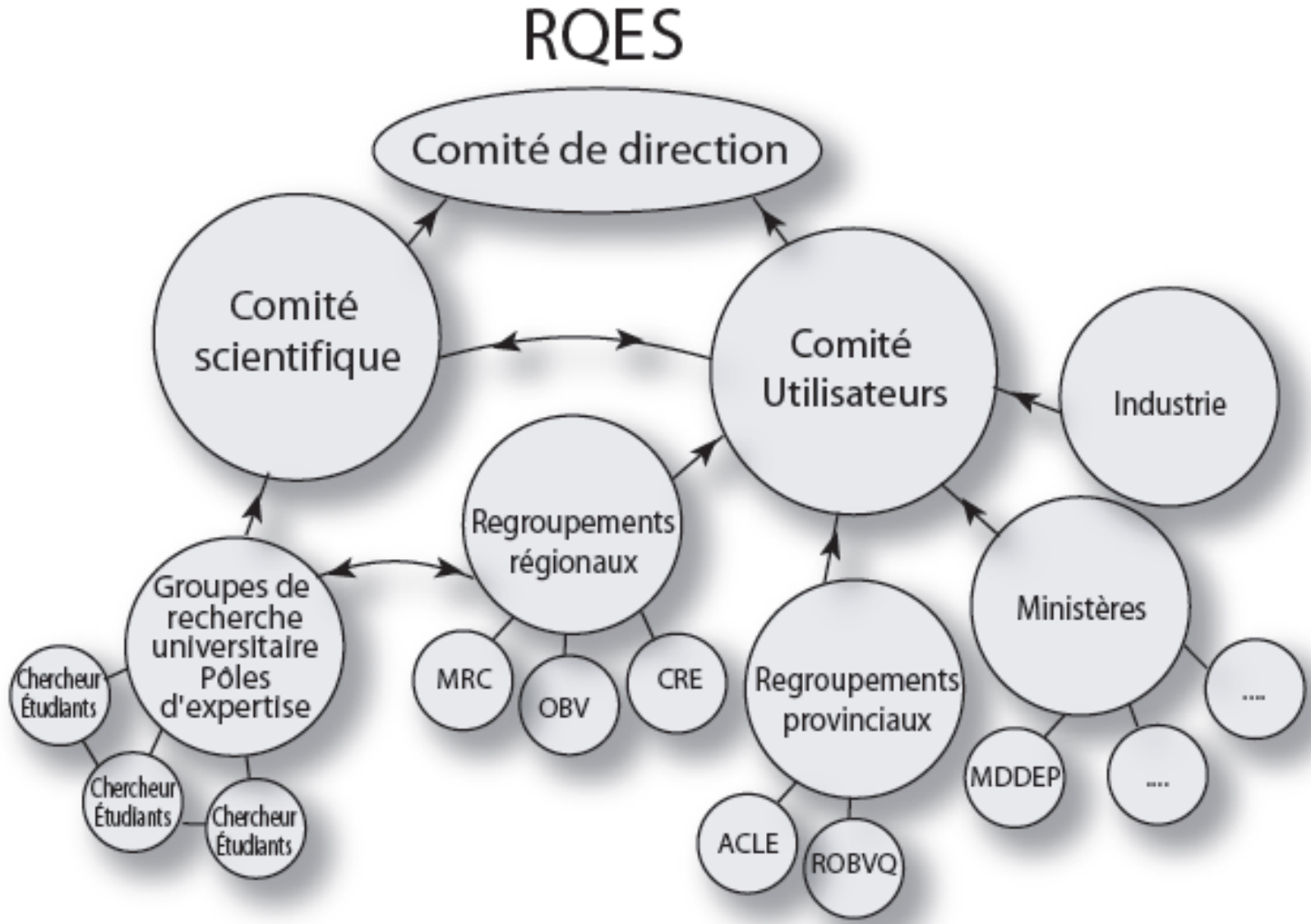
Partenaires GRIES 2011...



Palmer et al. (2011)



RQES – Chercheurs et partenaires



Conclusions

- Les projets réalisés au Québec par la CGC avec le MDDEP ont établi les bases de la cartographie hydrogéologique:
 - Établissement des méthodes de cartographie
 - Études sur des sujets de recherche pertinents
 - Développement des partenariats
- Les opportunités du PACES et du FQRNT impliquent aussi de grandes responsabilités
- Le RQES, sur la base des résultats PACES, doit supporter une gestion informée des aquifères par les partenaires régionaux

INRS

Université d'avant-garde



SE =

$$\frac{1}{n_2 - p_2 - q_2}$$

$$\frac{dQ \text{ carbonus} / dt}{N \times Q / A \text{-prey}} \times 100$$

206 pb/207 pm

Weight (mass/length)

Exotherm

kDa

116-
66-
45-
31-
21.5-
14.5-
6.5-

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

$u(t)$

$u(s)$

$u(t)$

100as

100fs

(A) $\epsilon < 0$

(B) $\epsilon = 0$

(C) $\epsilon > 0$

$[Cd] - [Cd^{2+}] = 1.0 \text{ nmol/L}$

...ncorporalités. L'espace occupe a.
...logique des mutations sociales, économique
de la société québécoise. L'espace s'inscrit
...l'action publique et des rapports sociaux.
...ant à comprendre

1961-1978

1946-1960

Avant