

22 mai 2014, présentation du rapport final à la Ville de Gaspé

Caractérisation hydrogéologique du secteur Haldimand, Gaspé

Mélanie Raynauld¹, Morgan Peel¹, René Lefebvre¹,
Heather Crow², John Molson³, Jason Ahad², Erwan Gloaguen¹

1 : Institut national de la recherche scientifique

2 : Commission géologique du Canada

3 : Université Laval

Centre - Eau Terre Environnement

INRS
Université d'avant-garde

Plan de la présentation

- Objectifs et travaux
- Contexte géologique
- Contexte hydrogéologique
- Qualité de l'eau souterraine
- Modélisation numérique de l'aquifère
- Risque environnemental
- Conclusions

**Objectifs
et travaux**

Centre - Eau Terre Environnement

INRS
Université d'avant-garde

Objectif général

- Produire une étude définissant le **contexte hydrogéologique** du secteur Haldimand
 - Travaux à réaliser selon les exigences du **projet de règlement du MDDEFP de mai 2013** par rapport aux forages pétroliers et gaziers (échantillonnage de **puits à l'intérieur de 2 km** du site du puits Haldimand No.4; liste d'**analyses de l'eau souterraine** spécifiée, etc.)

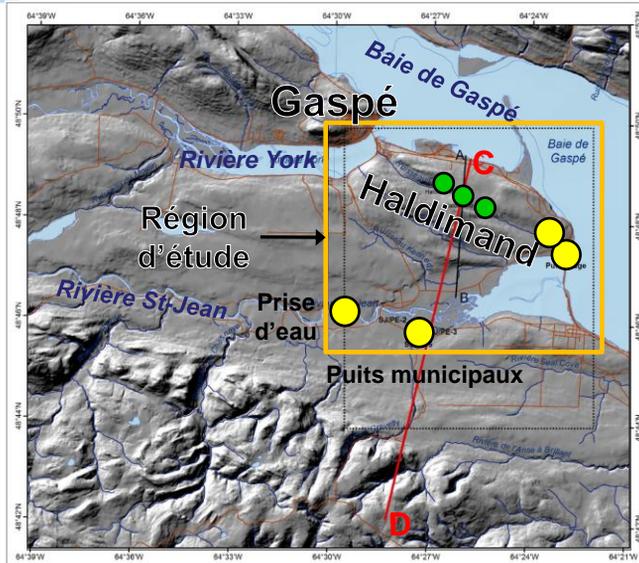
Objectifs spécifiques

- Étude hydrogéologique avec une série de **livrables et travaux spécifiques** (cartes, recharge, vulnérabilité, modèle, etc.)
- **Évaluation de l'effet**, réel ou potentiel, des **puits pétroliers** et des **suintements** sur la qualité des eaux souterraines ou de surface
- **Évaluation de l'effet de l'éventuel puits Haldimand No.4** sur les puits résidentiels ou municipaux s'il y avait une contamination

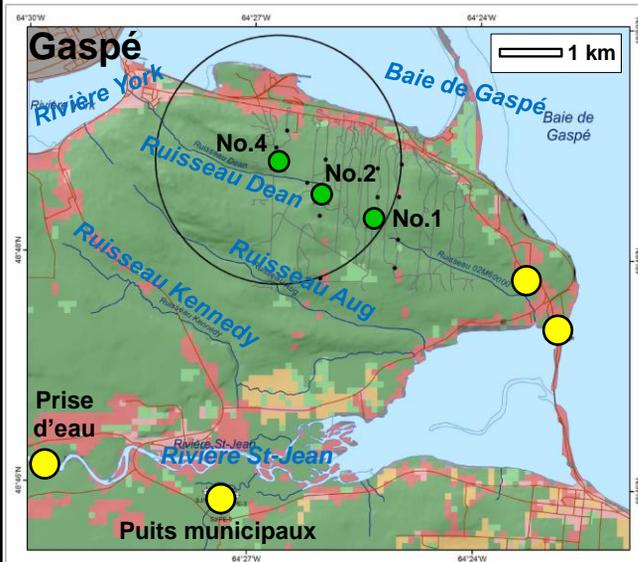
Travaux réalisés

- **Compilation** des rapports et données disponibles (TechnoRem en 2011-2012)
- **Échantillonnage** réalisé par le MDDEFP en 2013 avec la participation de l'INRS
- **Analyses** spécialisées à des labos externes
- Production de **36 cartes** hydrogéologiques
- **Interprétation des conditions** géologiques, hydrogéologiques et géochimiques
- Développement d'un **modèle** numérique
- Évaluation du **risque** environnemental

Région d'étude



Utilisation du territoire dans la région d'étude



Territoire de $\approx 50 \text{ km}^2$

Trois crêtes rocheuses jusqu'à $\approx 200 \text{ m NMM}$

Rivières York et St-Jean et ruisseaux à l'intérieur

Route 132 autour de la péninsule et sentiers gravelés à l'intérieur

Boisé à l'intérieur de la péninsule; habitations autour utilisant des puits

**Contexte
géologique**

Centre - Eau Terre Environnement

INRS
Université d'avant-garde

Buts des travaux sur la géologie

- Définir la nature du réservoir pétrolier et celle des roches entre le réservoir et la surface
- Identifier la nature des matériaux géologiques (roc et dépôts meubles) pour déterminer s'ils seraient des aquifères ou des aquitards
- Définir la nature des fractures qui vont contrôler la perméabilité du roc :
 - Exploitabilité du roc en tant qu'aquifère?
 - Communication entre le réservoir et la surface?

Réservoir pétrolier conventionnel

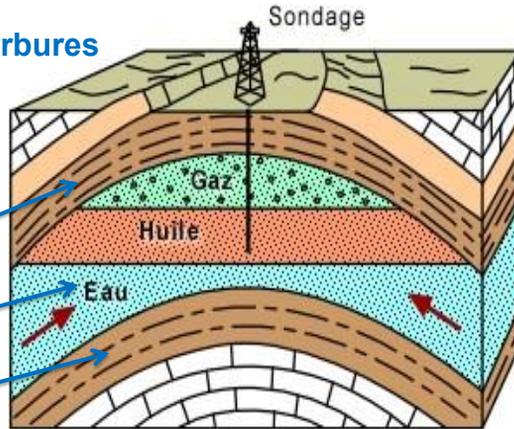
Conditions requises :

- Génération d'hydrocarbures
- Migration
- Piégeage

3 – Roche couverture

2 – Roche réservoir

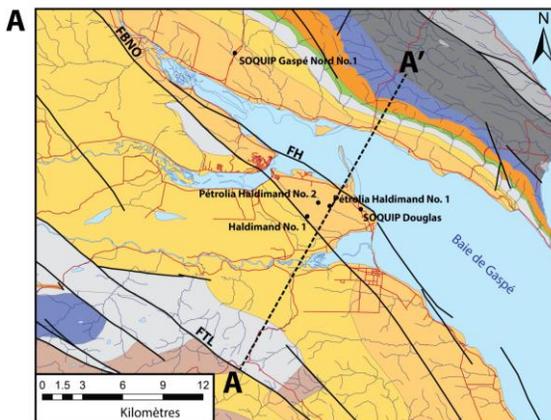
1 – Roche-mère



A - Piège structural: anticlinal

Source : http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html

Géologie régionale

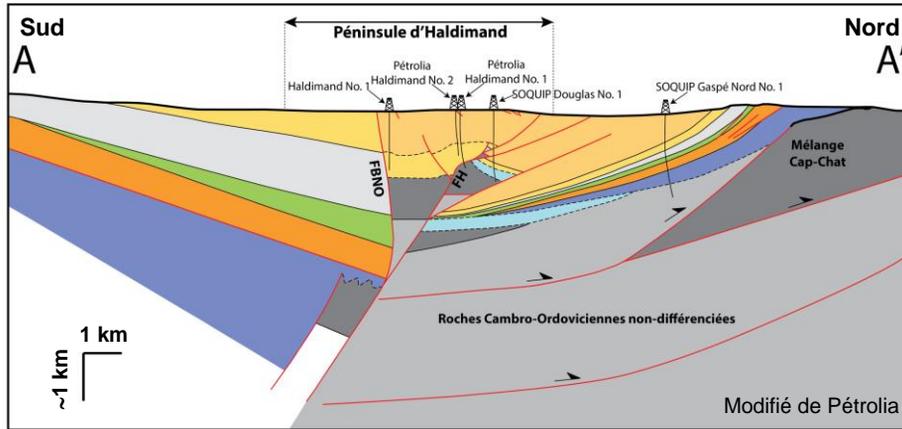


Dévonien	Moy.	Eifelien			
		Battery Point		Grès de Gaspé	
	Inférieur	Emsien	York River		
		Praguéen	Indian Cove		
			Shiphead		Calcaires supérieurs de Gaspé
		Lochkovien	Forillon		
			Indian Point		
			Roncelles		
			West Point		
		Silur.	Sup.	Pridolien	Chaleurs

Modifié de Pétrolia

Roc constitué de grès et de mudstones (sable et boues consolidés)
 Deux failles régionales : faille Haldimand et faille du Bras Nord-Ouest

Coupe géologique régionale



Réservoir pétrolier entre 700-900 m de profondeur
 Roc poreux et fracturé : aquifère régional exploité sur 0 à 40 m (moy. 20 m)
 Roc recouvert par till glaciaire (entre 0 et 7 m); sédiment peu perméable

Fracturation de l'aquifère au roc en surface (1/2)

Observation des fractures avec *Televiwer* et débitmètre

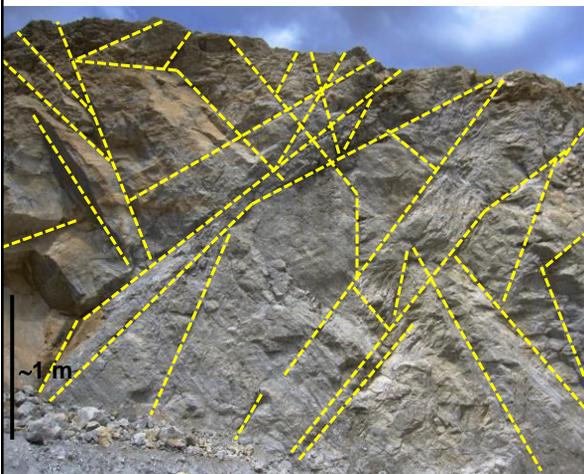


Image tirée de jjmclintock.com

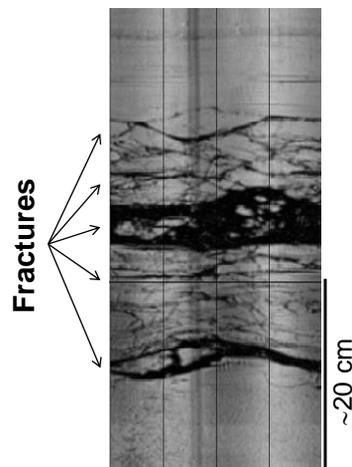


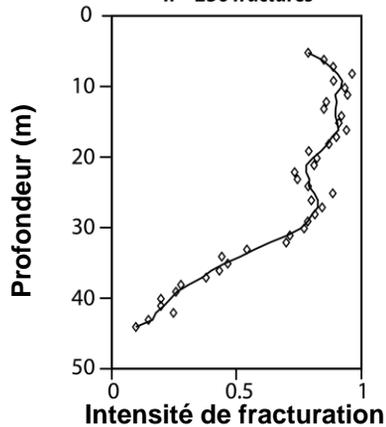
Image ATV (POH-11-10)

Fracturation de l'aquifère au roc en surface (2/2)

Observation des fractures avec *Televiwer* et débitmètre

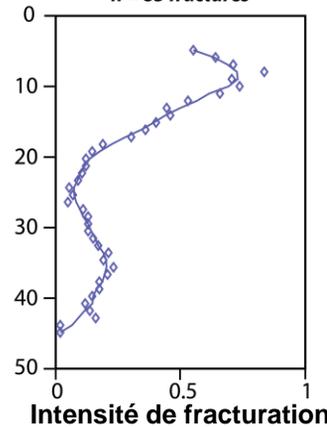
Toutes les fractures

n = 236 fractures



Fractures « actives »

n = 85 fractures



=> Fracturation du roc sur ≈ 20 m supérieurs du roc; diminue avec la profondeur

Résultats : contexte géologique

- Une couche-couverture isole le réservoir
- Le roc constitue un aquifère régional continu
- Les dépôts meubles sont généralement minces et peu perméables (sauf près de riv. St-Jean)
- L'aquifère au roc qui est plus fracturé dans sa partie supérieure (≈ 20 m) qui est plus perméable
- L'écoulement de l'eau souterraine se fera surtout dans la partie supérieure du roc
- En profondeur (centaines de mètres), la fracturation est éparsée et ne serait pas une voie continue entre le réservoir pétrolier et l'aquifère

Contexte hydrogéologique

Centre - Eau Terre Environnement

INRS
Université d'avant-garde

Buts des travaux sur l'hydrogéologie

- Définir les conditions d'écoulement de l'eau souterraine, ce qui permet :
 - D'identifier les voies de migration d'une éventuelle contamination qui est contrôlée par l'écoulement
 - D'identifier les milieux récepteurs d'une contamination aux sites pétroliers
- Évaluer la vulnérabilité de l'eau souterraine, ce qui permet :
 - D'évaluer le risque de dégradation de la qualité de l'eau souterraine par la contamination en surface
 - D'évaluer si les sites pétroliers posent des risques

Terrain semblable à Haldimand



(modifié de Brown et al., 2007)

Installation de puits d'observation

Permet de : - Mesurer le niveau d'eau



(modifié de Brown et al., 2007)

Installation de puits d'observation

- Permet de :
- Mesurer le niveau d'eau
 - Prélever des échantillons d'eau



(modifié de Brown et al., 2007)

Installation de puits d'observation

- Permet de :
- Mesurer le niveau d'eau
 - Prélever des échantillons d'eau
 - Réaliser des essais et diagraphies



(modifié de Brown et al., 2007)

Niveau de la nappe

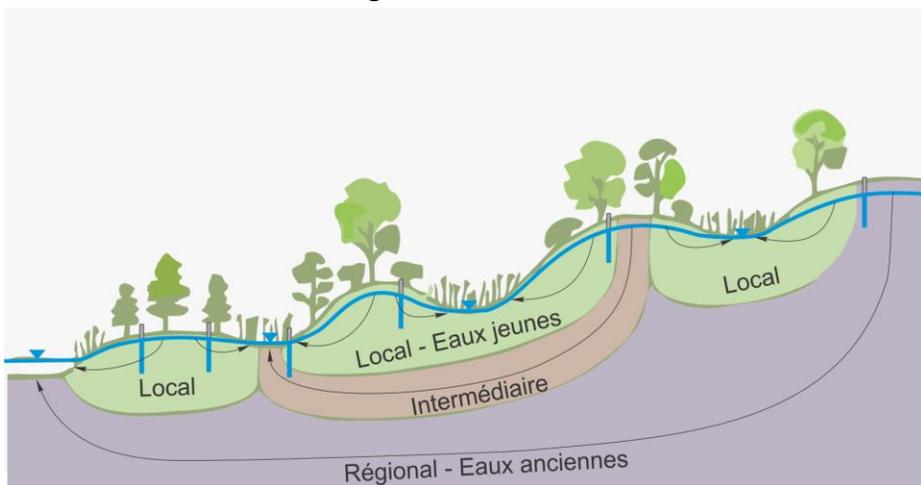
Permet d'obtenir la carte piézométrique
(niveau de l'eau souterraine qui contrôle l'écoulement)



(modifié de Brown et al., 2007)

Écoulement de l'eau souterraine

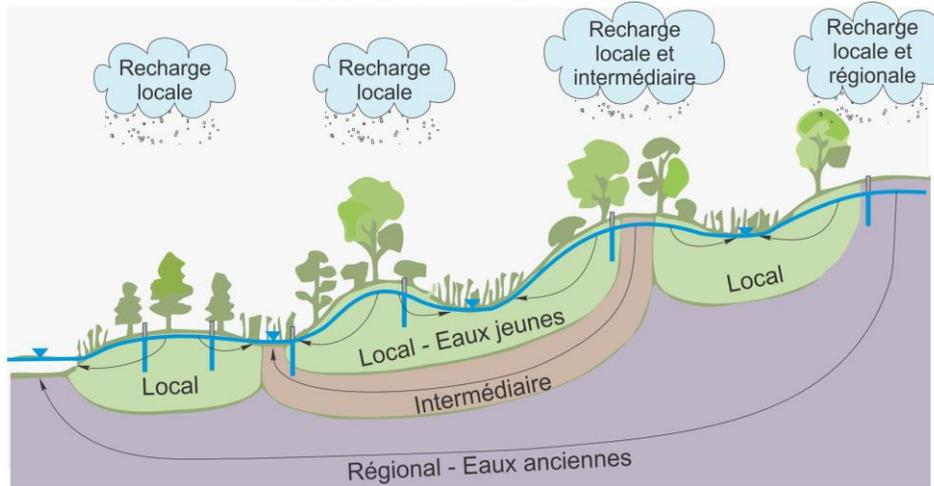
→ Ligne d'écoulement



(modifié de Brown et al., 2007)

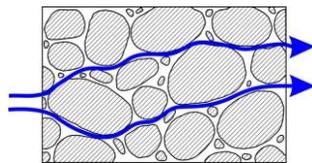
Zones de recharge

Zones de recharge = Hauts topographiques
Exutoires = Cours d'eau



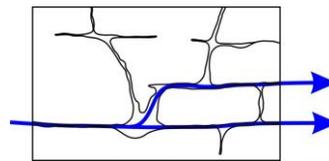
Aquifères

Un milieu perméable (qui fournit une bonne quantité d'eau) dans lequel l'eau souterraine circule est l'**aquifère**



sable (entre les grains)

Aquifère granulaire



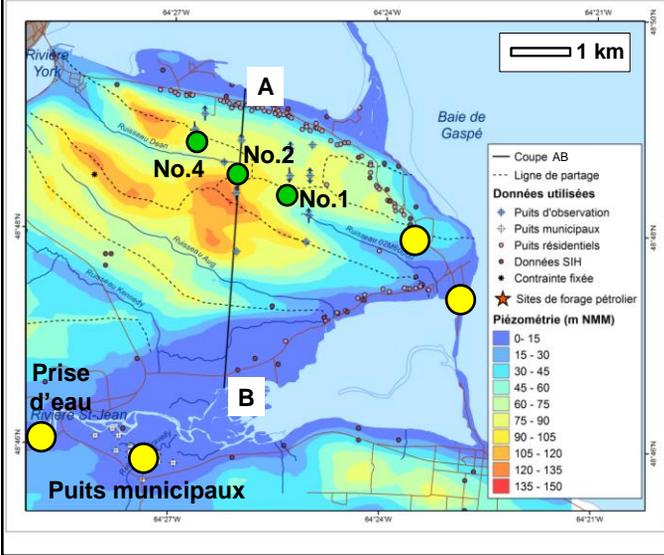
roc (dans les fractures)

Aquifère au roc

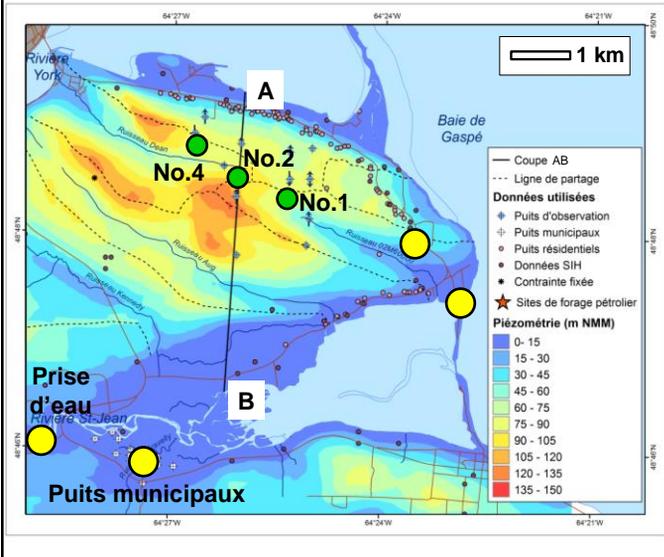
**Aquifère Haldimand =
Aquifère de roc fracturé**



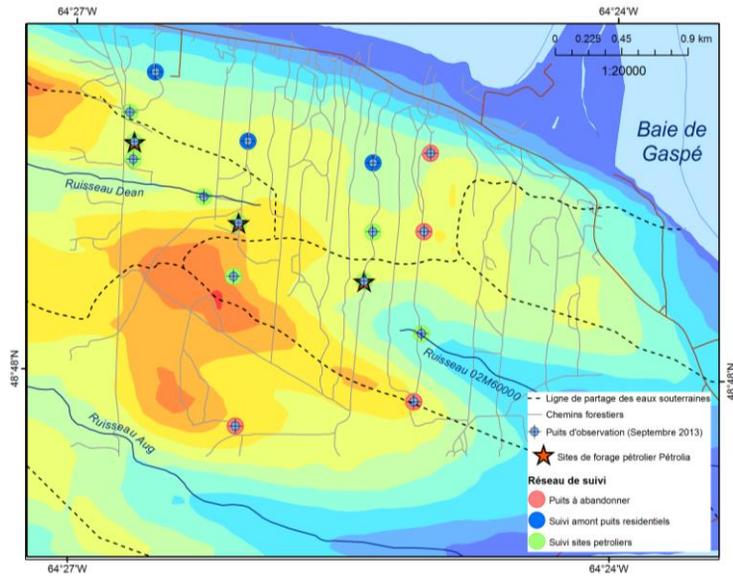
Écoulement de l'eau souterraine



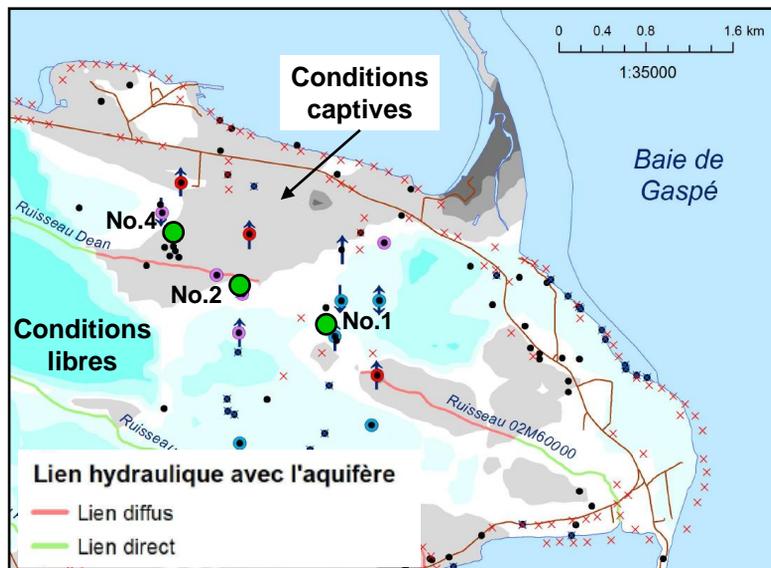
Écoulement de l'eau souterraine



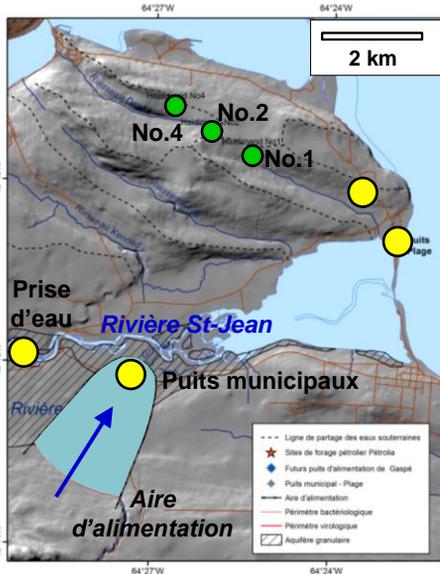
Écoulement et puits d'observation



Liens entre l'aquifère et les ruisseaux



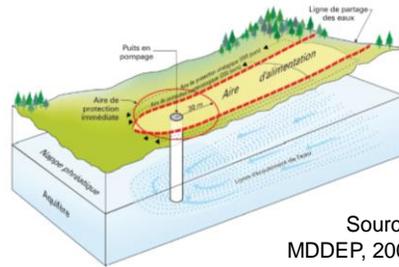
Aire d'alimentation des puits municipaux



Aires d'alimentation définies par Arrakis (consultant pour Gaspé)

L'eau alimentant les puits provient du sud-ouest

Les puits municipaux ne seraient pas des milieux récepteurs d'une éventuelle contamination qui se produirait à Haldimand



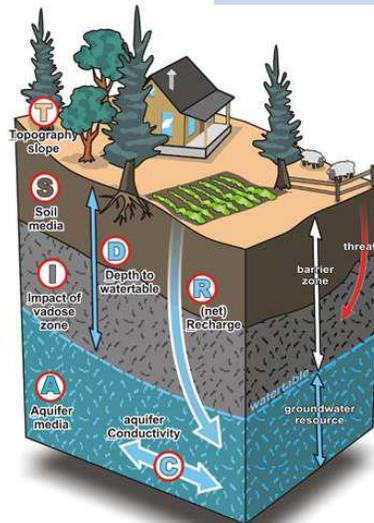
Source: MDDEP, 2006

Vulnérabilité des aquifères - DRASTIC

Vulnérabilité : Potentiel d'un aquifère à être contaminé par l'émission de contaminants à la surface du sol.

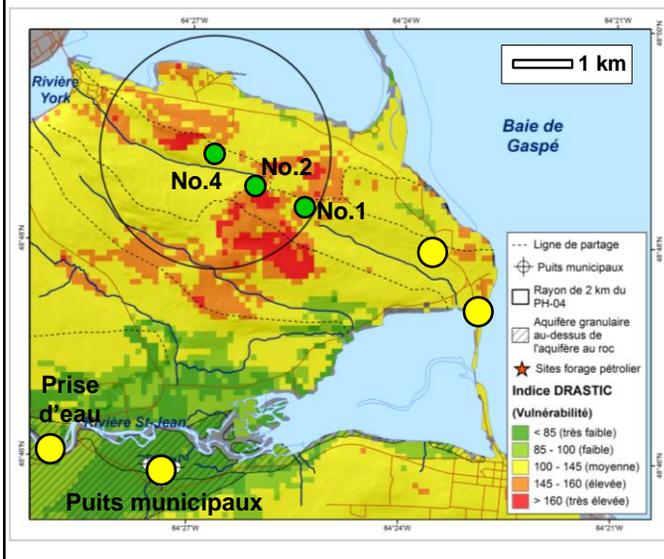


- D = Profondeur (*Depth*)
- R = Recharge
- A = Aquifère
- S = Sol
- T = Topographie
- I = Impact zone vadose
- C = Conductivité hydraulique



Source : Richard Franklin and Robert Turner, GSC, 2009

Vulnérabilité DRASTIC – Aquifère au roc



La vulnérabilité de l'aquifère au roc va de moyenne à très élevée

L'émission de contaminants en surface pourrait avoir des incidences directes sur la qualité de l'eau souterraine

Les sites des forages pétroliers sont dans des secteurs de vulnérabilité moyenne à élevée

Résultats : contexte hydrogéologique

- Limites de partage des eaux souterraines bien définies par la topographie
- Vulnérabilité moyenne à très élevée; incidence directe de contamination en surface
- Les milieux récepteurs d'une contamination aux sites pétroliers seraient les cours d'eau
- Les puits résidentiels et municipaux ne seraient pas des milieux récepteurs directs
- Les puits d'observation détecteraient la contamination avant les récepteurs

Qualité de l'eau souterraine

Centre - Eau Terre Environnement

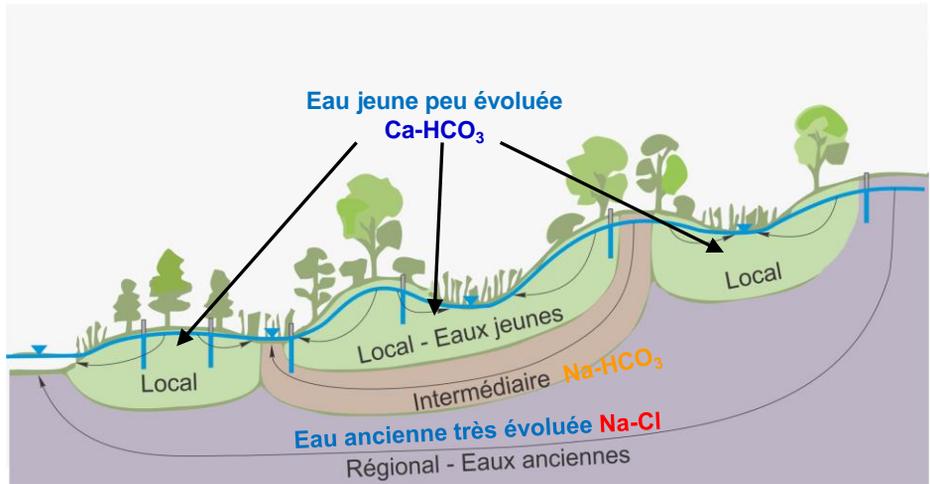
INRS
Université d'avant-garde

Buts des travaux sur la qualité de l'eau

- Portrait initial des conditions hydrochimiques
 - Qualité générale de l'eau souterraine; impact des suintements et anciens puits pétroliers
 - Base pour mesurer l'impact d'éventuelles activités pétrolières
- Comprendre l'origine et l'évolution des eaux souterraines dans le système aquifère
 - Temps de résidence : établir la rapidité de circulation et de migration de contaminants
 - Liens hydrauliques profondeur/surface via des cheminements préférentiels

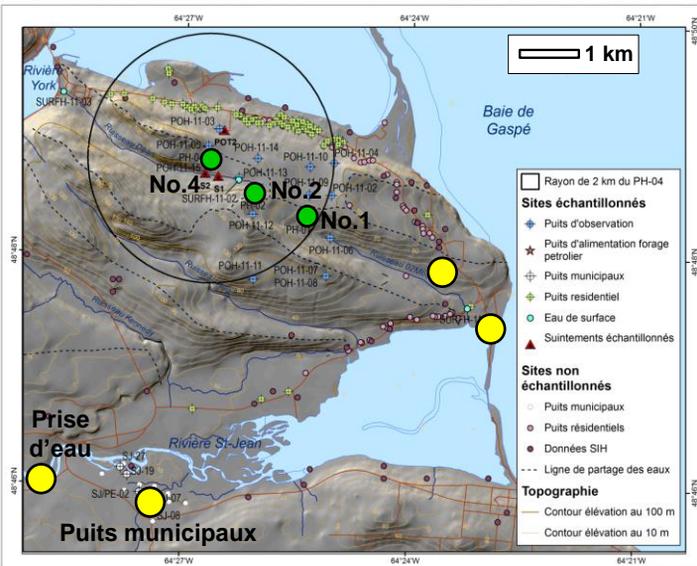
Géochimie de l'eau souterraine

Lien entre écoulement et géochimie



(modifié de Brown et al., 2007)

Localisation de l'échantillonnage du MDDEFP



Total de 103 échantillons :

Puits résidentiels (75; en **jaune**)

Puits observation (16; en **bleu et +**)

Puits municipaux (5; en **blanc**)

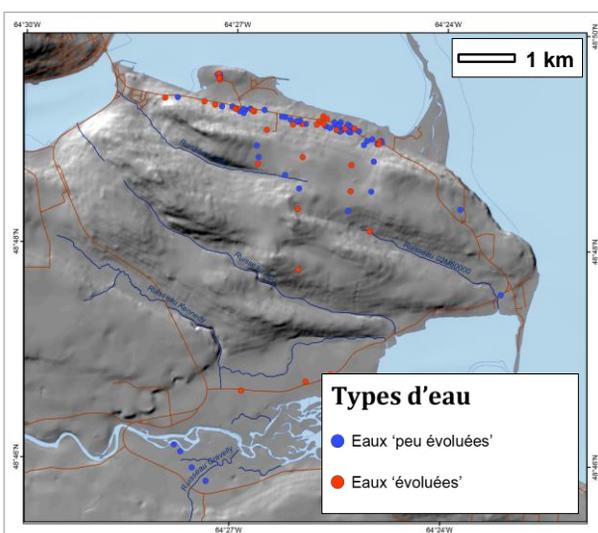
Eaux de surface (3; en **bleu**)

Suintements d'hydrocarbures (3; **triangles**)

Géochimie de l'eau souterraine

- Paramètres chimiques utilisés pour classer l'eau en 2 principaux groupes :
- Eaux peu « évoluées » et typiques des zones de recharge (Ca^{2+} et HCO_3^-)
- Eaux plus « évoluées » (Na^+ et HCO_3^- ou Cl^-) avec solides dissous modérés (< 400 mg/l)
- Eau des puits d'approvisionnement de la Ville de Gaspé a une géochimie **distincte**
- La **qualité de l'eau est très bonne** et il y a très peu de dépassements de normes

Répartition des types d'eau



- Répartition spatiale complexe
- Origine des précipitations
- Composante d'eau moderne répandue

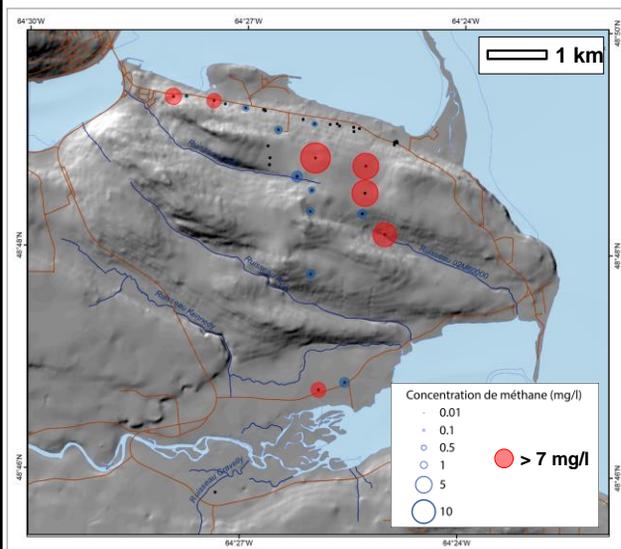
Gaz dissous

- Concentrations en gaz dissous mesurées dans les eaux souterraines : méthane (CH_4), éthane (C_2H_6) et propane (C_3H_8)
- Le méthane est une composante naturelle commune dans les eaux souterraines
- Le méthane n'est pas un problème de qualité de l'eau mais de sécurité (éviter dans la tuyauterie)
- Seuil d'alerte fixé à 7 mg/l par le MDDEFP

Concentrations en méthane

- 3 puits résidentiels et 4 puits d'observation dépassent le seuil d'alerte de 7 mg/l
- Fortes concentrations avec eaux évoluées
- Méthane d'origine naturelle mixte, biogénique et thermogénique; production directement dans l'aquifère et apport de gaz plus profond
- Propriétaires des puits résidentiels avec plus de 7 mg/l avisés des mesures à prendre

Répartition du méthane



Valeurs élevées retrouvées aux puits d'observation

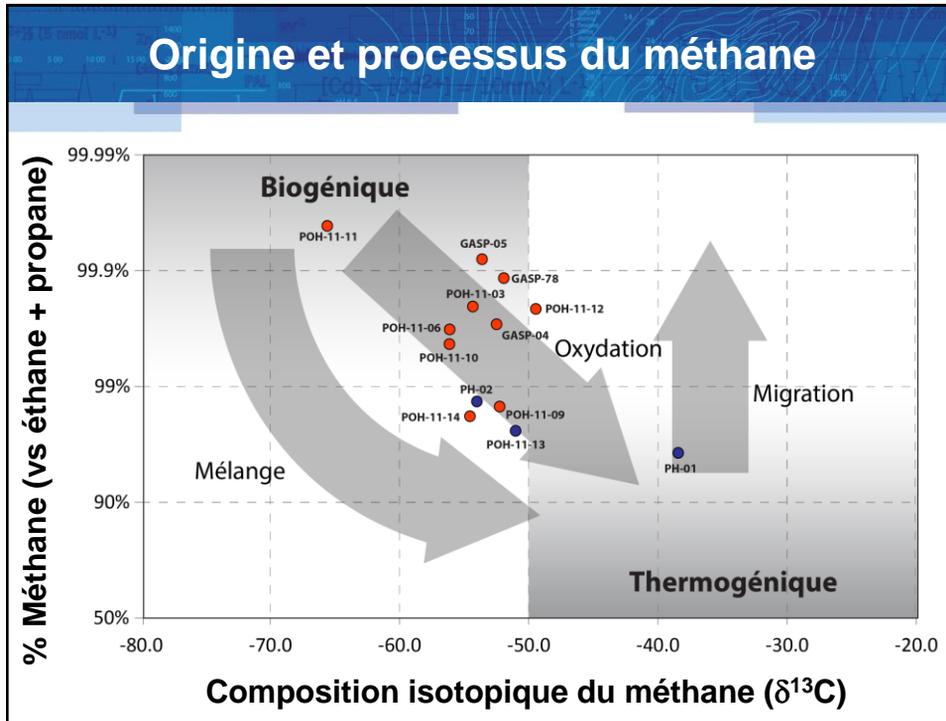
=> dégazage plus important aux puits résidentiels (non scellés en surface)

Origine du méthane

- Le méthane peut avoir 2 origines naturelles:
 - **Biogénique** : action des bactéries (peu profond)
 - **Thermogénique** : haute température (profond)
- Les **isotopes** du méthane et la **composition** des gaz associés distinguent son origine

	<i>Gaz biogénique</i>	<i>Gaz thermogénique</i>
Signature isotopique ($\delta^{13}\text{C}$)	-110 ‰ à -50 ‰	-60 ‰ à -20 ‰
% méthane gaz dissous	>99 %	< 99 %

- Des **processus complexes** peuvent affecter composition du gaz et les isotopes du méthane



Résultats : qualité de l'eau

- L'eau souterraine est de très bonne qualité
- La composition et les temps de résidence sont variables; apports d'eaux évoluées vers l'aquifère
- Il y a très peu de composés organiques et le méthane est surtout biogénique:
 - Suintements et puits pétroliers n'ont pas d'impact
 - Pas d'indication de cheminements préférentiels de zones profondes
- L'origine d'une contamination en méthane ou en pétrole pourrait être reconnue
- Conditions semblables à d'autres régions

Modélisation numérique de l'aquifère

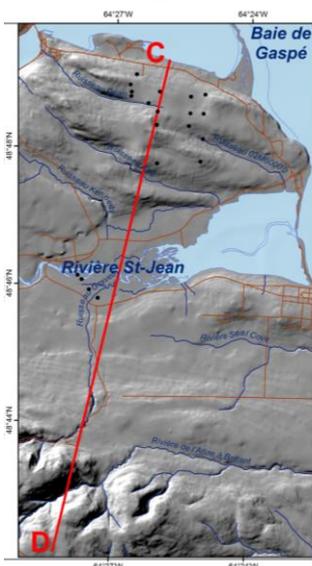
Centre - Eau Terre Environnement

INRS
Université d'avant-garde

Buts des travaux de modélisation

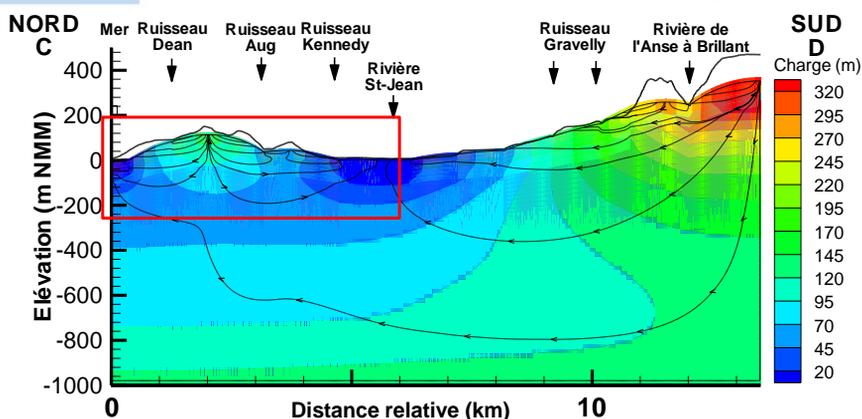
- Assurer une compréhension quantitative du système d'écoulement de l'eau souterraine :
 - Liens entre l'aquifère et les parties profondes
 - Modes de migration des contaminants
 - Incidence d'émissions en profondeur
- Permettre l'intégration des données et la mise en relation des conditions d'écoulement avec les observations sur la qualité de l'eau

Développement du modèle numérique



- Modèle 2D (coupe verticale de 13 km sur 1 km de profondeur)
- Le modèle considère :
 - Topographie de la surface;
 - Propriétés des matériaux;
 - Présence de 3 types d'eaux : douce, marine et de formation;
 - Recharge et résurgence.
- Le modèle représente :
 - Écoulement de l'eau souterraine;
 - Transport des composés dissous;
 - Temps de résidence (âge) de l'eau souterraine.

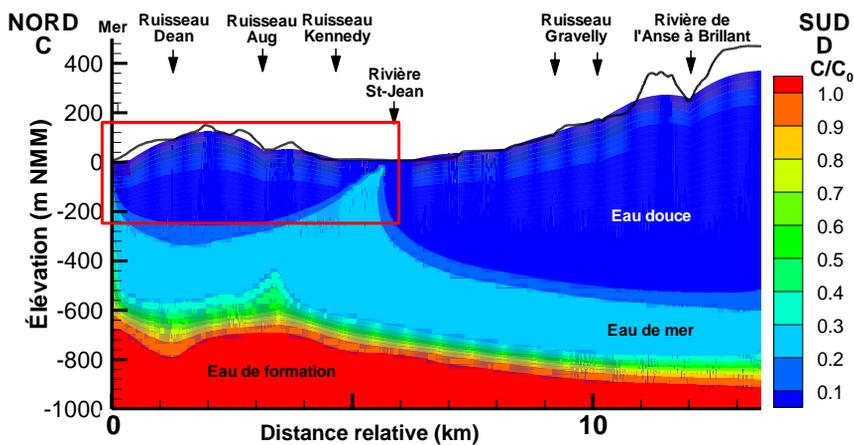
Écoulement régional



Zone active d'écoulement assez peu profonde (120 m sous NMM)
 Apport d'eau à partir des hautes terres et exutoires à la rivière St-Jean et mer
 Une partie de l'eau arrive sous Haldimand

La circulation de l'eau souterraine est relativement superficielle

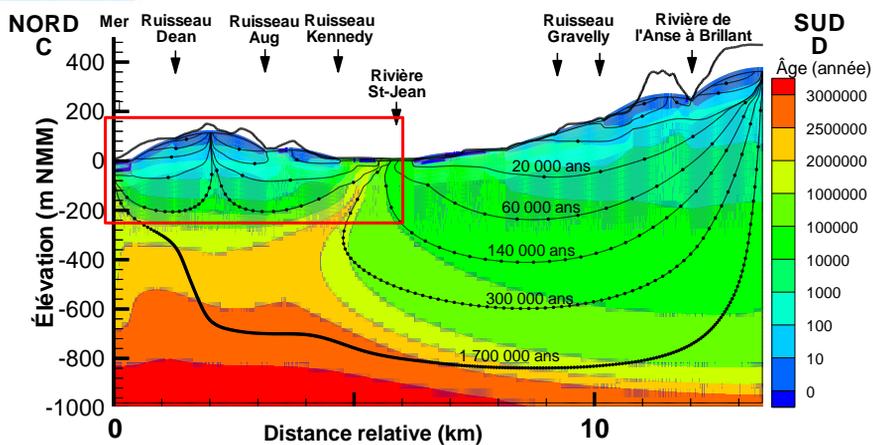
Transport de masse: eaux en profondeur



Présence de 3 salinités d'eau considérée (douce, marine et de formation)

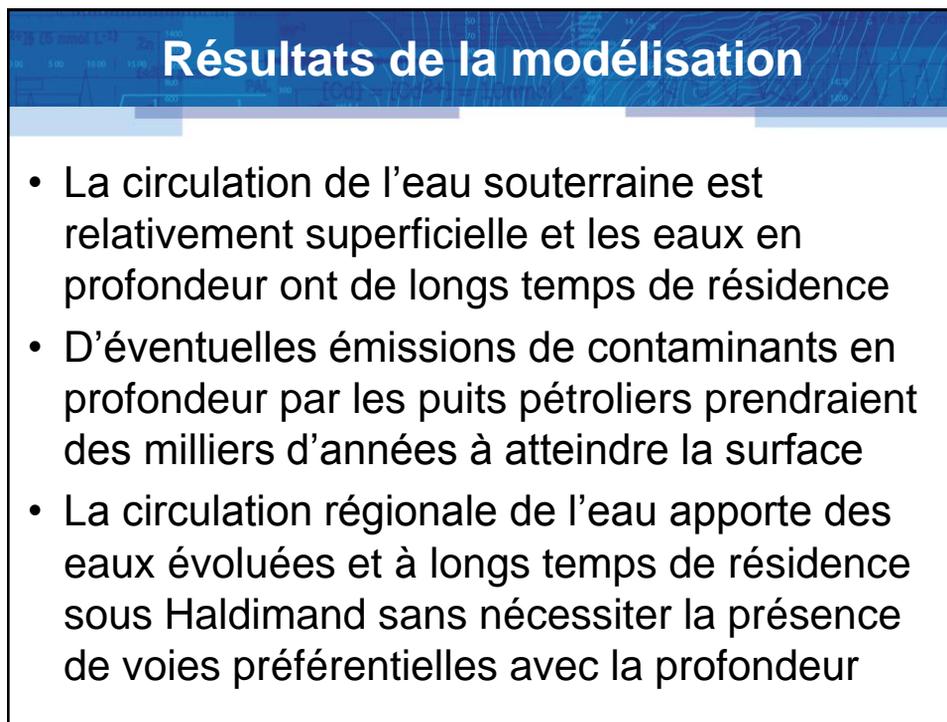
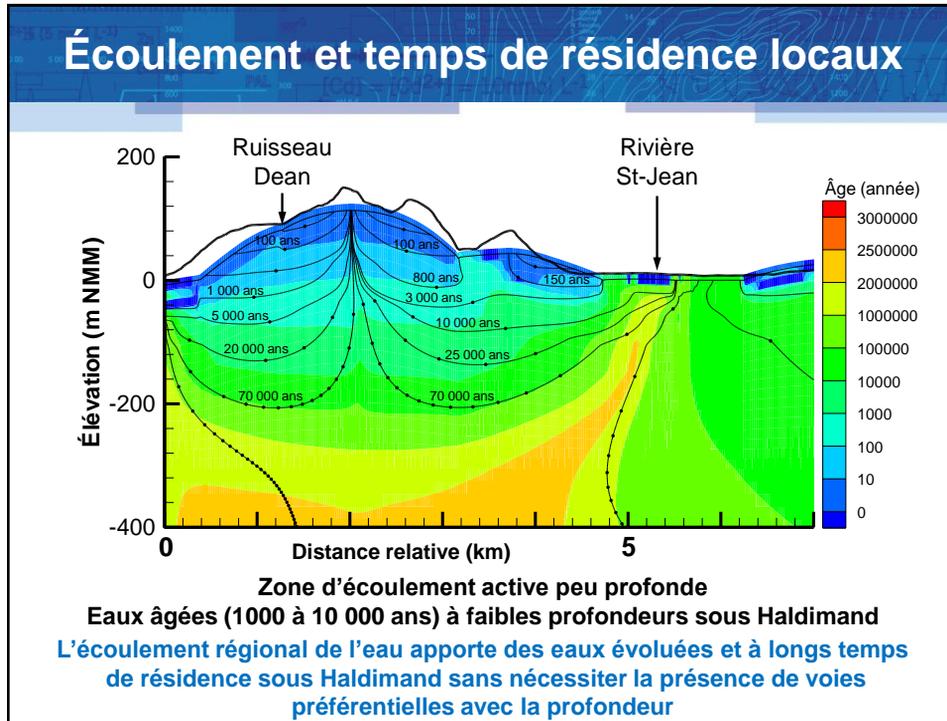
Eau douce jusqu'à environ 200 m sous le NMM (maximum)

Temps de résidence de l'eau souterraine



Apport d'eaux âgées vers les exutoires et sous Haldimand
Eaux âgées (1000 à 10 000 ans) à faibles profondeurs sous Haldimand

Une contamination en profondeur prendrait des milliers d'années à atteindre la surface



**Risque
environnemental**

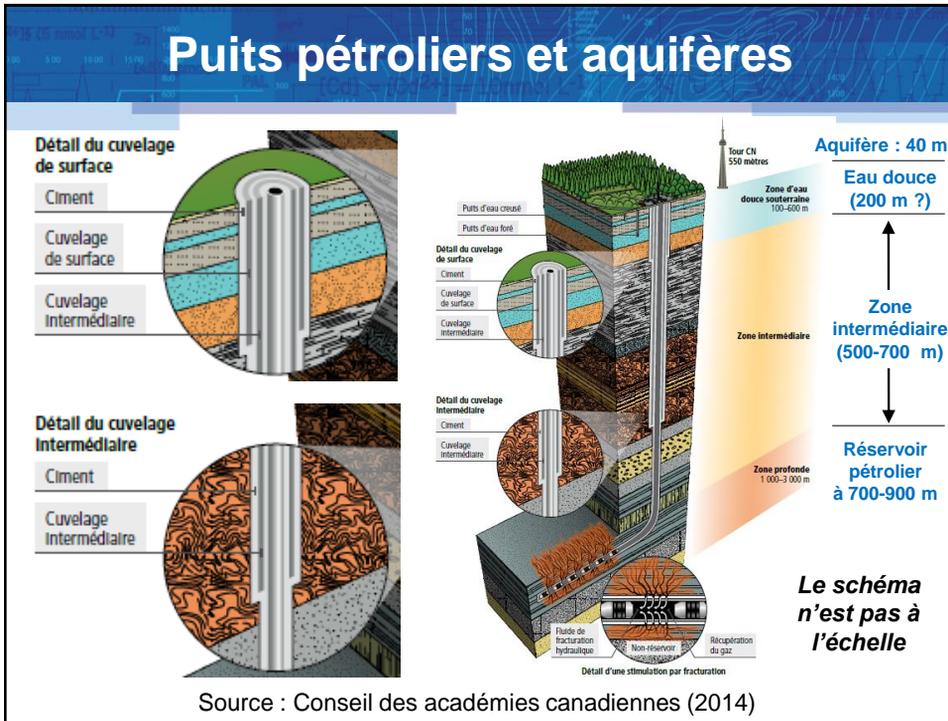
Centre - Eau Terre Environnement

INRS
Université d'avant-garde

Approche d'évaluation du risque

Risque environnemental pour la qualité de l'eau souterraine évalué par rapport :

1. Au cadre prévu par le **projet de règlement** déposé par le MDDEFP en mai 2013
2. Aux **mécanismes potentiels d'émission** de contaminants par les activités pétrolières
3. À l'**incidence des émissions** potentielles de contaminants dans le secteur Haldimand



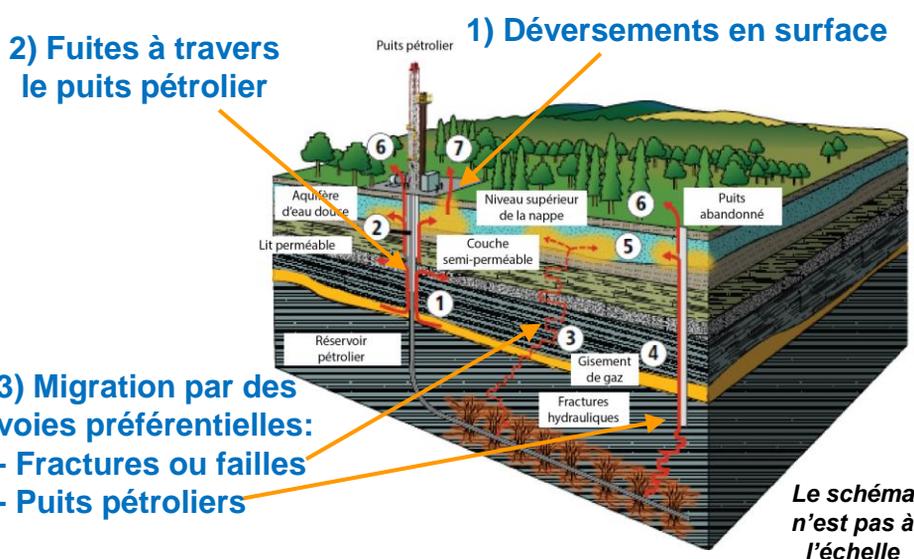
Indications de l'isolement du réservoir

- Le **réseau de fractures** naturelles du roc ne devrait pas permettre une communication entre la profondeur et l'aquifère au roc
- Les **pressions dans le réservoir** indiquent que la roche couverture isole efficacement le réservoir des unités sus-jacentes
- Les très faibles **concentrations** en hydrocarbures et autres composés organiques et l'origine biogénique prédominante du méthane ne donnent pas d'indication d'apports profonds importants

Conditions vs. projet de règlement

- La profondeur de 200 m d'eau douce ne peut pas être modifiée selon l'info disponible
- Haldimand No.4 est à plus de 300 m d'un puits et cette distance est sécuritaire
- Puits d'observation aux sites de forage adéquats et détecteraient une contamination
- Les quantités d'eau à utiliser pour le forage Haldimand No.4 n'exigent pas de permis

Mécanismes d'émission considérés



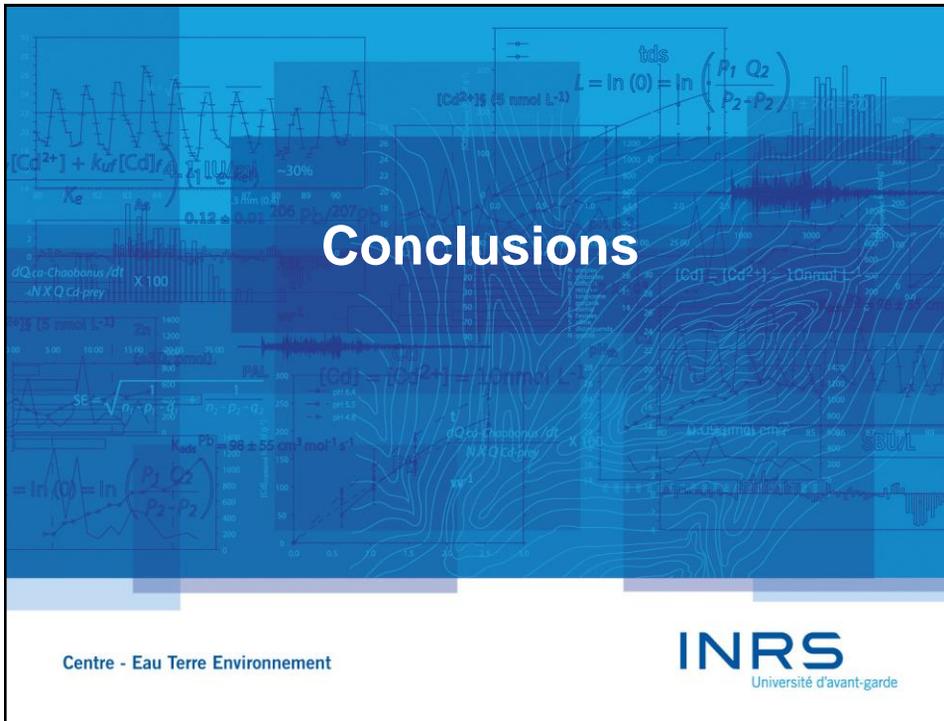
Source : Conseil des académies canadiennes (2014)

Déversements de liquides en surface

- Mécanisme **le plus probable** d'émission
- **Impact dépend de la vulnérabilité** de l'aquifère et de la nature des émissions
- La nature fracturée mais poreuse de l'aquifère au roc implique un **retard de la migration** d'un panache dissous mais une zone source **difficile à décontaminer**
- Mesures de **mitigation** du risque :
 - Sites de forage en zones moins vulnérables
 - Gestion rigoureuse des fluides et réservoirs
 - Mesures limitant la migration en surface

Incidences potentielles d'émissions

- Les déversements en surface sont le mode d'émission dont le risque doit être minimisé
- La vulnérabilité de l'aquifère au roc le rend susceptible aux sources à partir de la surface
- Les zones sources pourraient être persistantes mais migration lente d'un panache dissous
- Les cours d'eau sont les milieux récepteurs
- Les puits résidentiels ou municipaux ne sont pas des récepteurs de sources aux forages
- Hydrocarbures du réservoir distincts des suintements et du méthane dans l'aquifère



Conclusions – Contexte de l'aquifère

- Le projet permet une bonne compréhension des conditions hydrogéologiques d'Haldimand :
 - L'écoulement se fait dans l'aquifère au roc qui est plus fracturé dans sa partie supérieure (≈ 20 m)
 - La recharge se fait dans les hauts topographiques et la résurgence arrive dans les cours d'eau
 - L'eau souterraine est de très bonne qualité et a une géochimie et des temps de résidence variables
 - Le méthane a des origines bio et thermo-géniques
 - Il y a peu de liens entre la surface et la profondeur et les eaux évoluées et anciennes sont apportées sous Haldimand par l'écoulement régional

