

Jasmin Raymond 

LE POTENTIEL GÉOTHERMIQUE DU CANADA AVEC REGARD SUR LE QUÉBEC

1^{er} partie : Rapport de la Commission géologique du Canada sur le
potentiel géothermique du pays

2^{ème} partie : Travaux récents sur le potentiel géothermique des Basses-
Terres du Saint-Laurent (INRS – U. Laval)

RQES-GRIES, 24 octobre 2012

Suivez-moi sur le web

 Google scholar

 Linked in

 Prezi

www.hydro-geo.net

CanGRC

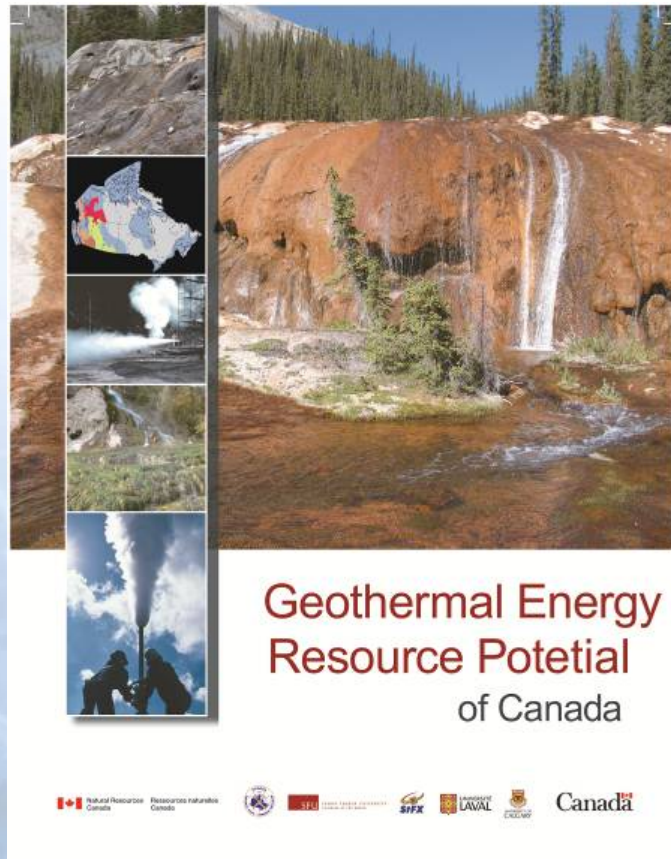


Canadian Geothermal Research Council

www.cangrc.ca



Le potentiel géothermique du Canada avec regard sur le Québec, 1^{er} partie



- Grasby, S.E. – CGC
- Allen, D.M. – SFU
- Bell, S. - Sigma H
- Chen, Z. – CGC
- Ferguson, G. – SFX
- Jessop, A. – CGC
- Kelman, M. – CGC
- Ko, M. – CGC
- Majorowicz, J. – UA
- Moore, M. – UC
- Raymond, J. – ÉTS
- Therrien, R. – Laval





Remerciements

Grasby, S.E. – CGC

http://geopub.nrcan.gc.ca/pop_f.php

Onglet - « Les plus populaires »

Dossier public 6914

Resources naturelles Canada / Natural Resources Canada

Ressources naturelles Canada
www.nrcan.gc.ca

English | Accueil | Contactez-nous | Aide | Recherche | canada.gc.ca

Ressources naturelles Canada > Secteur des sciences de la Terre > GéoPub

GéoPub
Les 50 publications les plus populaires disponibles pour téléchargements gratuit

1. [Geological map of Canada / Carte géologique du Canada](#); Wheeler, J O; Hoffman, P F; Card, K D; Davidson, A; Sanford, B V; Okulitch, A V; Roest, W R. Commission géologique du Canada, Cartes série "A" 1860A, 1996; 2 feuilles
2. [Surficial materials of Canada / Matériaux superficiels du Canada](#); Fulton, R.J. Commission géologique du Canada, Cartes série "A" 1880A, 1995.
3. [Fourth generation seismic hazard maps of Canada: Maps and grid values to be used with the 2005 National Building Code of Canada](#); Halchuk, S; Adams, J. Commission géologique du Canada, Dossier public 5813, 2008; 32 pages
4. [winTWO \(version 2.3\): a software package for performing internally-consistent thermobarometric calculations](#); Berman, R.G. Commission géologique du Canada, Dossier public 5462, (éd. 2.34) 2007; 41 pages
5. [Gold deposits of the world: distribution, geological parameters and gold content](#); Gosselin, P; Dubé, B. Commission géologique du Canada, Dossier public 4895, 2005; 111 pages
6. [Geothermal energy resource potential of Canada](#); Grasby, S E; Allen, D M; Chen, Z; Ferguson, G; Jessop, A; Kelman, M; Ko, M; Majorowicz, J; Moore, M; Raymond, J; Therrien, R. Commission géologique du Canada, Dossier public 6914, 2011; 322 pages
7. [The "shale gas" resource potential of Canada: a preliminary assessment of possibilities](#); Hamblin, A.P. Commission géologique du Canada, Dossier public 5384, 2006; 108 pages
8. [A standardized coal resource/reserve reporting system for Canada / Méthode d'évaluation normalisée des ressources et des réserves canadiennes de charbon](#); Hughes, J D; Klatzel-Mudry, L; Nikols, D J. Commission géologique du Canada, Études 88-21, 1989; 17 pages
9. [Deglaciation of North America](#); Dyke, A S; Moore, A; Robertson, L. Commission géologique du Canada, Dossier public 1574, 2003; 2 feuilles
10. [Seismic Hazard Earthquake Epicentre File \(SHEEF\) used in the fourth generation seismic hazard maps of Canada](#); Halchuk, S. Commission géologique du Canada, Dossier public 6208, 2009; 16 pages (1 feuille)
11. [Gold deposits of Canada: distribution, geological parameters and gold content](#); Gosselin, P; Dubé, B. Commission géologique du Canada, Dossier public 4896, 2005; 105 pages

Protocole d'entente
License d'utilisation sans restriction

Plan du site GéoPub
Contactez GéoPub
Aide GéoPub





Les chapitres



1. Introduction
2. Les types de ressources
3. Les systèmes géothermiques du Canada
4. Revue de la recherche en géothermie au Canada
5. Les ressources géothermiques du Canada
6. Les mines désaffectées
7. Les bassins sédimentaires
8. Le potentiel des systèmes géothermiques stimulés
9. Contraintes et structures régionales
10. L'impact environnemental des systèmes géothermiques
11. Évaluation économique et risques financiers

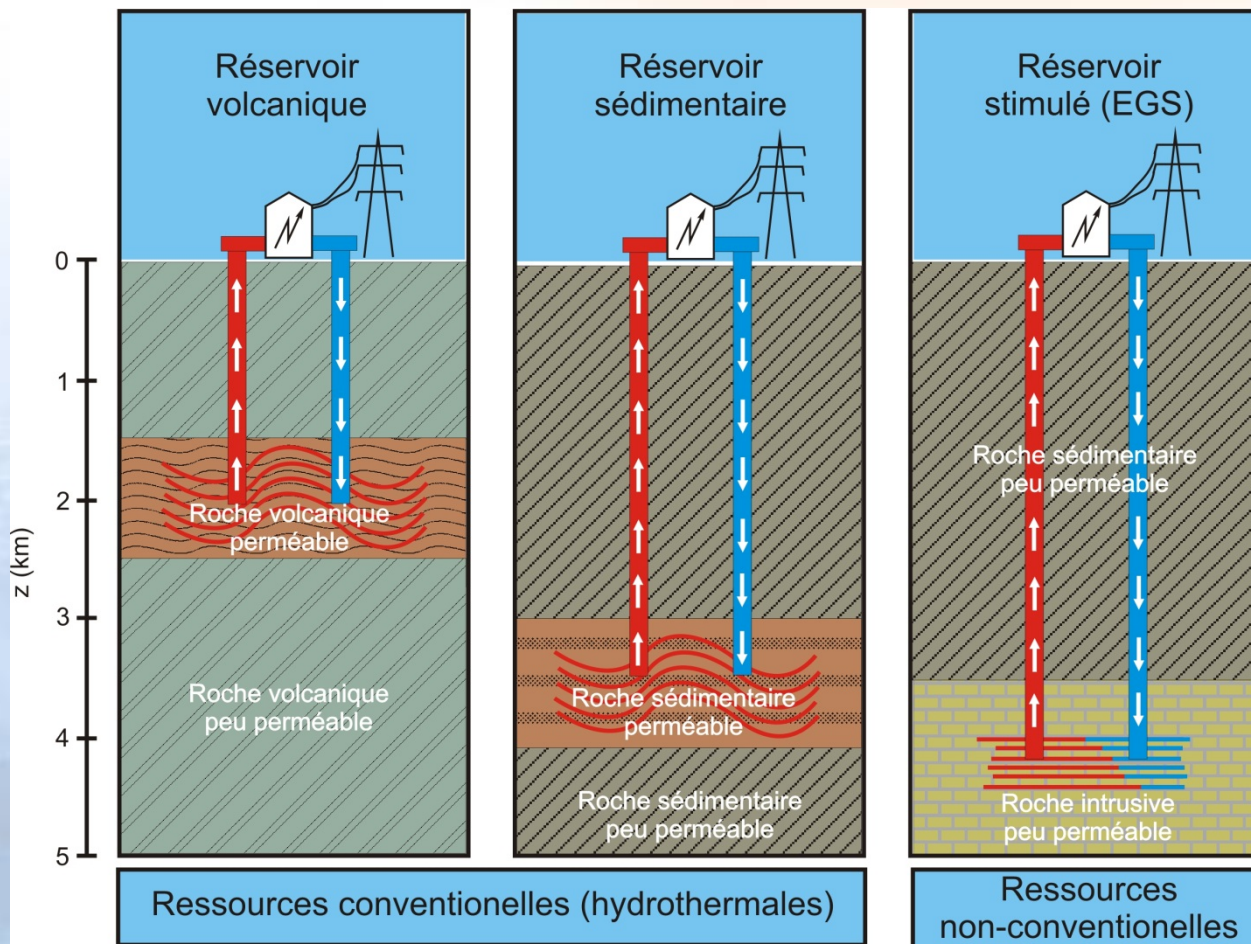




Production d'énergie géothermique



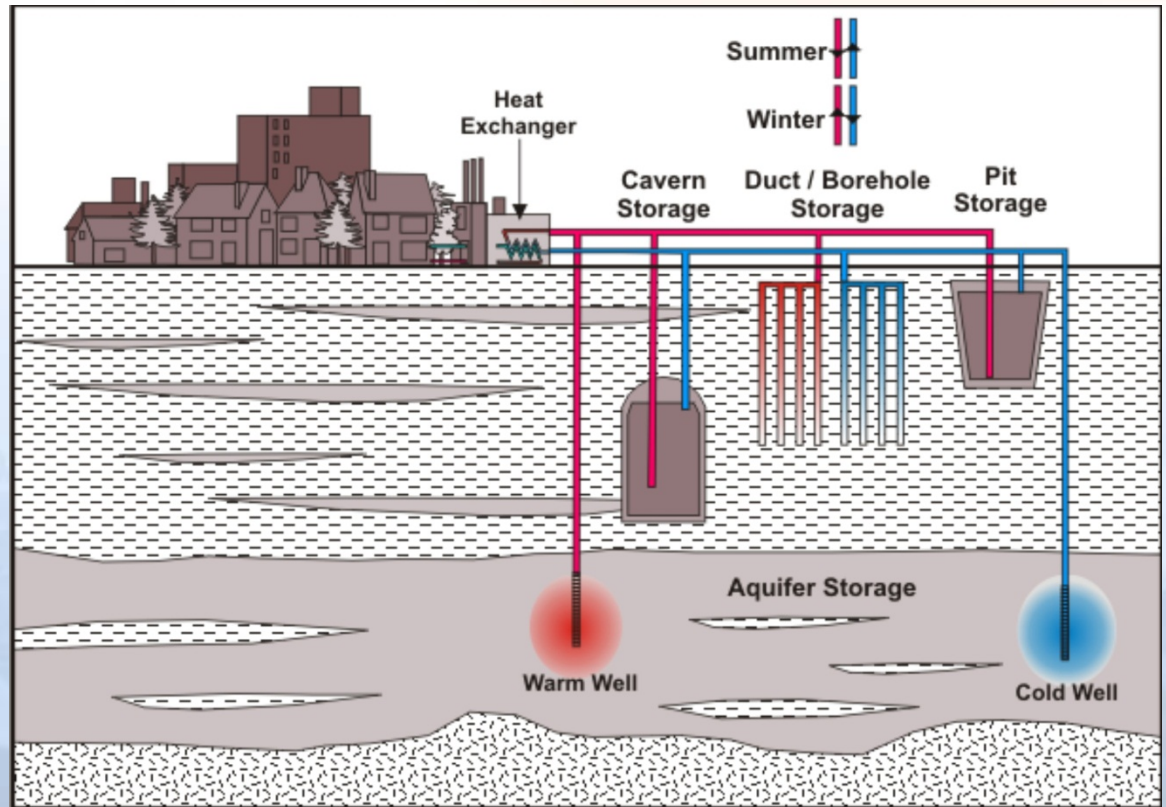
- **L'électricité** est générée à partir d'un fluide chaud capté d'un réservoir souterrain
- **1 - 5 km** de profondeur
- **80 - 350°C**



L'utilisation directe des ressources



- **Pompes à chaleur géothermique** (-10 °C à 30 °C)
- **Chauffage direct** et autres applications : déshydratation, pisciculture, balnéothérapie, etc. (30 à 80 °C)



IF Technology, 1995



Problématique & objectif de recherche



Les systèmes **géothermiques** utilisent des sources **renouvelables**

Le **coût** d'aménagement d'un système est par contre **élevé** puisque l'installation nécessite des **forages**

Objectif - réduire le coût d'installation pour contribuer au développement de la technologie

Trois **axes** de recherche sont à envisager :

- **Caractériser** les environnements géologiques favorables à l'installation
- Améliorer les **méthodes de conception** et d'exploitation
- Développer de **nouvelles technologies**



High temperature electrical generation

 *Hot dry rock*

 *Hot water - volcanic*

 *Hot sedimentary basins*

Low efficiency electrical

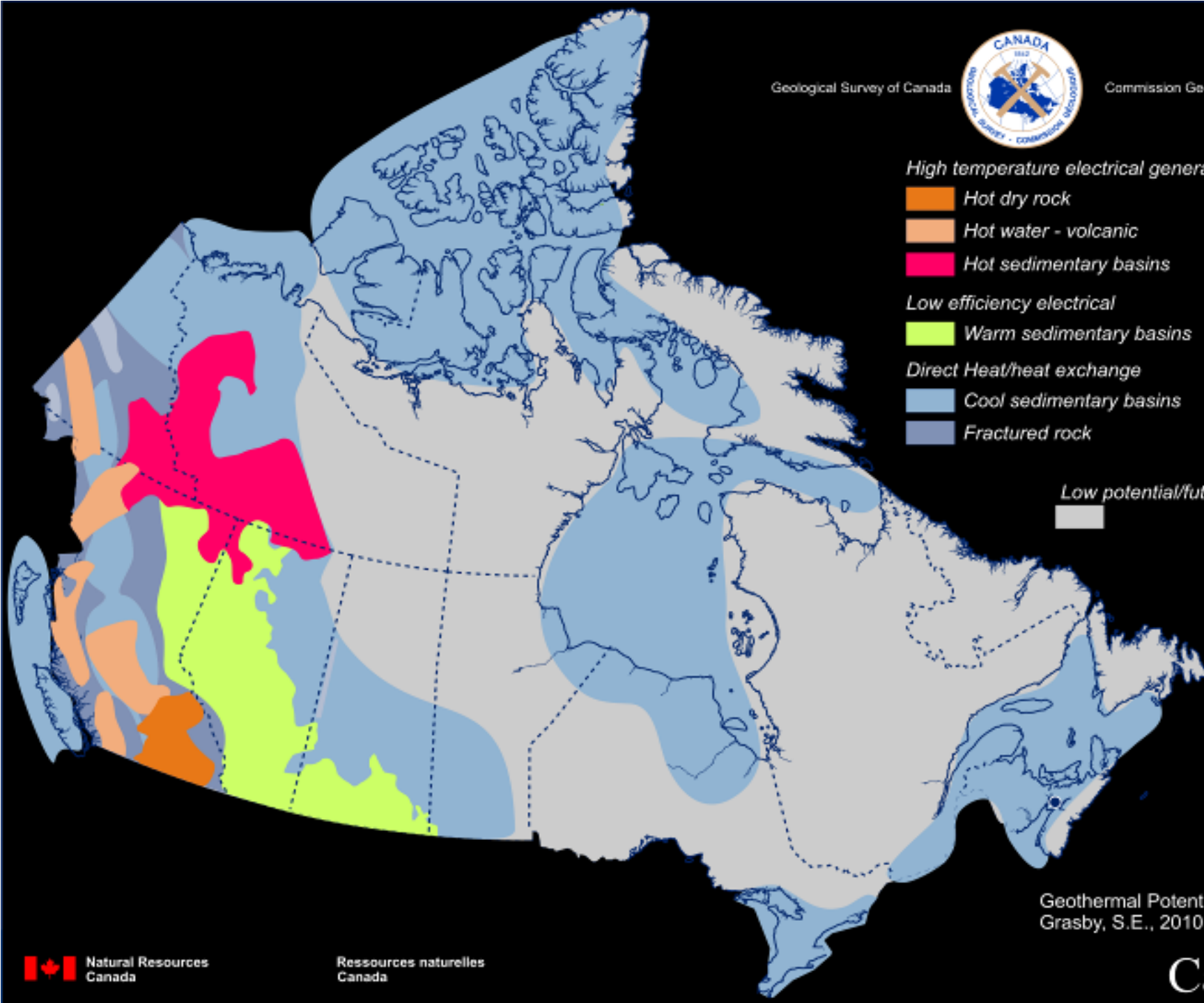
 *Warm sedimentary basins*

Direct Heat/heat exchange

 *Cool sedimentary basins*

 *Fractured rock*

 *Low potential/future EGS*



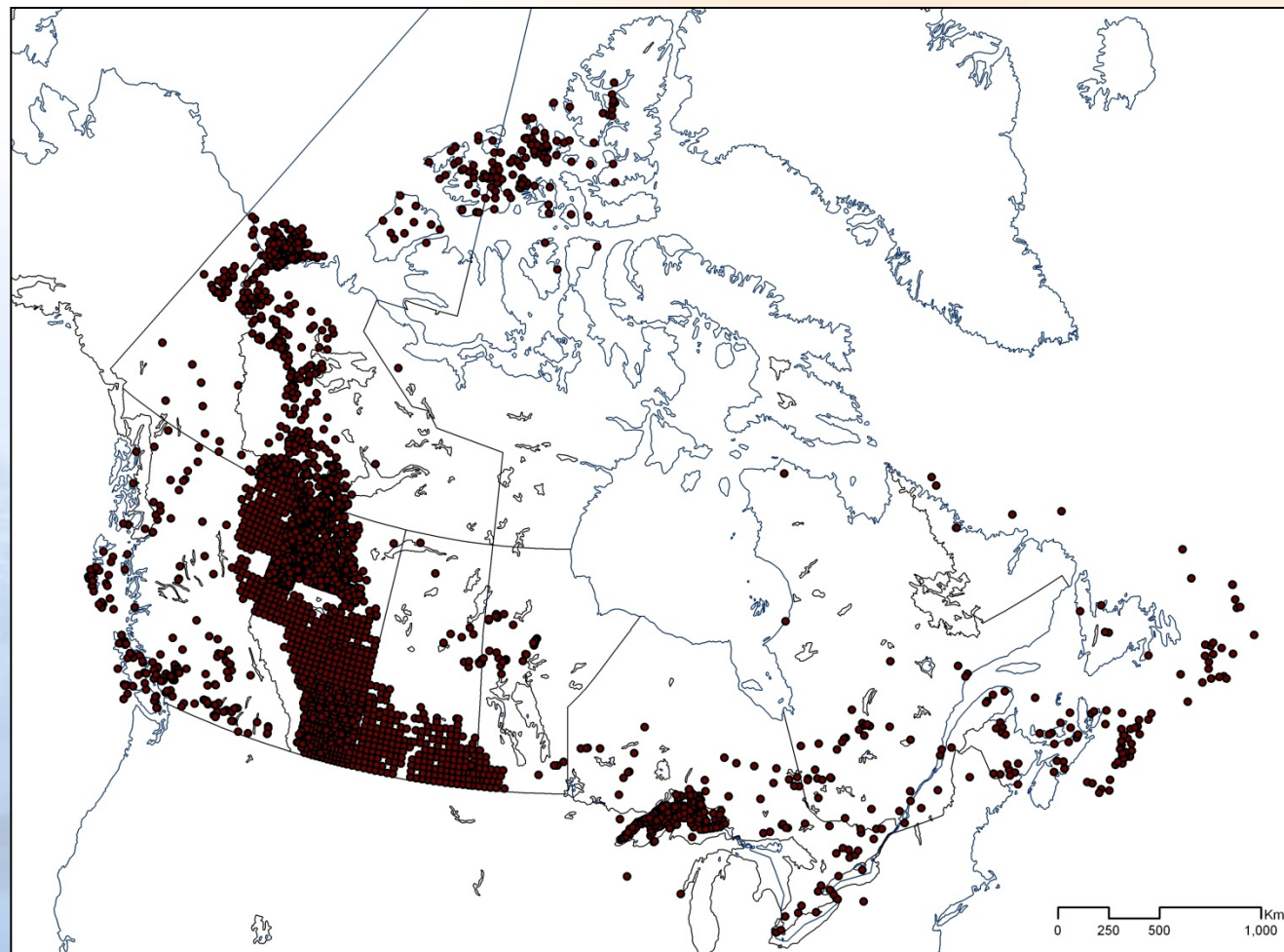
Geothermal Potential of Canada
Grasby, S.E., 2010



Évaluation des ressources – localisation des puits



- **3085 puits**
- Extrapolation sur un rayon d'environ 50 km
- Suffisant pour couvrir **40% du territoire canadien**



Gradient géothermique ($\Delta T/\Delta L$)

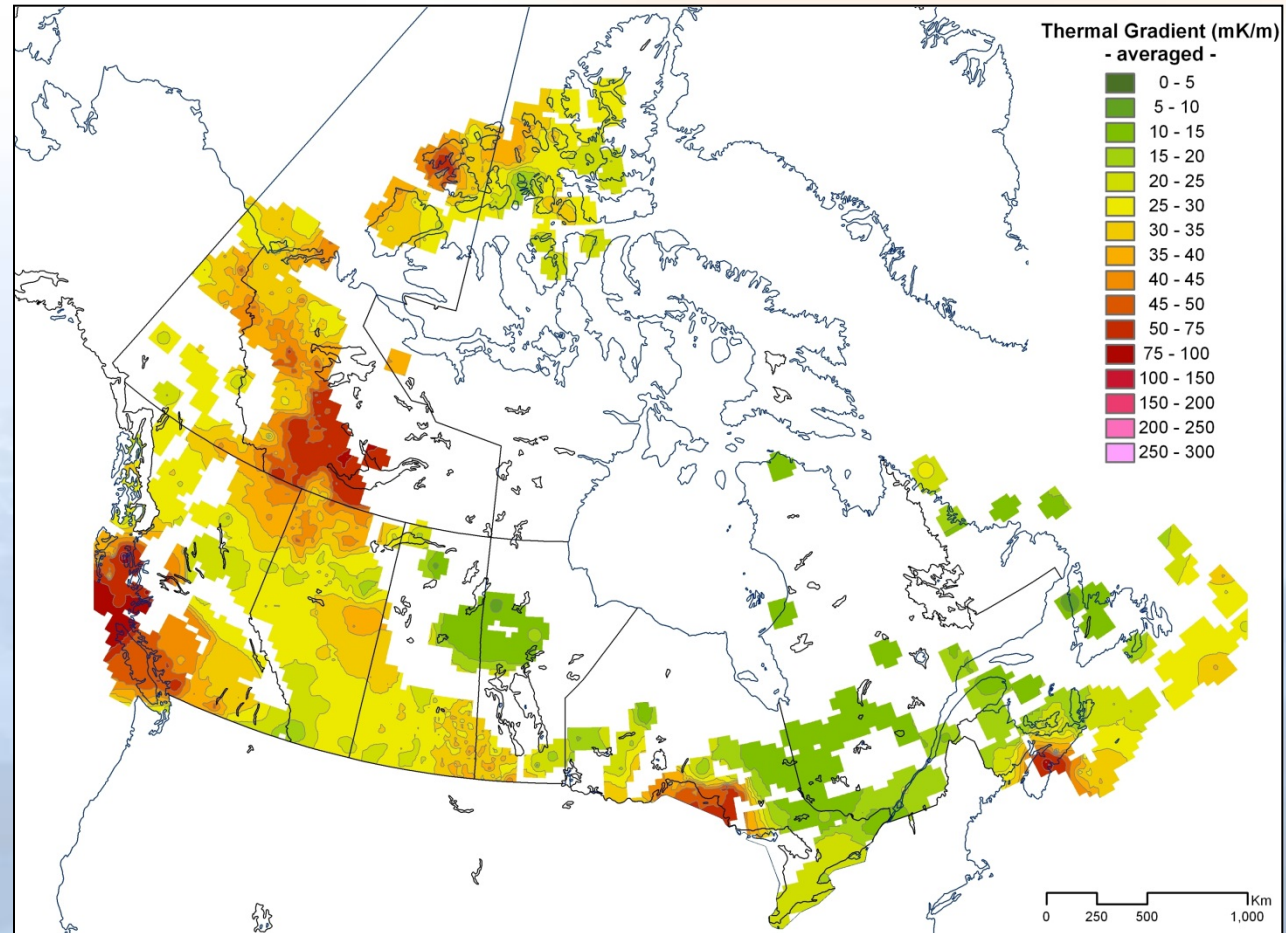


Élevé-Modéré

- Cordillère de l'ouest
- Bassin sédimentaire des Prairies
- Arctique
- Appalaches

Modéré-Bas

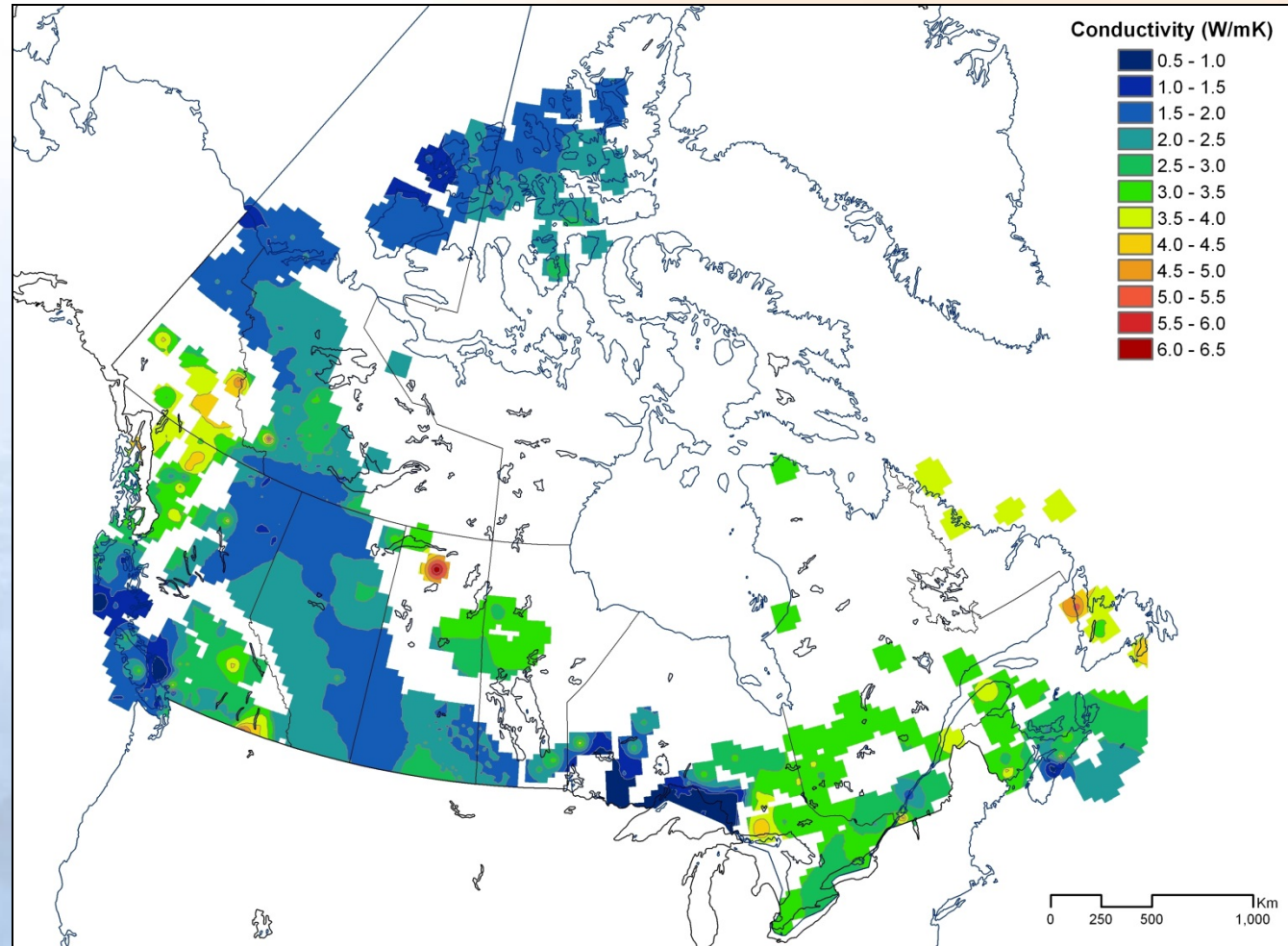
- Bouclier Canadien
- Autres bassins sédimentaires



Conductivité thermique du roc (λ)



- **Bassins sédimentaires** : λ faible à modérée
- **Ceintures orogéniques** : λ faible à élevée
- **Bouclier canadien** : λ modérée à élevée



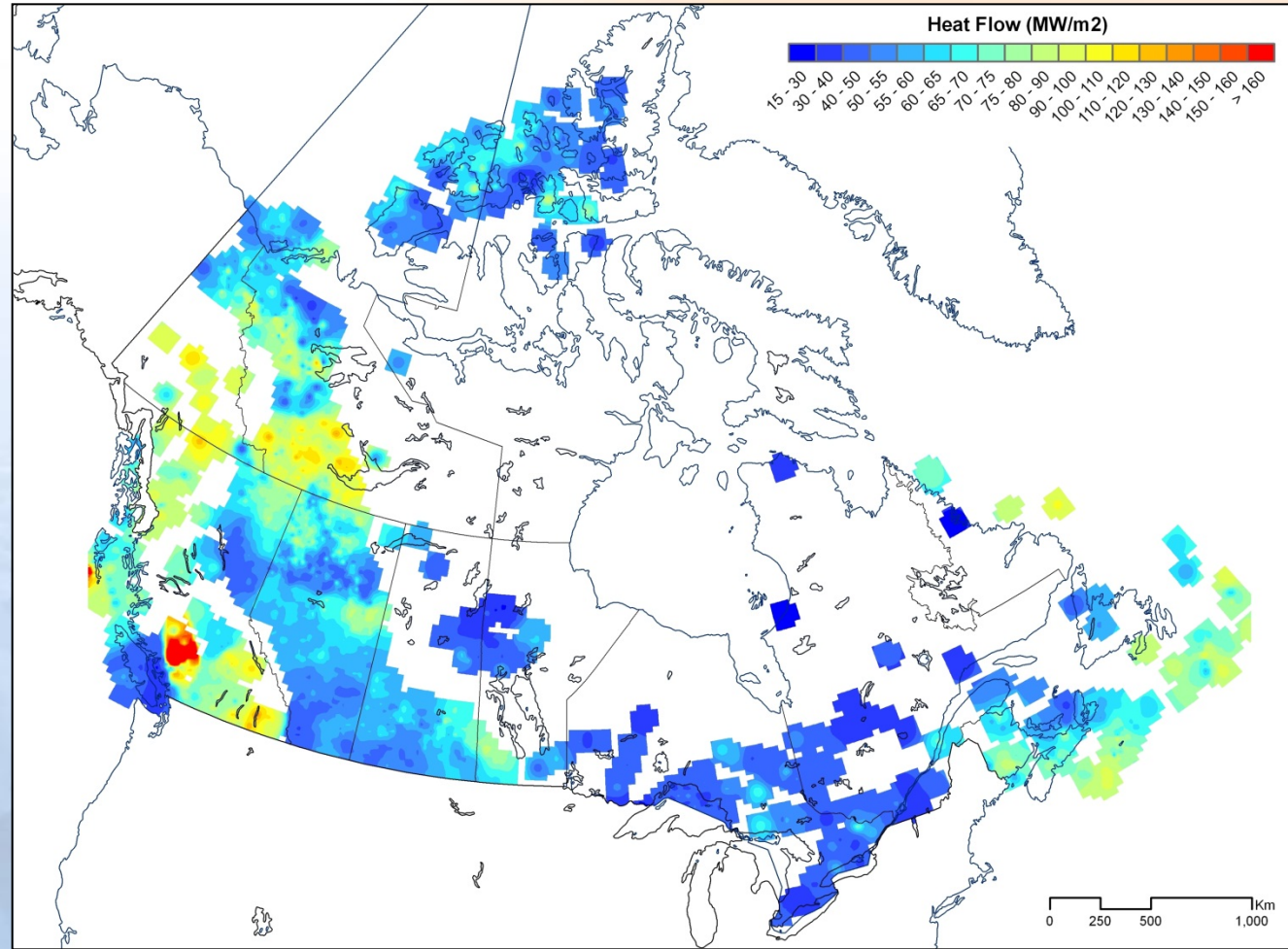


Flux de chaleur terrestre (q)

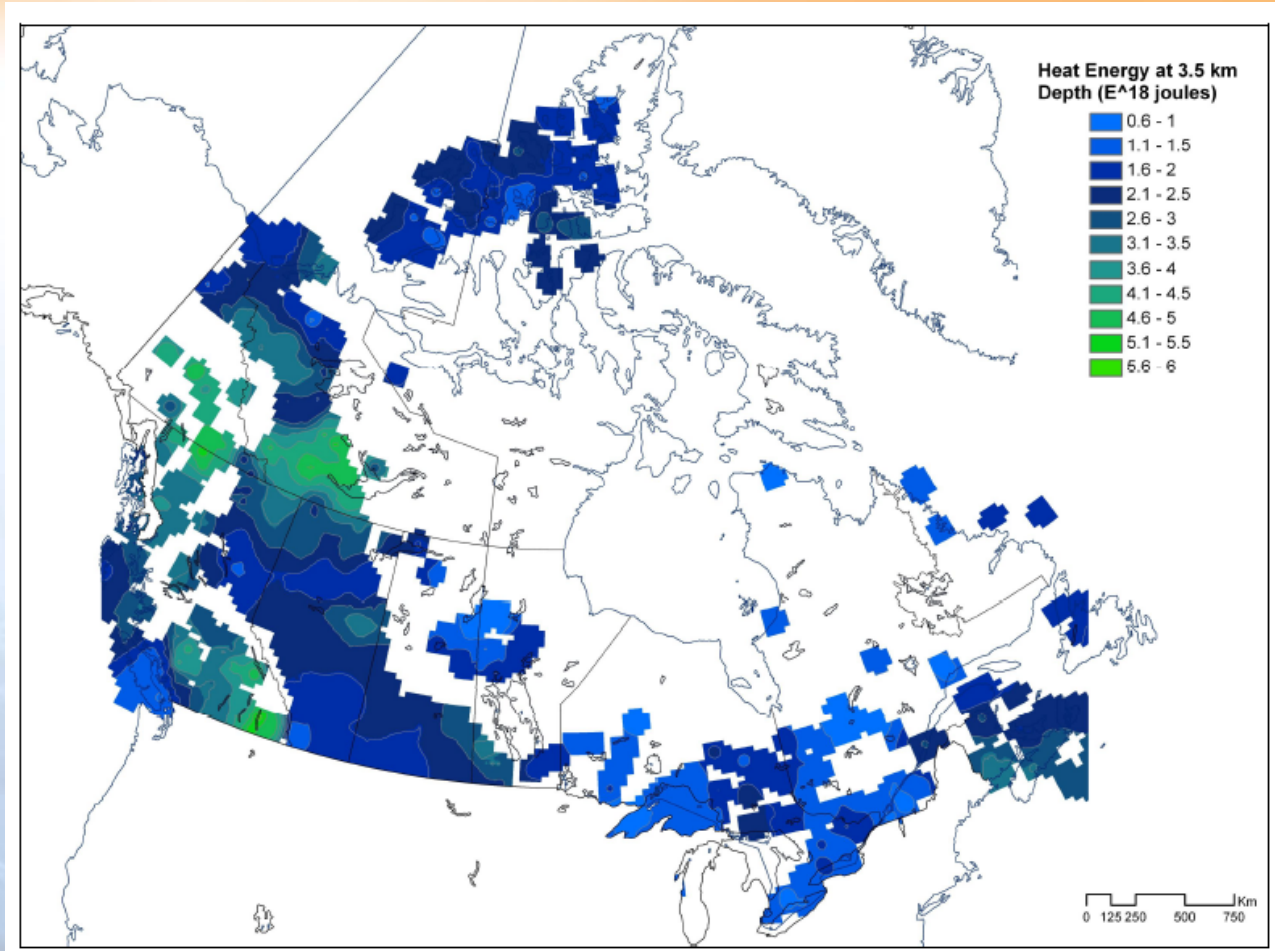


$$q = -\lambda \Delta T / \Delta L$$

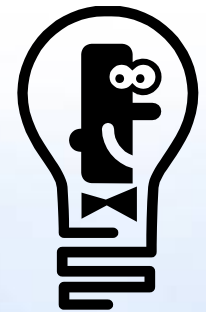
- q flux de chaleur (mW/m^2)
- λ conductivité thermique (W/mK)
- $\Delta T / \Delta L$ gradient géothermique (K/m)



Évaluation des ressources



7 000 à
15 000
kWh/a



100 W X 4h
= 400Wh

La quantité de chaleur dans le roc entre 2 et 4 km de profondeur est 3.8×10^{11} GWh

Plus 1 million de fois la consommation d'électricité au Canada

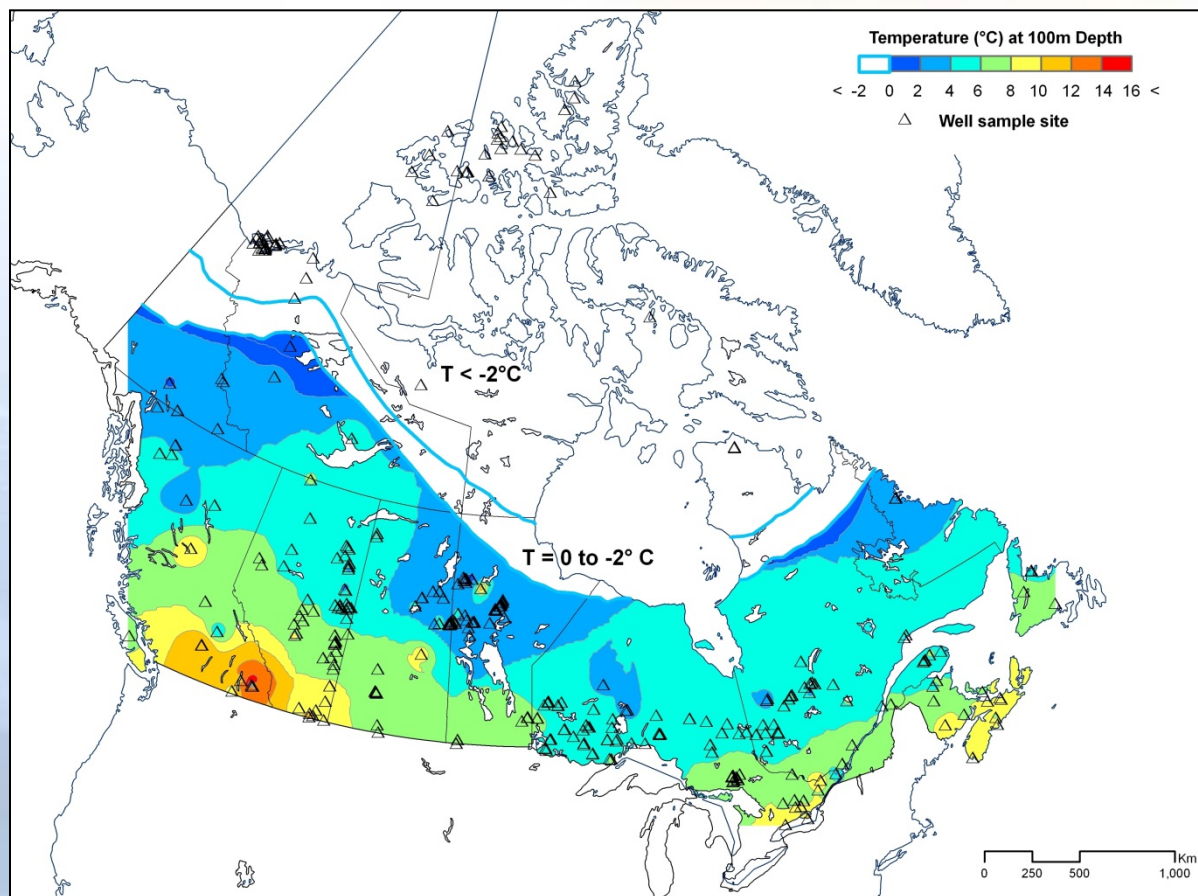




Température à 100 m de profondeur



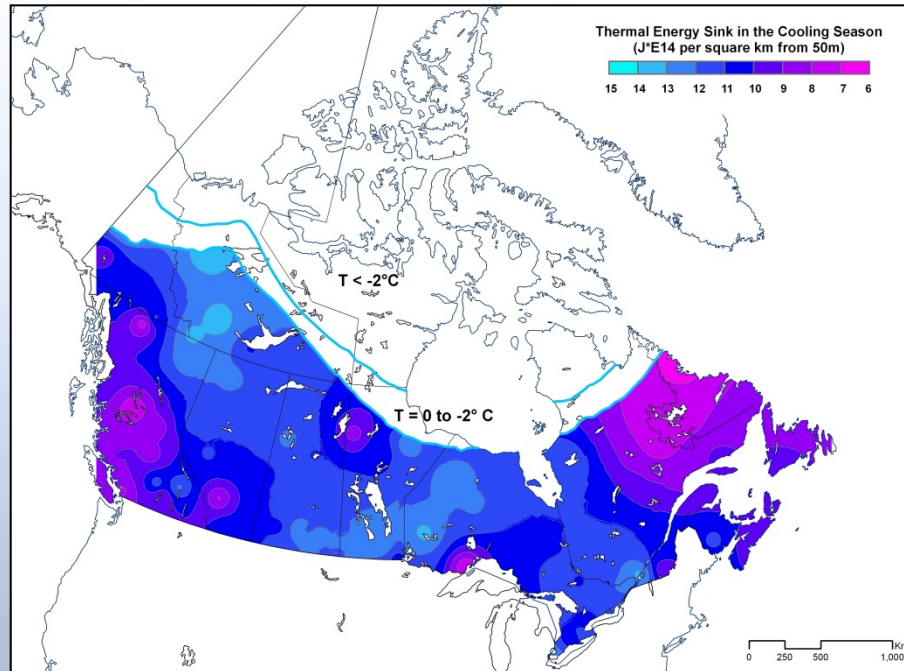
- **6 à 10 °C** dans les régions au sud



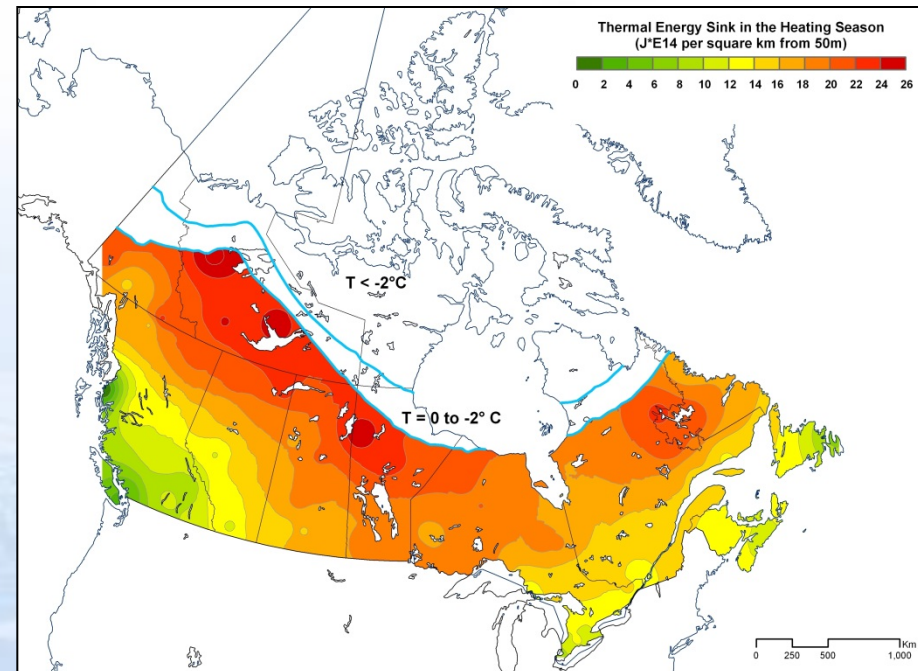


Bilan thermique à 50 m de profondeur

Climatisation



Chauffage



222 à 333 GWh/km² pour les régions au sud

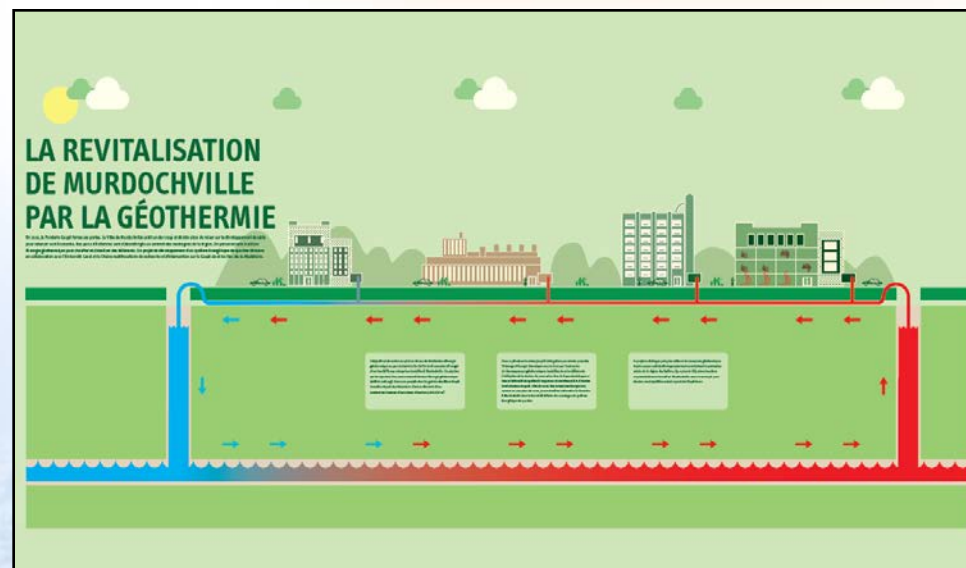




La géothermie et les mines

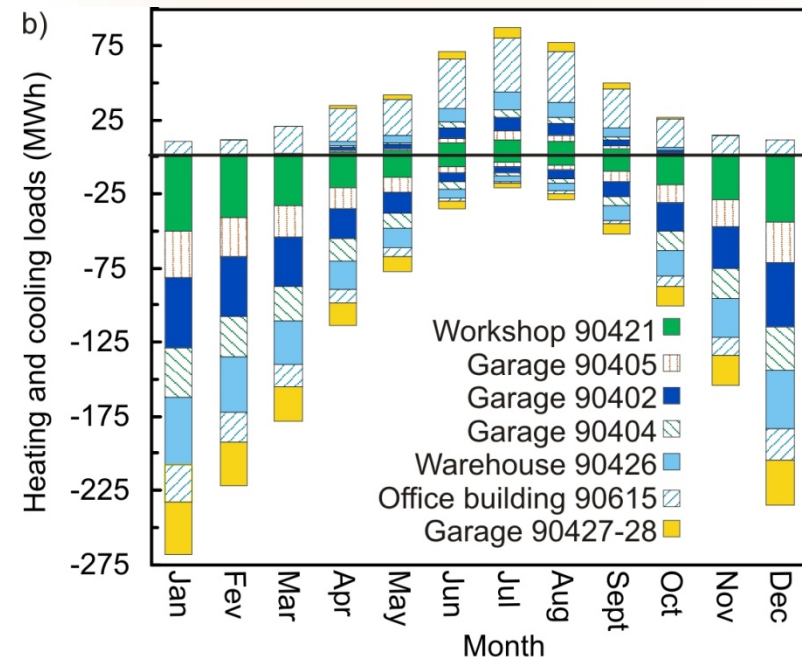
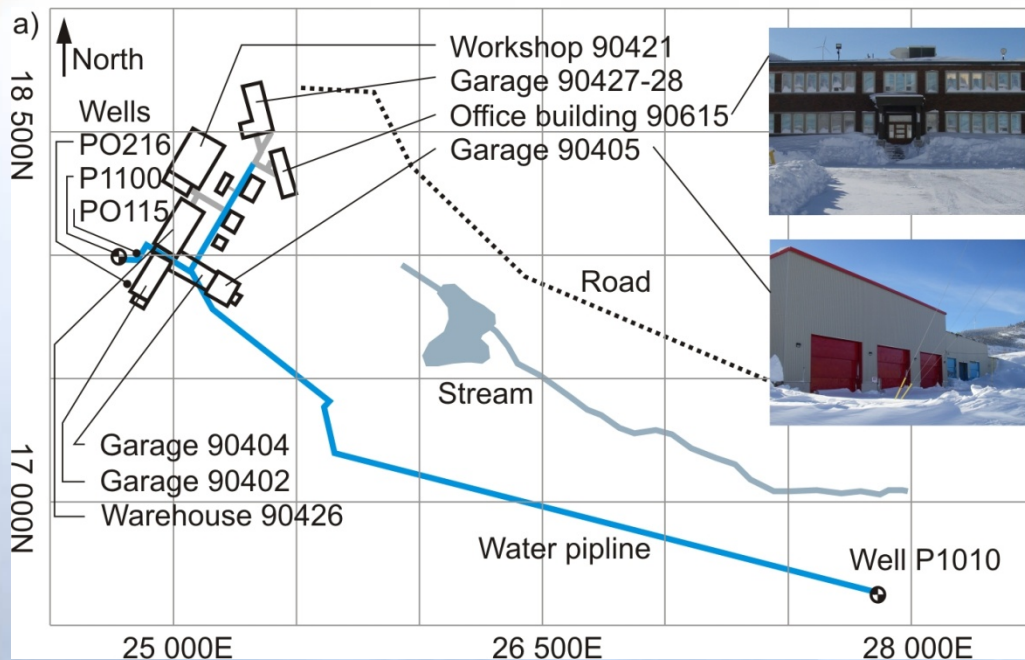


- L'eau d'une **mine inondée** peut être utilisée pour des fins de chauffage et de climatisation
- **Coût** d'installation **réduit** en évitant des forages



- **Système énergétique de quartier à Murdochville**
- Coût installation : 750 000 \$
- Économies d'énergie nettes : 175 000 \$/an (2 500 MWh)

Système énergétique de quartier au parc industriel



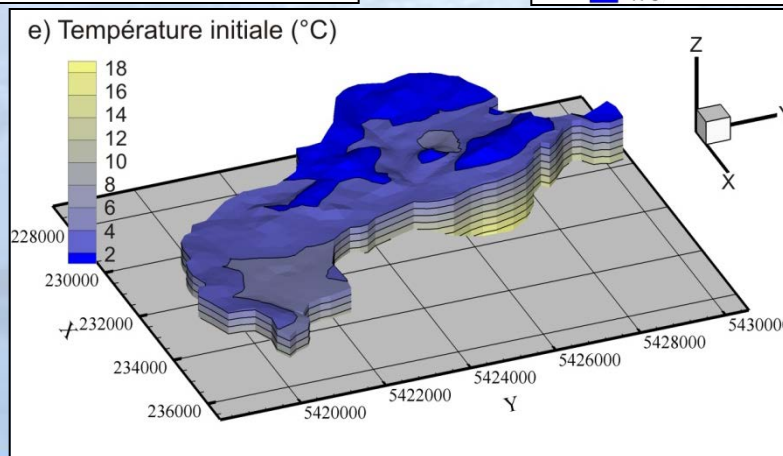
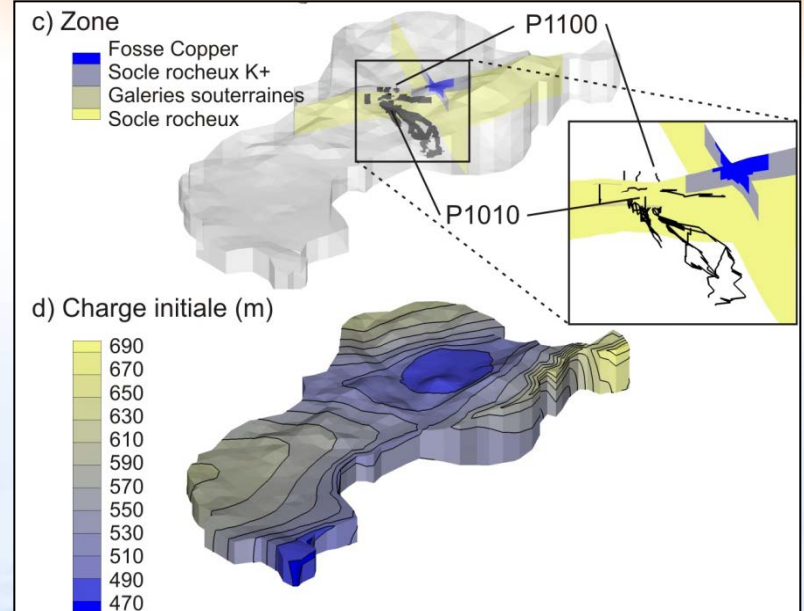
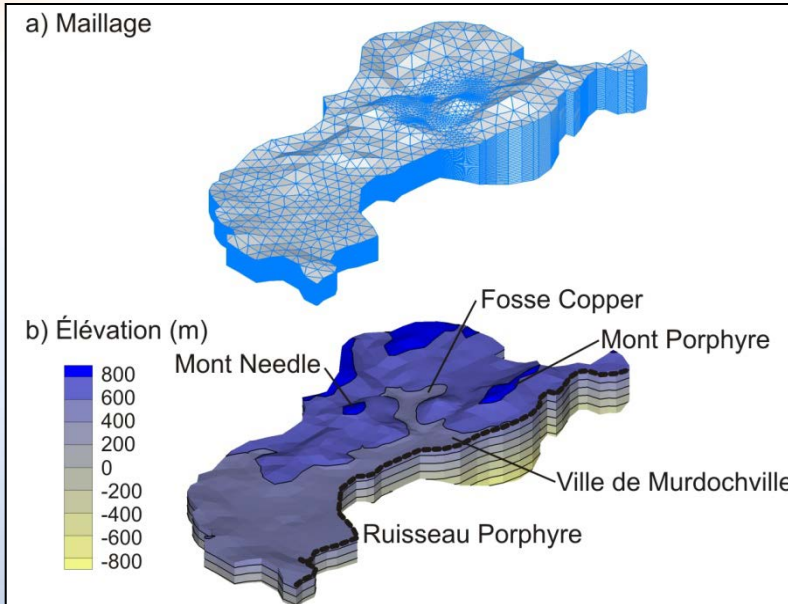
Charge annuelle

- Chau. -1 488 MWh
- Clim. 458 MWh

Pointe mensuelle

- Chau. (janvier) : -268 MWh
- Clim. (juillet) : 88 MWh

Optimisation du système avec simulations numériques (HGS)

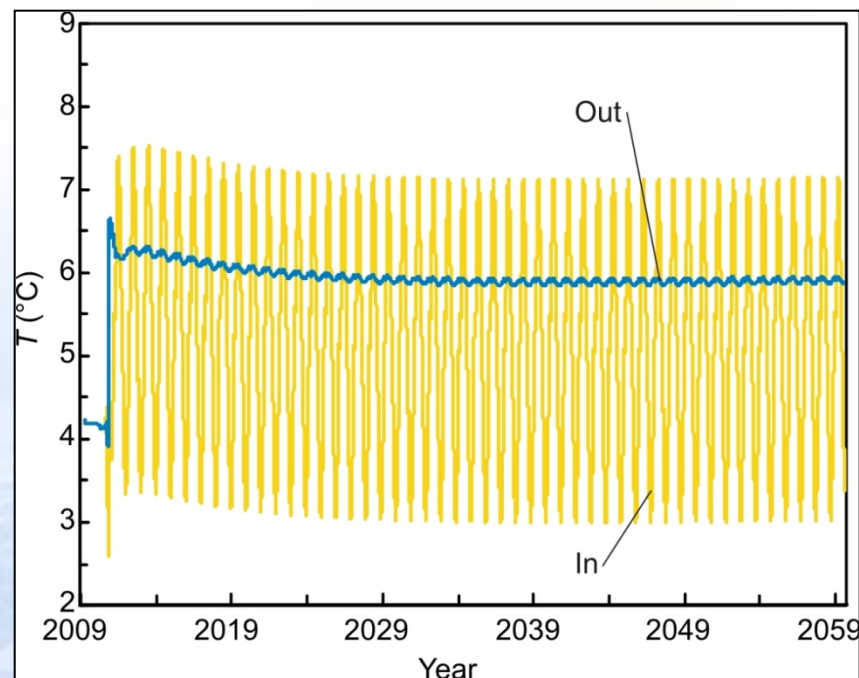




Prédictions : extraction de chaleur au débit d'opération maximum



- Simulations effectuées sur une période de **50 ans**
- Débit de pompage fixe **1000 GUSMP**
- Puissance thermique 1 MW
- Quantité d'**extraction de chaleur** variable
 - 2 × Charges
 - 3 × Charges (-4 344 MWh)
 - 4 × Charges
- **Critères**
 - Pompage (Out) ≥ 5 °C
 - Injection (In) ≥ 2 °C

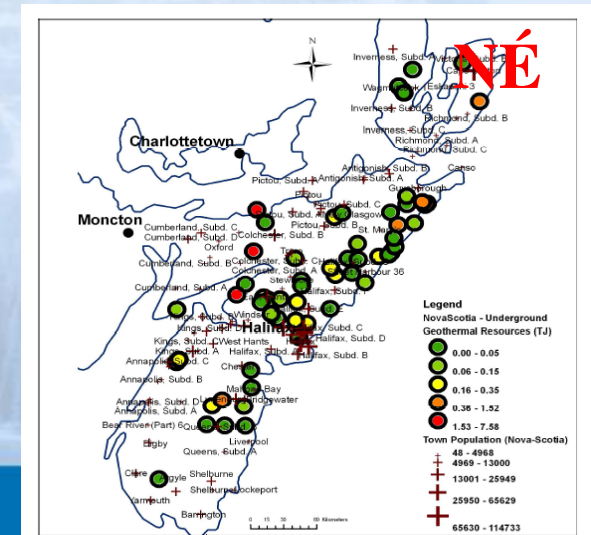
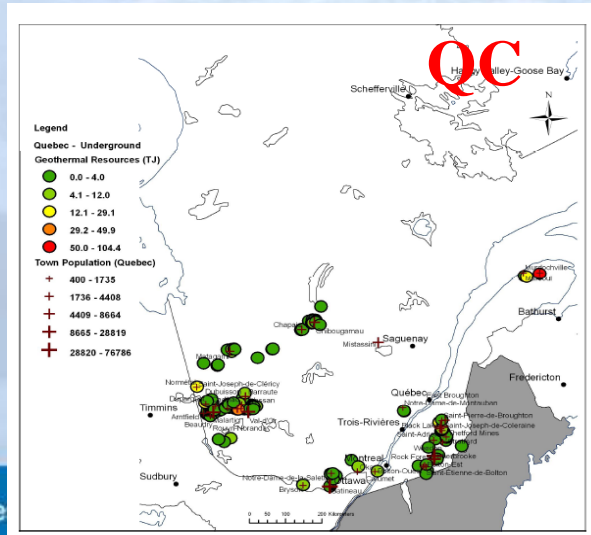
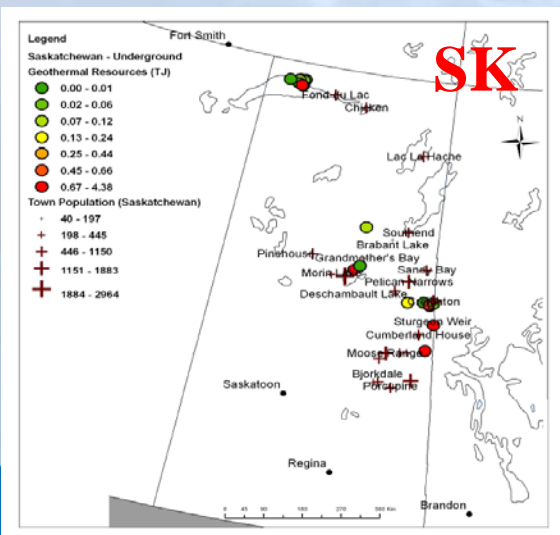
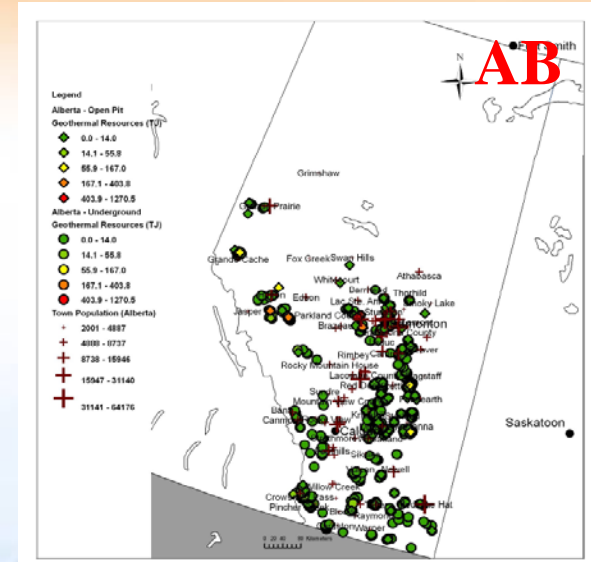
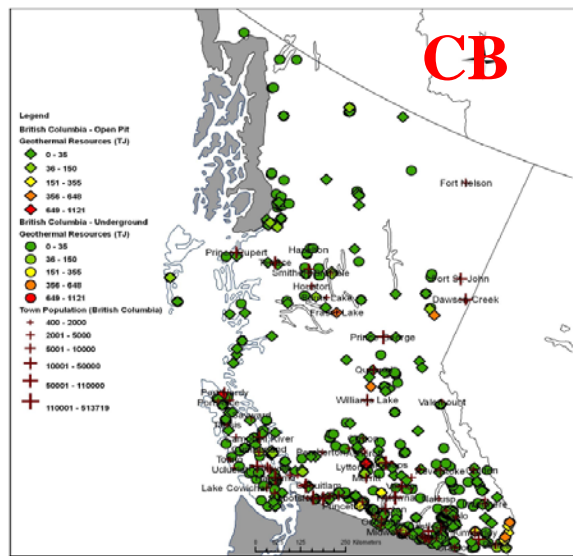




Inventaires des mines abandonnées



- 2 262 sites
- Ressources géothermiques 5 178 GWh
- Selon le contenu en eau et $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$

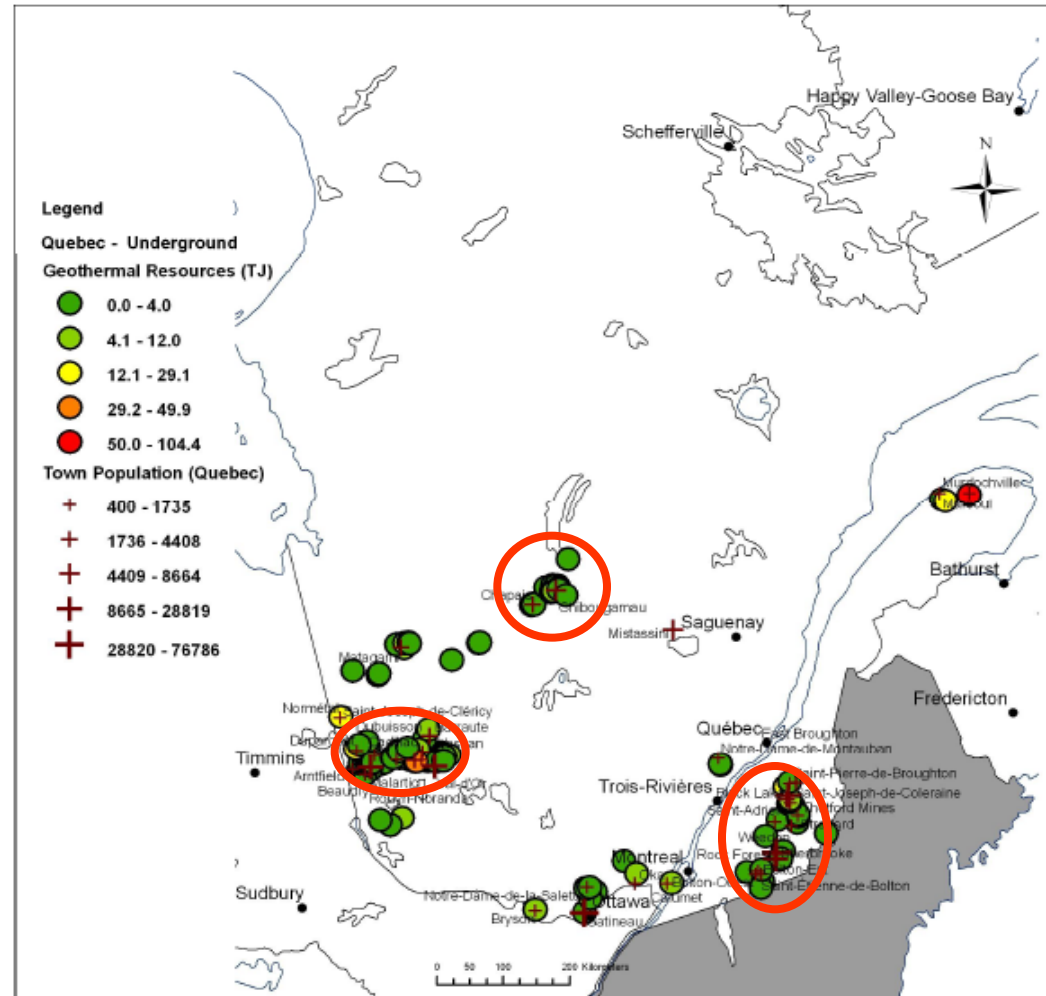




Les mines désaffectées au Québec

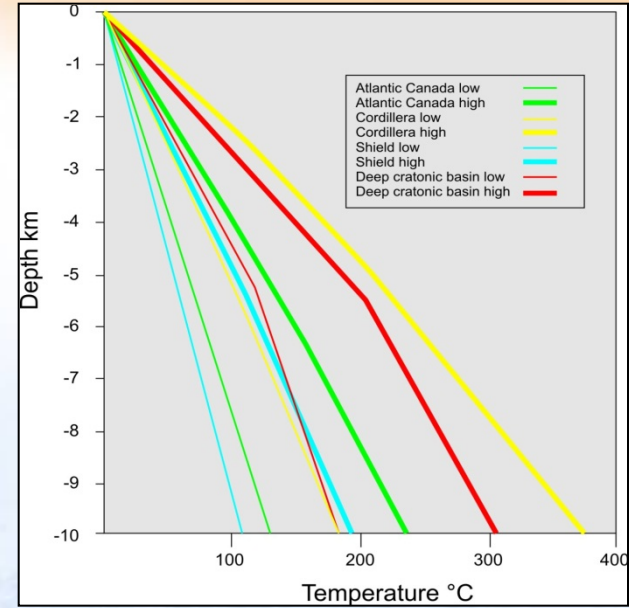
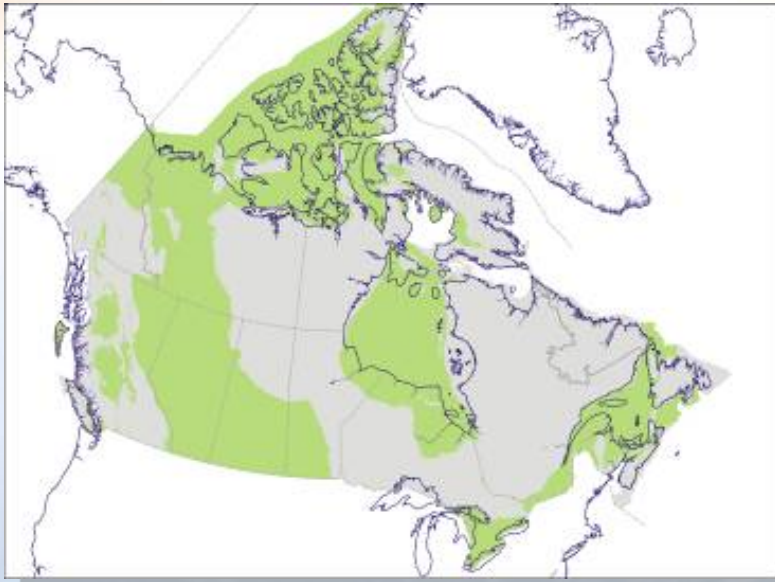


- **165 mines souterraines inactives**
- Ressources géothermiques **246 GWh**
- Moyenne :
 - 1.6 GWh

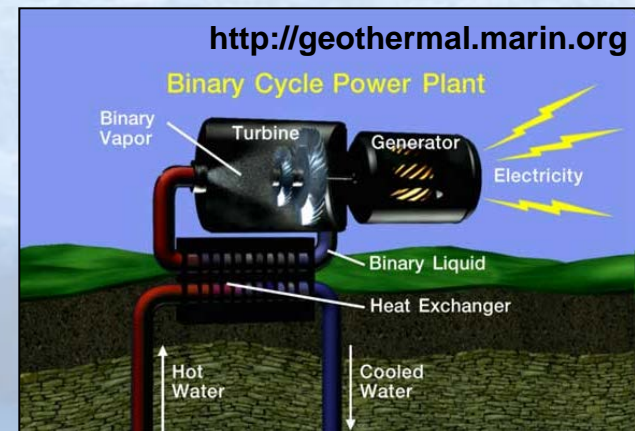




Les bassins sédimentaires



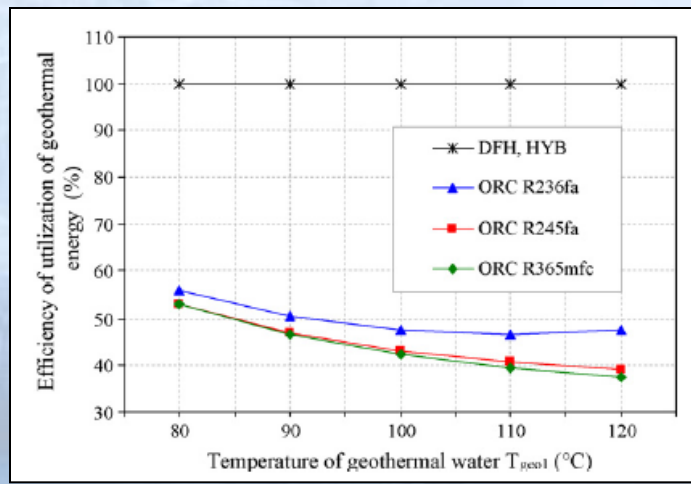
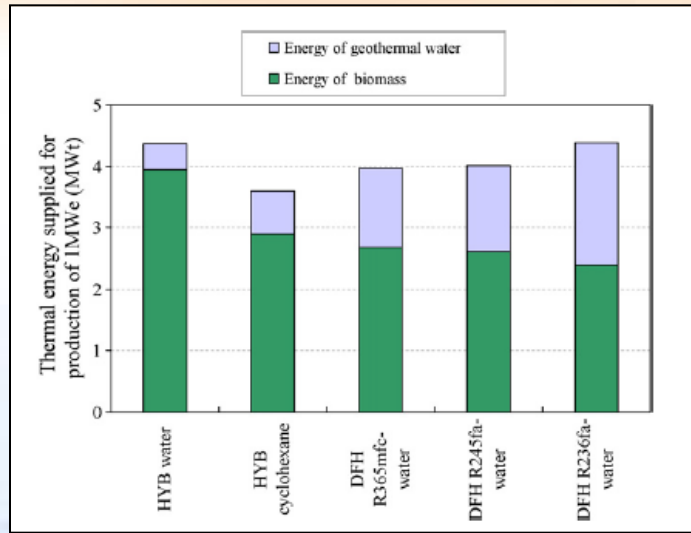
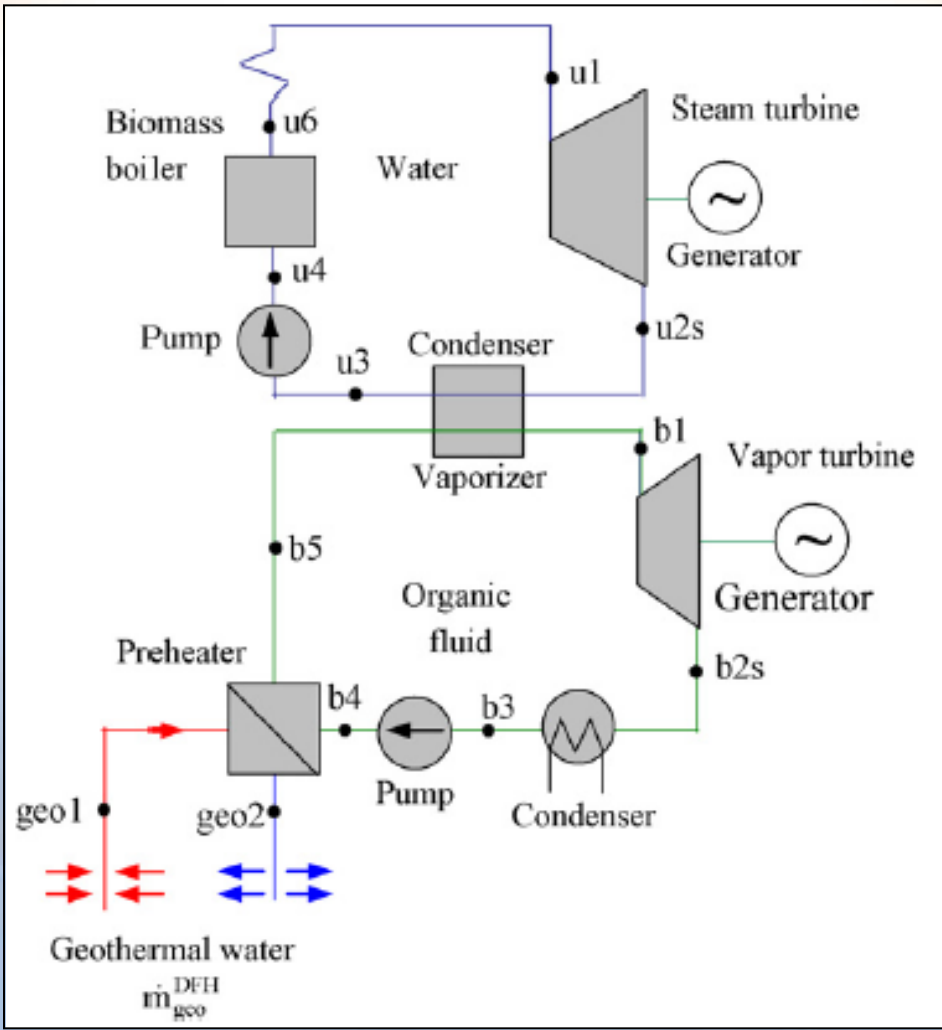
- Ressources abondantes
- Température modérée (80-150 °C)
- Production d'électricité avec centrales binaires



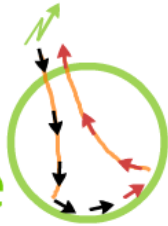


Centrale géothermique hybride

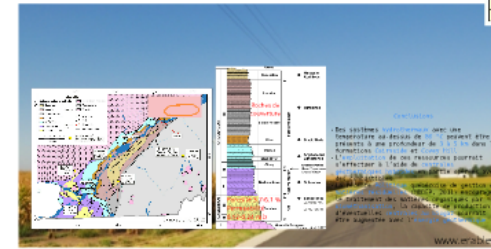
Borsukiewicz-Gozdur, 2010



Le potentiel géothermique du Canada avec regard sur le Québec, 2ème partie



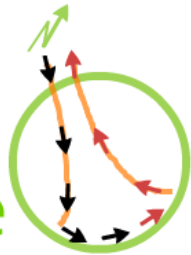
Bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent



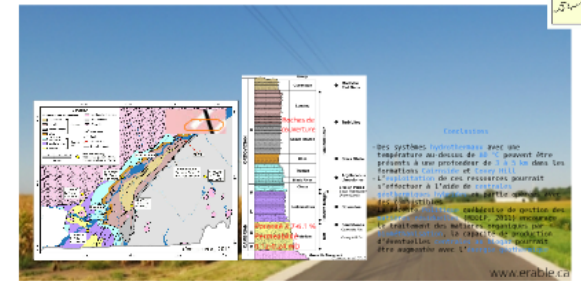
- Au **sud** du Québec
- 20 000 km²
- Endroit le plus **populeux** de la province

Jasmin Raymond, Michel Malo, Félix-Antoine Comeau, Karine Bédard, René Lefebvre & René Therrien

Le potentiel géothermique du Canada avec regard sur le Québec, 2ème partie

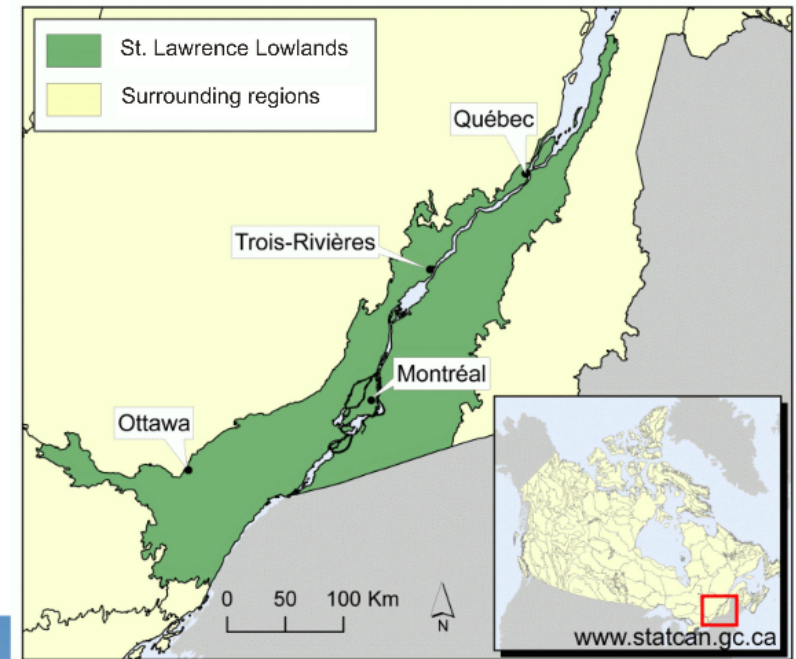


Bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent

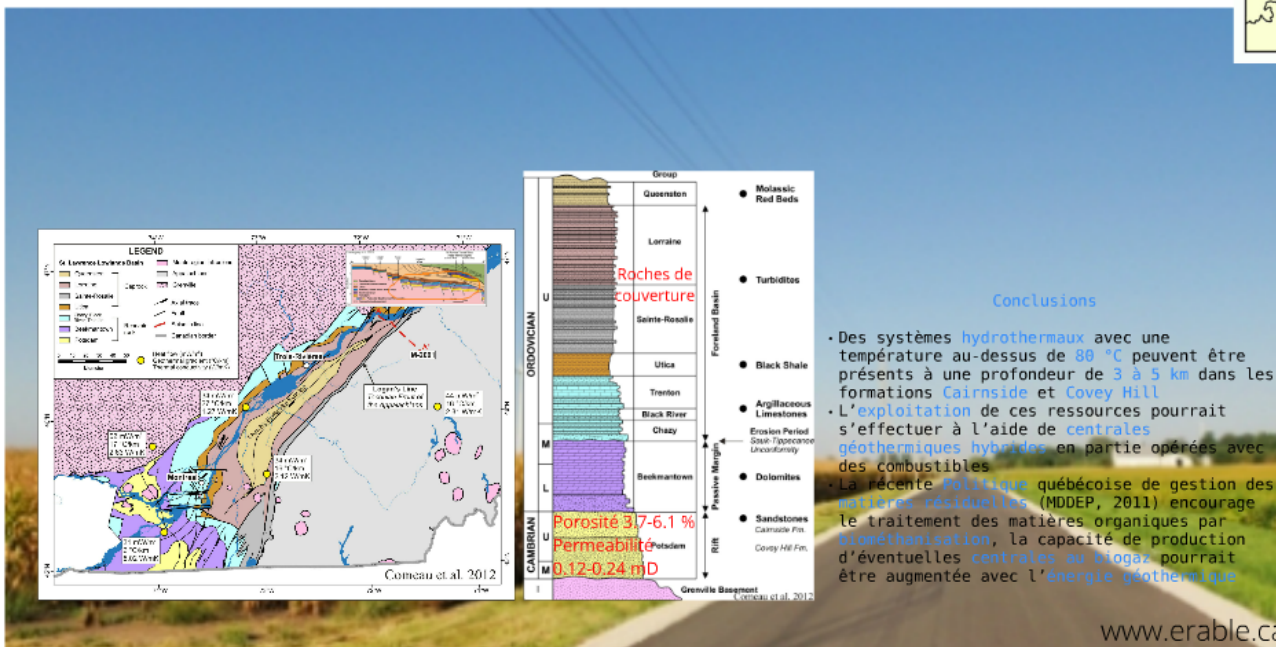


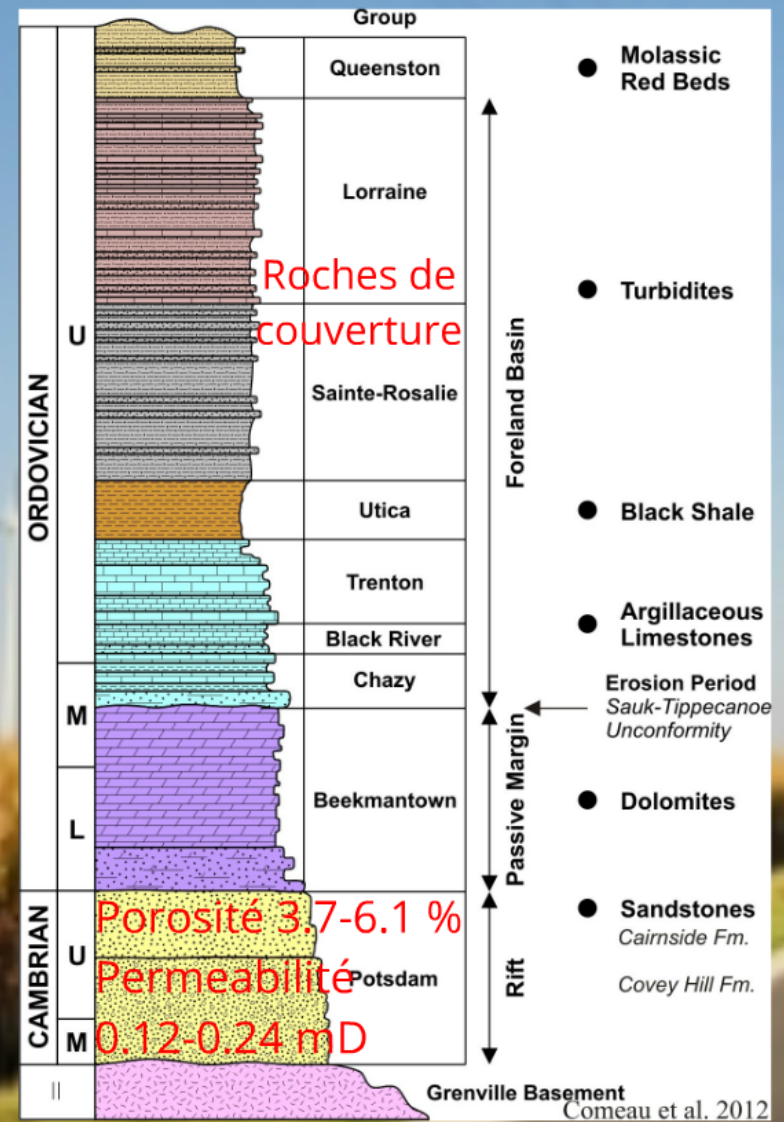
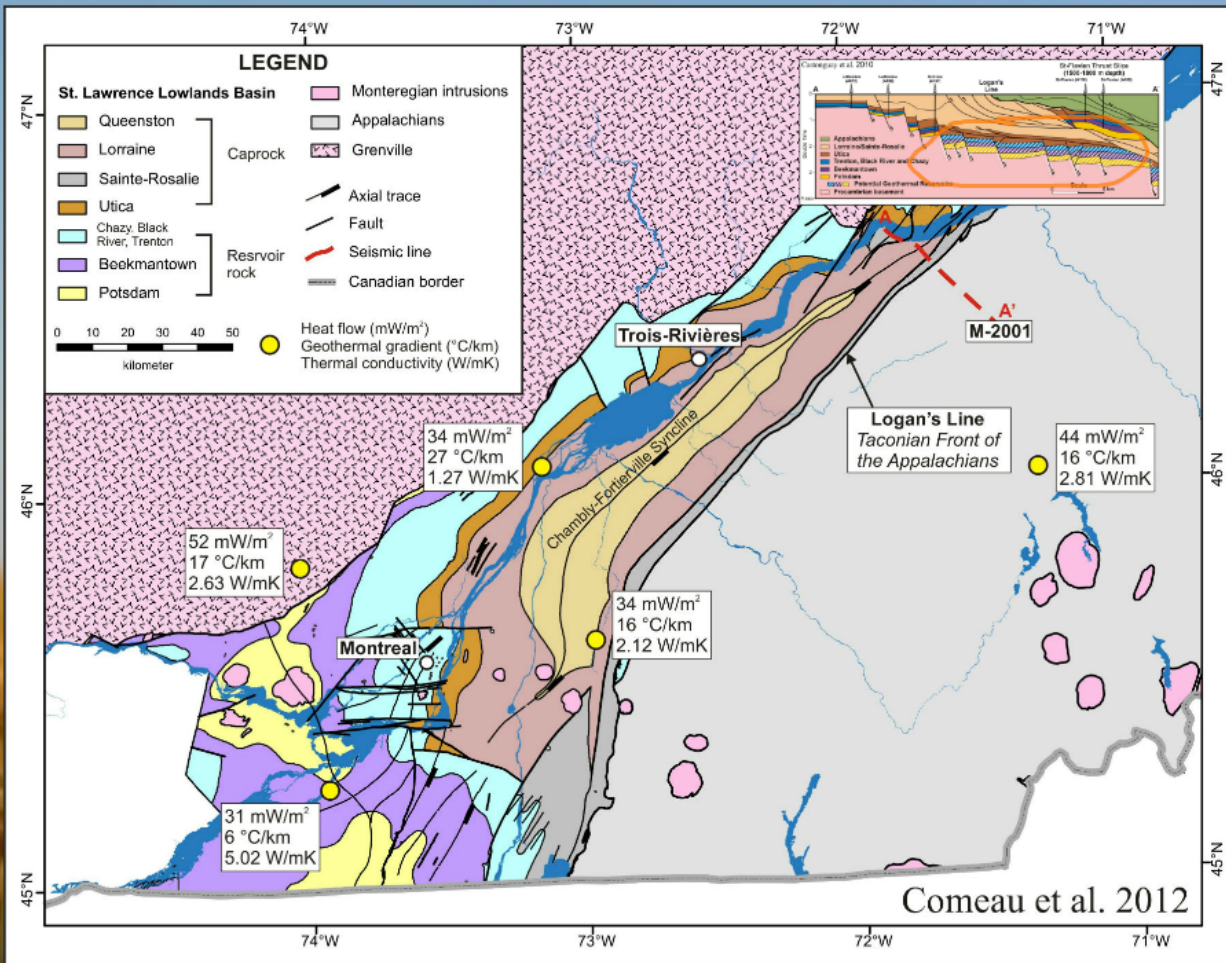
Jasmin Raymond, Michel Malo, Félix-Antoine Comeau, Karine Bédard, René Lefebvre & René Therrien

Bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent

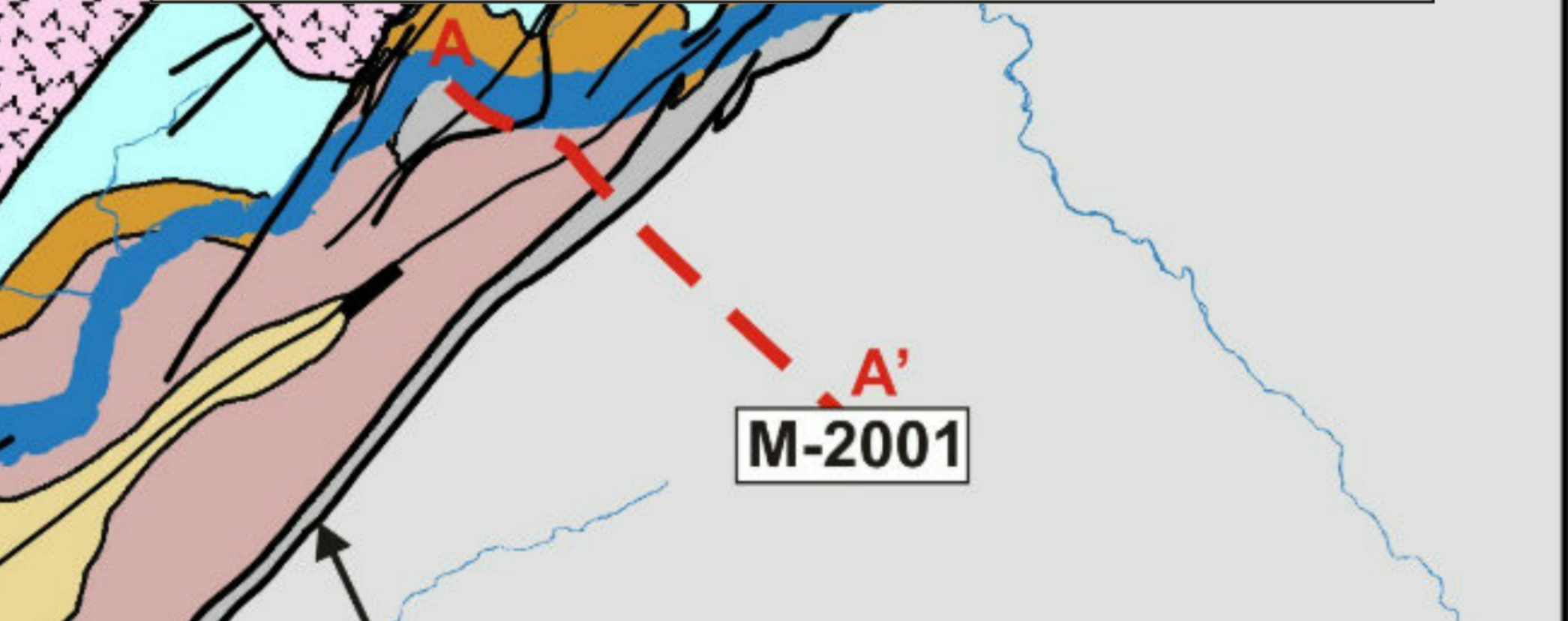
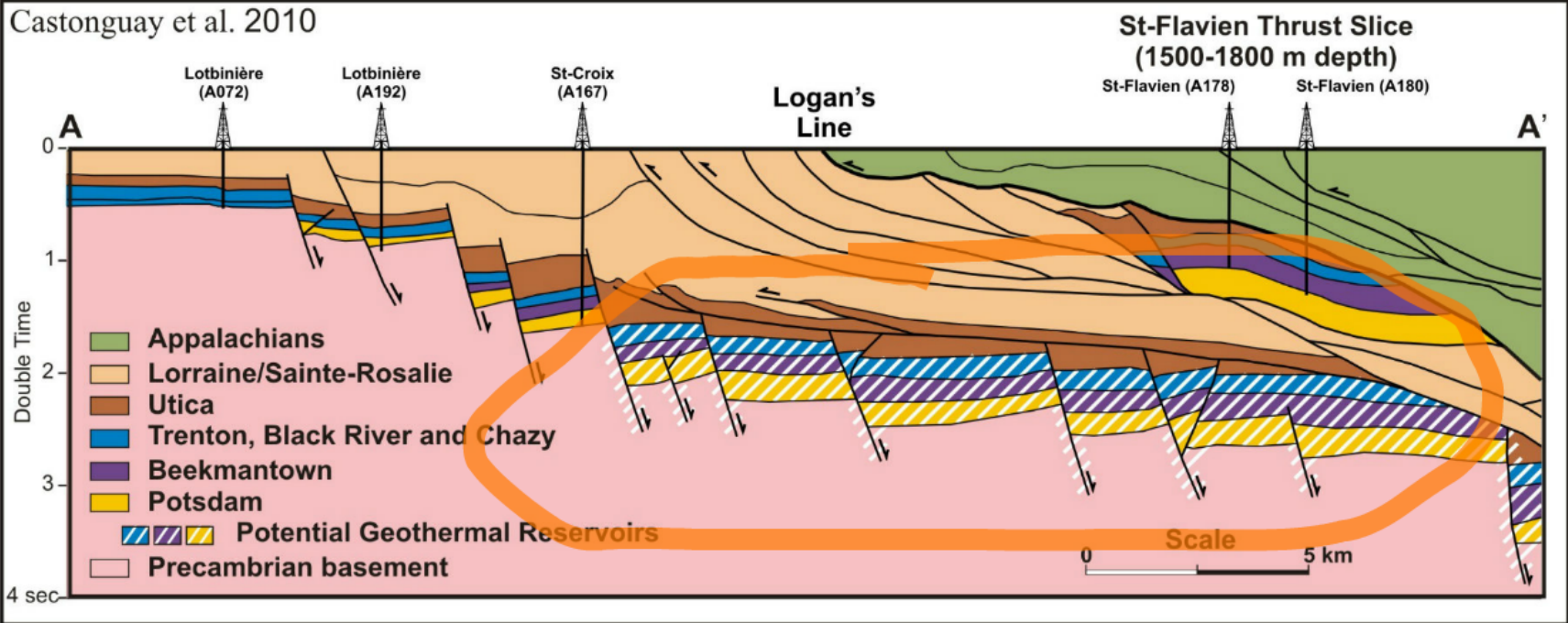


- Au sud du Québec
- 20 000 km²
- Endroit le plus **populeux** de la province





Castonguay et al. 2010



Évaluation du **potentiel** géothermique

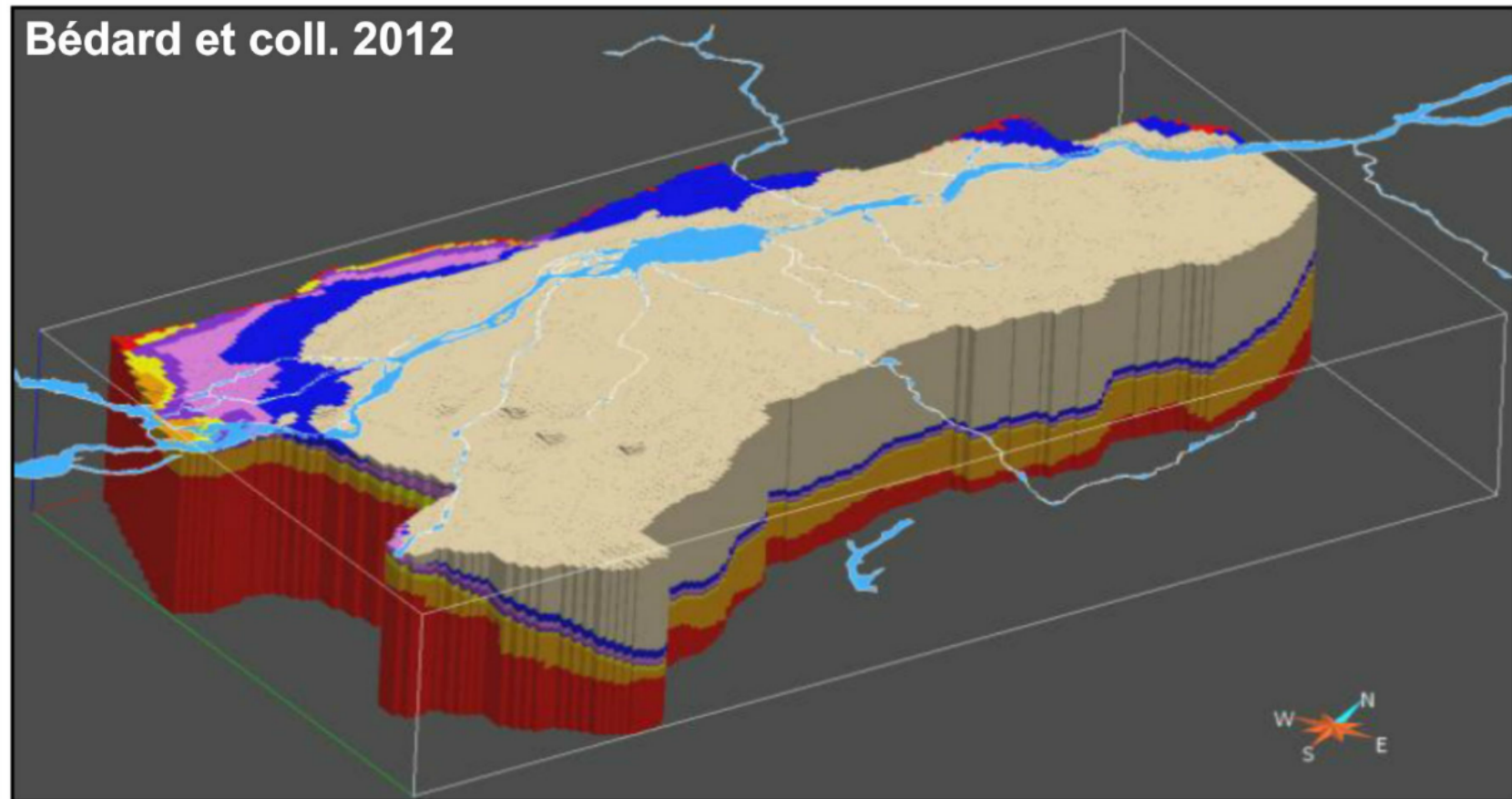
- **Objectif**

- Définir la **profondeur** et la **température** des formations réservoirs

- **Méthode**

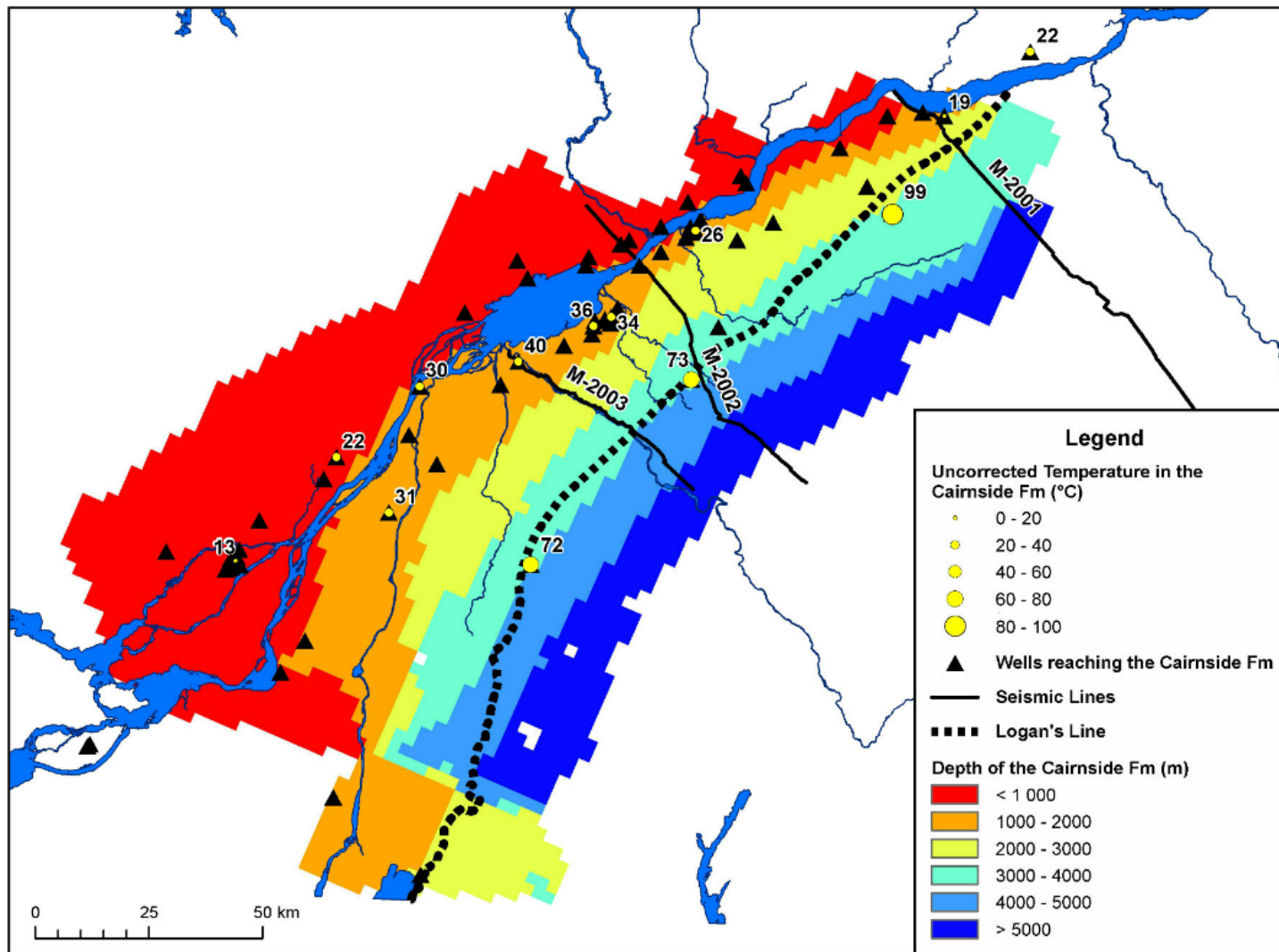
- Développement d'un **modèle** géologique 3D
- Carte **géologique de surface**
- Carte de la **profondeur du socle** (temps de parcours)
- 164 **diagraphies** de forages (441 contacts)
- Génération de **cartes 2D** de la profondeur des unités d'intérêts
- Superposition des données de **température non corrigée** (41 mesures)

Modèle géologique 3D - GOCAD

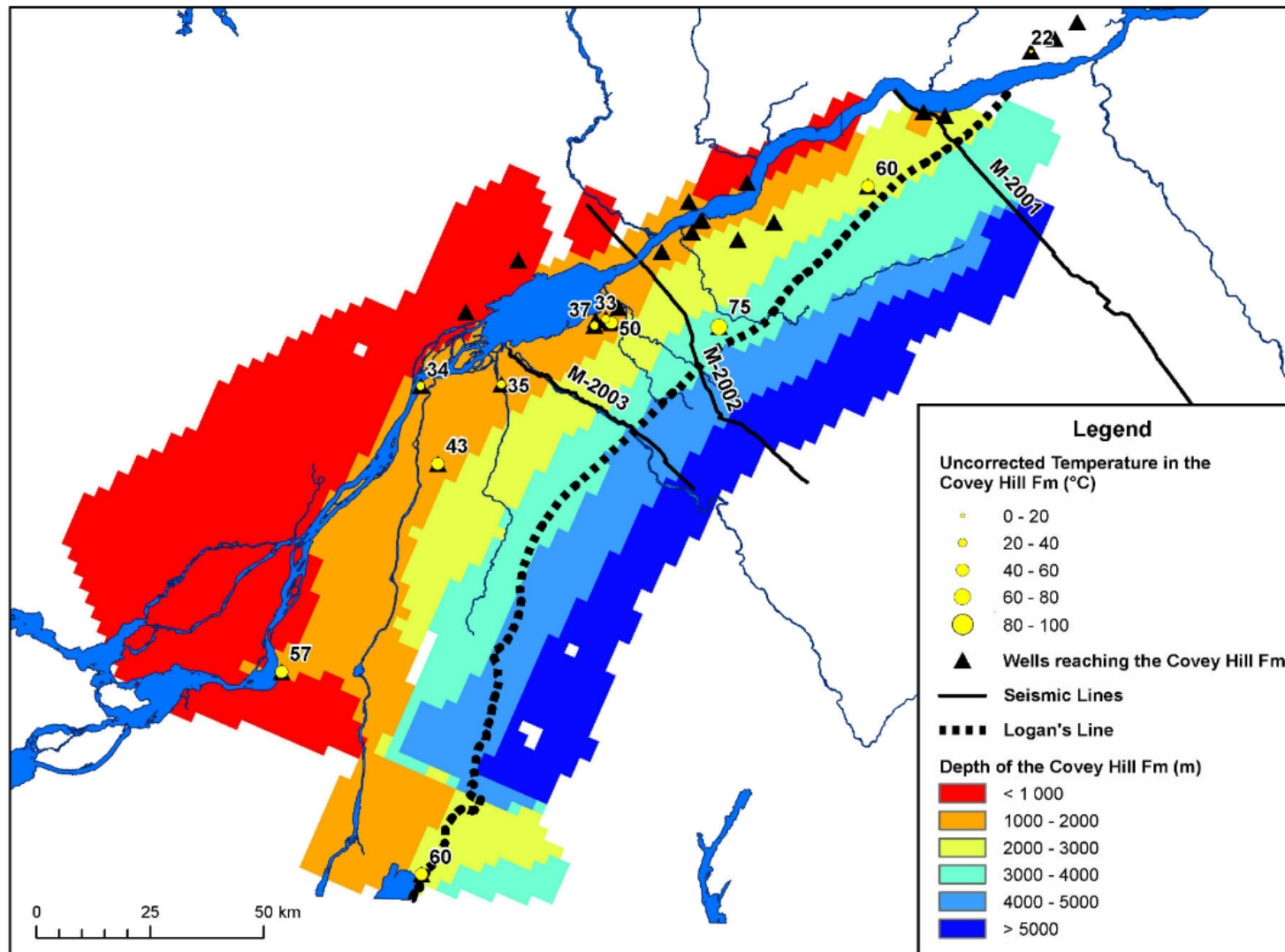


L'épaisseur et la profondeur des unités augmentent vers le sud-est

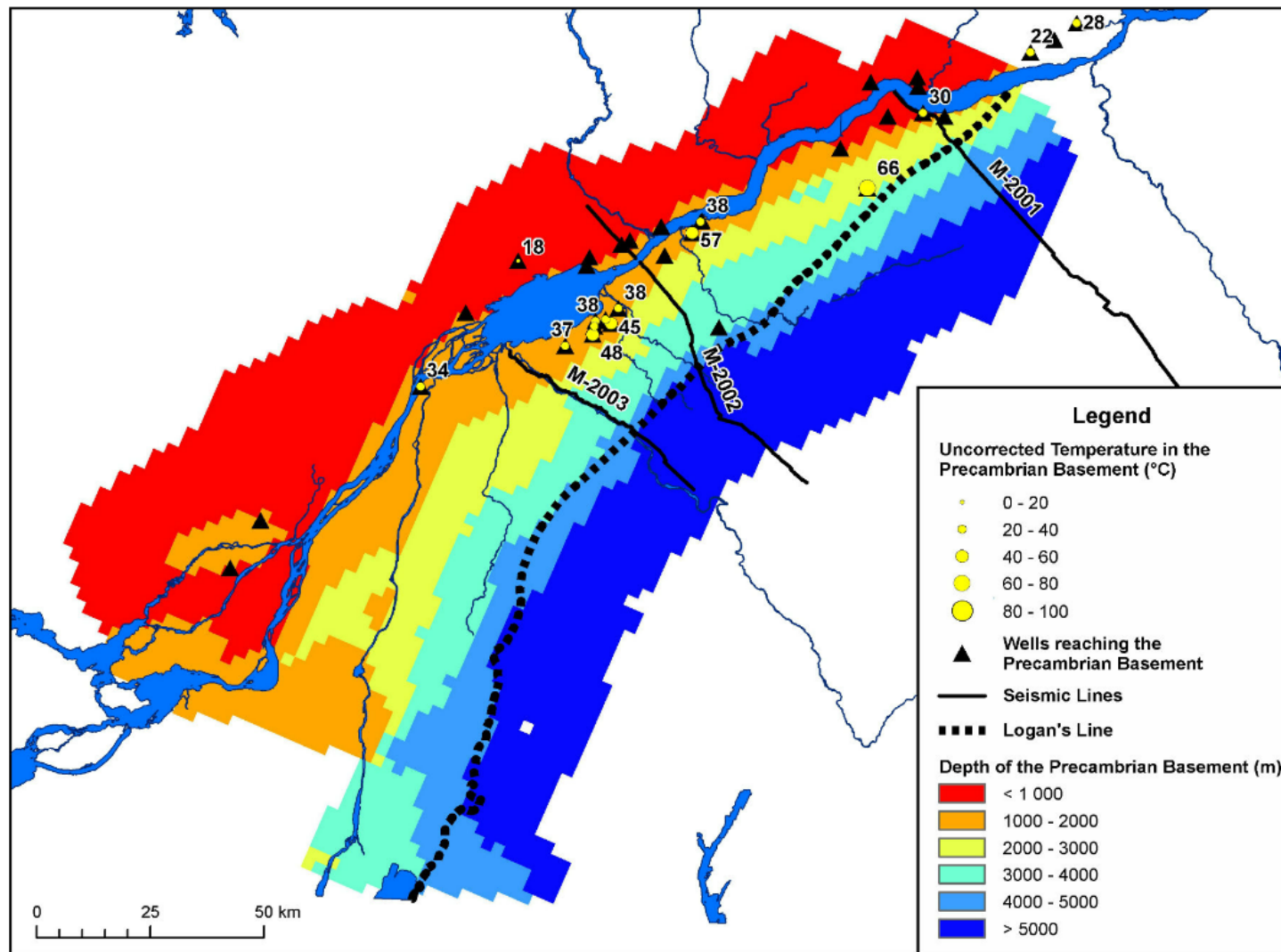
Profondeur du sommet de la Formation Cairnside



Profondeur du sommet de la Formation Covey Hill



Profondeur du sommet du Socle précambrien



Évaluation du **potentiel** géothermique

- Les endroits avec le plus de **potentiel** se situent près de la **ligne Logan** et au **sud-est**
- Là où le Groupe de **Postdam** à une profondeur de plus de **3 km**
- Et où les données de **température non corrigée** sont plus de **70°C**
- Les **anomalies thermiques** (99°C @ 3.1 km) peuvent être causées par une augmentation de la température dans les **roches de couverture** de **faible conductivité thermique**
- L'augmentation de la **profondeur de forage** au sud-est **limitera** le **développement** des ressources

Conclusions

- Des systèmes hydrothermaux avec une température au-dessus de 80 °C peuvent être présents à une profondeur de 3 à 5 km dans les formations Cairnside et Covey Hill
- L'exploitation de ces ressources pourrait s'effectuer à l'aide de centrales géothermiques hybrides en partie opérées avec des combustibles
- La récente Politique québécoise de gestion des matières résiduelles (MDDEP, 2011) encourage le traitement des matières organiques par biométhanisation, la capacité de production d'éventuelles centrales au biogaz pourrait être augmentée avec l'énergie géothermique