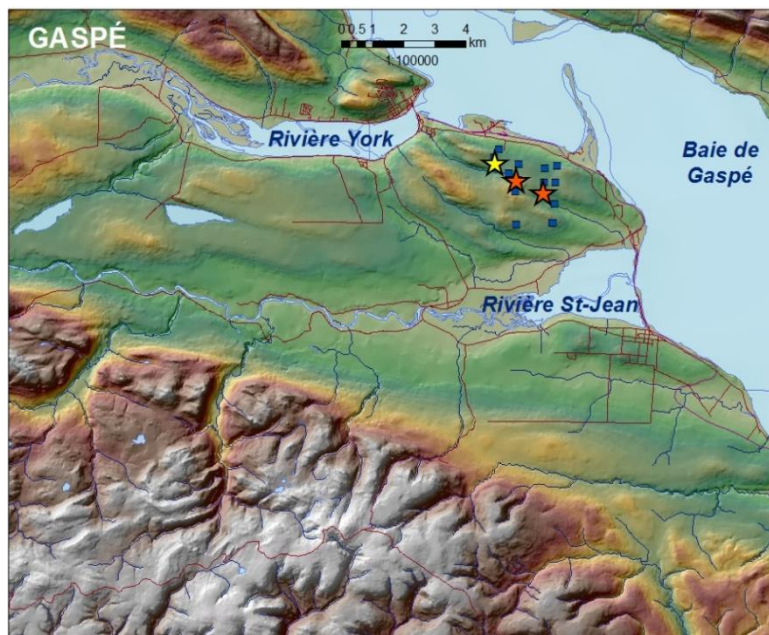


## Caractérisation hydrogéologique du secteur Haldimand

Mélanie Raynauld, Morgan Peel, René Lefebvre, Heather Crow,  
John Molson, Jason Ahad et Erwan Gloaguen



Institut national de la recherche scientifique  
Centre Eau Terre Environnement  
Rapport de recherche R-1497

Mai 2014

## Sommaire vulgarisé

Ce sommaire présente de façon vulgarisée les résultats de l'étude hydrogéologique du secteur Haldimand, à Gaspé ([carte 1](#)), réalisée pour le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) du Québec. Cette étude avait pour but d'établir le contexte hydrogéologique du secteur Haldimand, de manière à évaluer le risque pour la qualité de l'eau souterraine des opérations d'exploration pétrolière dans ce secteur, particulièrement par rapport à l'éventuel forage Haldimand No.4. Les travaux réalisés à l'aide des données existantes et des nouvelles données acquises dans le cadre de ce projet ont permis de développer une bonne compréhension du système d'écoulement de l'eau souterraine dans le secteur Haldimand. Cette compréhension forme la base d'un modèle conceptuel hydrogéologique qui a servi au développement d'un modèle numérique qui apporte une compréhension quantitative mais générale du système d'écoulement. Le risque environnemental pour la qualité de l'eau souterraine a ensuite été 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 pour les conditions spécifiques du secteur Haldimand, et 3) à l'incidence de ces émissions potentielles de contaminants dans le secteur Haldimand.

L'étude a été basée sur plusieurs sources d'information : 1) des données existantes compilées de sources publiques, tels que des rapports et la base de données du Ministère des Ressources naturelles (MRN), ainsi que de rapports internes mis à la disposition de l'INRS par Pétrolia; 2) des puits d'observation et des données issues d'une étude hydrogéologique réalisée entre 2011 et 2012 par la firme TechnoRem mandatée par Pétrolia ([carte 4](#), [section 2.1](#) et [annexes 3 et 4](#)); 3) des analyses chimiques spécialisées réalisées par la Commission géologique du Canada (CGC) sur des composés organiques dans l'eau souterraine et dans les suintements pétroliers ([annexe 4](#)); 4) des diagraphies réalisées par la CGC dans les puits d'observation en 2012 qui ont été faites à l'aide de sondes descendues dans les puits pour mesurer les propriétés de l'aquifère et de l'eau souterraine ([annexe 4](#)); 5) des analyses chimiques détaillées d'échantillons d'eau souterraine prélevés dans des puits résidentiels, dans un rayon de 2 km du site du forage Haldimand No.4, et des puits d'observation lors de la caractérisation du MDDEFP à la fin de l'été et à l'automne 2013 ([carte 5](#), [section 2.2](#) et [annexes 1 et 2](#)). Les analyses chimiques des échantillons prélevés par le MDDEFP incluent tous les paramètres prévus dans le projet de règlement du MDDEFP de mai 2013 ([annexe 4](#)). À l'exception du méthane, aussi analysé par la CGC, ces analyses ont été réalisées dans les laboratoires du MDDEFP. D'autres analyses plus spécialisées et non prévues dans le projet de règlement ont été faites dans différents laboratoires : analyses isotopiques de l'eau via l'Université de Waterloo ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$ ), analyses isotopiques du méthane à l'Université d'Ottawa et analyses des gaz nobles et des CFC/SF<sub>6</sub> à l'Université de Rennes ([protocoles analytiques à l'annexe 1](#)).

Le secteur Haldimand couvre environ 50 km<sup>2</sup> et forme une péninsule dans la Baie de Gaspé entre la rivière York, au nord-ouest, et la rivière St-Jean, au sud. Le secteur est en majorité boisé ([carte 12](#)), avec des résidences au pourtour le long de la route 132 (Montée de Sandy Beach, au nord, et Route Haldimand, au sud) et du Boulevard de

York Sud, à l'ouest. Des chemins privés gravelés pénètrent dans la péninsule. Le pourtour de la péninsule est au niveau moyen de la mer (NMM) et trois crêtes d'orientation nord-ouest/sud-est atteignent plus de 100 m NMM (maximum à 200 m NMM). En plus des cours d'eau majeurs au nord-ouest et au sud, quatre ruisseaux encaissés découpent la péninsule (Kennedy, Aug, Dean et No. 02M60000) ([carte 5](#)). Le réseau d'aqueduc municipal étant restreint à la partie nord-ouest du secteur Haldimand ([carte 5](#)), les résidences au pourtour de la péninsule utilisent généralement des puits pour assurer leur approvisionnement en eau. Ces puits sont presque tous forés au roc et ont une profondeur moyenne de 22 m (maximum de 65 m).

Les conditions géologiques du secteur Haldimand peuvent être définies à partir de travaux antérieurs ([section 1.3](#)). Le roc est constitué de grès et de mudstones qui représentent respectivement des sables et des boues consolidés. Dans le secteur Haldimand, ces roches sont relativement peu déformées mais sont bordées par deux failles régionales : la Faille Haldimand et la Faille du Bras Nord-Ouest ([section 1.3.2 et carte 3](#)). Le roc est poreux et fracturé et joue le rôle d'aquifère régional, c'est-à-dire qu'il est possible d'exploiter l'eau souterraine à partir de puits forés dans le roc. Le roc est recouvert par des épaisseurs variables de dépôts d'origine glaciaire ([section 1.3.1 et carte 2](#)); généralement entre 0 et 7 m ([section 3.4.1 et carte 6](#)). Ces dépôts sont constitués surtout de till glaciaire; un mélange de sédiments de dimensions variables.

Les conditions hydrogéologiques contrôlant la circulation de l'eau souterraine dans l'aquifère rocheux fracturé du secteur Haldimand ont été définies sur la base de différents travaux ([chapitre 3](#)). Les mesures faites avec des sondes dans les puits d'observation (diagraphies) ont permis de distinguer certaines subdivisions dans les types de roches composant l'aquifère au roc ([section 3.1](#)). Ces mesures ont aussi permis d'identifier la présence de fractures dans le roc. L'intensité de ces fractures contrôle la perméabilité du roc, c'est-à-dire la facilité avec laquelle l'eau souterraine y circule. La fracturation du roc et sa perméabilité varient selon la profondeur sous la surface du roc ([section 3.2](#)). Le roc est ainsi plus fracturé, et parfois altéré, dans les 20 premiers mètres de sa partie supérieure où on y retrouve plus de fractures ouvertes permettant la circulation de l'eau souterraine. Cependant, l'intensité de la fracturation diminue rapidement jusqu'à environ 40 m, qui est la profondeur maximale à laquelle les puits d'observation ont été forés. Il est donc plus facile pour l'eau souterraine de circuler dans la partie supérieure de l'aquifère au roc plutôt qu'en profondeur.

Des cartes et coupes hydrogéologiques définissent les conditions d'écoulement de l'eau souterraine dans le secteur Haldimand ([section 3.4](#)). Une carte de l'épaisseur des dépôts meubles qui recouvrent le roc ([carte 6](#)) a permis de définir aussi la topographie de la surface du roc ([carte 8](#)). Les dépôts meubles sont surtout constitués de till qui est un matériel compact et peu perméable. La présence de till épais (plus de 2 m) sur l'aquifère au roc limite sa recharge, qui est la proportion de l'eau provenant des précipitations qui contribue au renouvellement de l'eau de l'aquifère. Par contre, ce till épais protège l'aquifère au roc et le rend moins vulnérable à la contamination de la part d'activités qui pourraient émettre des contaminants à la surface du sol ([carte 31](#)). Enfin, la présence de till peut garder l'eau souterraine présente dans l'aquifère au roc sous pression, ce qu'on appelle des conditions « confinées » ([carte 11](#)). La carte dite « piézométrique » représente l'élévation du niveau de l'eau souterraine ([carte 9](#)).

L'écoulement de l'eau souterraine se fait à partir des endroits où le niveau d'eau est élevé vers ceux où le niveau est faible. Les fortes élévations du niveau d'eau souterraine correspondent aux hauts topographiques qui ne sont pas recouverts de till et représentent des zones de recharge préférentielle de l'aquifère au roc. En dehors des hauts topographiques, la couverture de till limite la recharge, ce qui implique aussi une réduction de la vulnérabilité. L'écoulement de l'eau souterraine est ainsi contrôlé par la topographie ([cartes 5 et 8](#)) et se fait des hauts topographiques vers les cours d'eau et la périphérie de la péninsule. Les lignes de partage des eaux souterraines correspondent aux limites de sous-bassins versants des cours d'eau; délimitant où l'eau souterraine peut s'écouler et où pourraient migrer des contaminants dissous dans l'eau souterraine ([carte 9](#)). Les cours d'eau semblent au moins partiellement reliés à l'aquifère car ils agissent comme des drains. Cependant, la présence d'une épaisseur importante de till sous certains segments de cours d'eau fait que ce lien n'est pas nécessairement direct et continu, dans le temps ou l'espace ([cartes 6 et 11](#)).

Les enregistrements de la variation dans le temps des niveaux d'eau dans les puits d'observation sont appelés des hydrogrammes. Leur interprétation a permis d'évaluer la recharge dans les zones préférentielles de recharge sur les hauts topographiques ([section 3.6.1](#)). La recharge a aussi été évaluée sur l'ensemble du secteur Haldimand à l'aide d'un bilan d'eau qui implique l'estimation de la répartition des précipitations entre le ruissellement de surface, l'évapotranspiration et l'eau qui s'infiltré dans le sol pour recharger l'aquifère ([section 3.6.2](#)). L'établissement de ce bilan a nécessité la cartographie de l'utilisation du territoire ([carte 12](#)), de la pente de la surface du sol ([carte 13](#)), des groupes hydrologiques ([carte 14](#)) qui contrôlent l'importance du ruissellement ([carte 15](#)), pour enfin produire une carte de la recharge ([carte 16](#)). La vulnérabilité de l'aquifère au roc a été évaluée avec la méthode DRASTIC, qui utilise une combinaison pondérée de sept indicateurs correspondants aux lettres de l'acronyme du nom de la méthode : profondeur à la nappe (*D*epth; [carte 17](#)), recharge ([carte 19](#)), type d'aquifère ([carte 21](#)), type de sol ([carte 23](#)), pente de la surface du sol (*T*opography; [carte 25](#)), influence de la zone non saturée ([carte 27](#)) et conductivité hydraulique ([carte 29](#)). L'indice DRASTIC ([carte 31](#)) montre que la vulnérabilité de l'aquifère au roc va de moyenne à très élevée dans le secteur Haldimand; ce qui implique que des émissions de contaminants en surface sont susceptibles de mener à une contamination de l'eau souterraine dans l'aquifère au roc.

La composition chimique de l'eau souterraine nous apprend beaucoup, non seulement sur la qualité de l'eau, mais aussi sur son évolution chimique; ce qui nous donne des indications sur le fonctionnement du système aquifère ([chapitre 4](#)). Les paramètres chimiques de l'eau souterraine obtenus de son analyse ont été utilisés pour classer l'eau souterraine en deux groupes de types d'eau ayant des compositions chimiques distinctes ([section 4.2](#)). Cette classification a permis de reconnaître un groupe de quatre types d'eau représentant des eaux souterraines peu « évoluées » et typiques des zones de recharge (cation majeur  $\text{Ca}^{2+}$  et anion majeur  $\text{HCO}_3^-$ ). Un autre groupe comprend aussi quatre types d'eau qui ont des compositions plus « évoluées » (cation majeur  $\text{Na}^+$  et anion majeur  $\text{HCO}_3^-$  ou  $\text{Cl}^-$ ) mais tout de même avec une teneur en solides dissous modérée (concentration moyenne de moins de 400 mg/l). L'eau des puits d'observation et d'approvisionnement de la Ville de Gaspé au sud de la rivière St-Jean a une géochimie distincte des eaux retrouvées sur la péninsule d'Haldimand. Il y a ainsi une

grande variabilité dans la géochimie de l'eau souterraine et la répartition spatiale des différents types d'eau est complexe ([carte 33](#)). Ceci pourrait indiquer que la fracturation naturelle joue un rôle dans la répartition des apports d'eau évoluée dans la zone active d'écoulement et qu'il y a des apports d'eau évoluée et à long temps de résidence vers la surface et certains cheminements préférentiels d'écoulement. Les analyses isotopiques montrent que l'eau souterraine provient des précipitations, qu'il y a une proportion d'eau jeune, et donc de la recharge, presque partout mais qu'on peut aussi retrouver des eaux avec de longs temps de résidence de quelques milliers d'années. Ces temps de résidence de l'eau souterraine sont suffisamment longs pour permettre l'évolution géochimique de l'eau observée dans le secteur Haldimand, mais impliquent aussi qu'il y a des apports d'eau évoluée dans l'aquifère de surface. Globalement, sur la base des analyses du MDDEFP, l'eau souterraine peut être considérée de très bonne qualité : seulement 4 puits résidentiels et 4 puits d'observation présentent des concentrations en métaux qui dépassent les normes de potabilité.

Des composés et des acides organiques ont été détectés dans les échantillons d'eau souterraine, mais tous à des concentrations sous les normes ou critères esthétiques. Ainsi, même si des suintements d'hydrocarbures sont présents à trois endroits à la surface de la région d'étude, on retrouve de très faibles concentrations d'hydrocarbures ou d'acides organiques dissous dans l'eau souterraine. Au niveau des concentrations en méthane, 3 puits résidentiels et 7 puits d'observation dépassent le seuil d'alerte du méthane de 7 mg/l. Les plus fortes concentrations en méthane sont associées aux eaux plus évoluées. Le méthane est d'origine naturelle mixte, biogénique et thermogénique; impliquant une production directement dans la partie supérieure de l'aquifère lui-même et un certain apport de gaz d'origine plus profonde. Seul le méthane à PH-01 près du puits Haldimand No.1 est clairement thermogénique, mais il pourrait être d'origine peu profonde. Le méthane ne représente pas un problème de qualité d'eau mais de sécurité et son accumulation dans la tuyauterie doit être évitée. Les propriétaires des puits résidentiels avec des concentrations en méthane excédant 7 mg/l ont été avisés de cette situation et des mesures à prendre. La composition de l'huile aux suintements d'hydrocarbures a été analysée ([carte 5](#)). Les hydrocarbures dans le suintement S1, présent en bordure du ruisseau Dean, sont très dégradés. Toutefois, les hydrocarbures dans le suintement POT2, retrouvé au sud-ouest de la rue Forest, sont bien moins dégradés. La composition des hydrocarbures du suintement S1 implique une mise en place à une époque reculée tandis que la signature du suintement POT2 témoigne de la présence d'huile plus « fraîche ». Le suintement S1 semble ainsi inactif, et ne représente pas un apport actif d'huile à partir de la profondeur. Il est cependant impossible de déterminer la source et l'activité du suintement POT2 à cause de la présence d'un ancien puits pétrolier associé au suintement. Les travaux réalisés lors de la présente étude n'ont pas permis de déterminer si le puits pétrolier a été foré dans un suintement actif ou si ce puits est lui-même en partie responsable du suintement.

Un modèle numérique en deux dimensions a été développé pour représenter le système d'écoulement du secteur Haldimand. Afin de considérer l'effet de l'écoulement régional, le modèle représente une coupe verticale allant des hauts topographiques au sud d'Haldimand jusqu'à la baie de Gaspé sur environ 13 kilomètres de longueur et 1 kilomètre de profondeur ([chapitre 5 et carte 35](#)). La géométrie de l'aquifère (topographie de la surface), les propriétés des matériaux, la présence d'eau ayant des salinités

différentes (eau douce, eau marine et eau de formation) et les conditions de recharge et de résurgence de l'eau souterraine sont considérées par ce modèle. À partir de ces conditions, le modèle permet de représenter l'écoulement de l'eau souterraine, le transport des composés dissous naturellement dans l'eau souterraine et le temps de résidence (âge) de l'eau souterraine qui circule dans le système d'écoulement. La modélisation numérique montre que la zone active d'écoulement dans le secteur Haldimand serait assez peu profonde, allant jusqu'à environ 120 m sous le niveau moyen de la mer (NMM). De l'eau douce pourrait se trouver jusqu'à environ 200 m sous le NMM. Cependant, le modèle a utilisé des conditions telles que la zone active et l'intervalle contenant de l'eau douce sont jugées d'épaisseurs maximales par rapport aux conditions réelles. La modélisation montre un apport d'eau souterraine à partir des hautes terres situées au sud de la rivière St-Jean, laquelle est un exutoire important, mais une partie de l'eau poursuit son écoulement jusque sous Haldimand jusqu'au nord de la péninsule. La modélisation montre aussi que les patrons d'écoulement peuvent apporter des eaux évoluées ayant de longs temps de résidence (excédant 1 million d'années) de la profondeur vers les exutoires du système d'écoulement, surtout la rivière St-Jean. Sous la péninsule Haldimand, on retrouverait des eaux à long temps de résidence (1000 à 10 000 ans) à de relativement faibles profondeurs, ce qui expliquerait l'observation des eaux souterraines plus évoluées dont la répartition pourrait être influencée par un patron complexe de fracturation près de la surface du roc.

Le degré d'isolement du réservoir pétrolier par rapport à l'aquifère au roc peut être évalué à partir de différentes observations. D'abord, le réseau de fractures naturelles du roc observé près de la surface est différent de celui observé en profondeur où l'intensité de la fracturation est relativement faible ([section 3.2](#)). Le réseau de fractures naturelles du roc ne devrait donc pas permettre une communication entre la profondeur et l'aquifère au roc près de la surface. Ensuite, une estimation de la pression de l'eau de la surface jusqu'au niveau du réservoir a été comparée aux pressions mesurées dans le réservoir pétrolier ([section 3.8](#)). Les pressions dans le réservoir sont beaucoup plus élevées que celles qui seraient obtenues si l'eau était en continuité, ce qui indique que la roche couverture du réservoir isole efficacement les hydrocarbures du réservoir des unités sus-jacentes et empêche leur migration. Enfin, les très faibles concentrations en hydrocarbures dissous et en acides organiques dans l'eau souterraine ([section 4.5](#)) ainsi que l'origine biogénique prédominante du méthane ([section 4.4](#)) ne donnent pas d'indication d'apport important de fluides profonds dans l'aquifère au roc superficiel.

Sur la base de notre compréhension du système hydrogéologique, nous avons fait une évaluation du risque environnemental de dégradation de la qualité de l'eau souterraine par rapport aux activités d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures dans le secteur Haldimand ([chapitre 6](#)). Considérant les conditions rencontrées à Haldimand ([section 6.1 et Tableau 6-1](#)), cette évaluation est faite en considérant trois aspects de la question : 1) les conditions rencontrées à Haldimand par rapport au projet de règlement du MDDEFP (2013) visant l'encadrement des activités d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures ([section 6.2.1 et Tableau 6-2](#)); 2) les conditions rencontrées à Haldimand par rapport aux mécanismes de contamination potentielle de l'eau souterraine qui pourraient résulter des opérations pétrolières ([section 6.2.2 et Tableau 6-3](#)); et 3) les incidences que pourraient avoir l'émission de contaminants à Haldimand par ces mécanismes de contamination potentielle ([section 6.2.3](#)). Toutes les conditions

présentes dans le secteur Haldimand par rapport à l'éventuel forage Haldimand No.4 rencontrent les exigences du projet de règlement du MDDEFP (2013) (Tableau 6-2). C'est cependant le MDDEFP lui-même qui a pris la responsabilité de réaliser une caractérisation hydrogéologique conforme aux exigences du projet de règlement. Les exigences du projet de règlement par rapport à la mise en place d'un réseau de puits d'observation étaient déjà rencontrées par les travaux réalisés antérieurement par TechnoRem (2013) pour Pétrolia ([section 6.3](#)).

Les mécanismes potentiels d'émission des contaminants dans l'eau souterraine par des opérations pétrolières que nous avons considérés incluent les épanchements de liquide en surface, les fuites à travers la cimentation ou les coffrages des puits pétroliers, et la migration des fluides à partir des niveaux exploités jusqu'aux aquifères via des cheminements préférentiels naturels (failles) ou des puits pétroliers (anciens ou actifs) ([section 6.2.2 et](#) Tableau 6-3). En tant que mode d'émission potentiel de contaminants, les épanchements de liquides en surface sont les plus susceptibles de se produire. La vulnérabilité moyenne à très élevée de l'aquifère au roc fait en sorte que ces épanchements pourraient avoir une incidence directe sur la dégradation de la qualité de l'eau souterraine. Sans mesures de prévention ou de mitigation, ce mécanisme d'émission pourrait être à l'origine de zones sources de contamination qui pourraient agir à moyen ou long terme (au-delà d'une décennie), particulièrement si le liquide émis est un contaminant organique immiscible comme du pétrole. Considérant la localisation du site du forage Haldimand No.4, c'est le ruisseau Dean qui serait le milieu récepteur susceptible d'être affecté par ce mécanisme d'émission. Cependant, la migration de contaminants dissous serait retardée par leur diffusion dans la matrice poreuse de l'aquifère au roc ainsi que par la présence de till avec une épaisseur entre 2 et 4 m sous le ruisseau Dean. De plus, des mesures de protection de l'aquifère au roc, telle que la mise en place d'une membrane sous le site de forage, permettraient de limiter le risque de contamination de l'aquifère au roc. Une gestion rigoureuse des opérations de transport, transfert et entreposage des fluides contribuerait aussi à la réduction du risque de contamination. Aux trois sites Haldimand No.1, No.2 et No.4, les puits résidentiels entourant la péninsule Haldimand de même que les puits municipaux situés au sud de la rivière St-Jean ne représentent pas des milieux récepteurs potentiels d'émissions qui se produiraient aux sites mêmes de ce forage ou de ces puits. Cependant, si des épanchements se produisaient sur les routes conduisant aux sites de forage, alors certains des puits résidentiels situés au nord de la péninsule pourraient constituer des milieux récepteurs de la contamination. Les autres mécanismes potentiels d'émissions de contaminants par les opérations pétrolières ont à la fois moins de probabilité de se produire et des incidences moindres et non immédiates sur la qualité de l'eau souterraine. Cependant, le fait que certains anciens puits atteignent le réservoir pétrolier Haldimand devrait inciter une vérification de la qualité des mesures d'abandon et de cimentation des anciens puits réalisées par le MRN.

Quel que soit le mécanisme d'émission considéré, si ces émissions sont constituées de pétrole provenant du réservoir pétrolier ou de gaz purement thermogénique, la signature chimique de ces hydrocarbures pourrait être distinguée de celle des suintements pétroliers et du méthane présent naturellement à Haldimand, de même que de sources de contamination qui pourraient être reliées à des émissions d'essence ou de diesel non reliées aux opérations pétrolières.