



**Évaluation du potentiel de génération d'électricité géothermique en  
Gaspésie : régions de la vallée de la Matapédia et de Gaspé**

RAPPORT FINAL

Par

**Anne Chabot Bergeron**

**Jasmin Raymond**

**Michel Malo**

**Félix-Antoine Comeau**

**Soumis l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)**

**31 mars 2016 – Québec**

**Rapport de recherche 1661**



---

**TABLE DES MATIÈRES**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>SOMMAIRE.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>AVANT-PROPOS .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>1. INTRODUCTION.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1. Problématique .....  | 13        |
| 1.2. Mise en contexte .....   | 13        |
| 1.3. Objectif .....   | 14        |
| 1.4. Contexte géologique .....  | 14        |
| 1.4.1. Paléozoïque inférieur .....  | 15        |
| 1.4.2. Paléozoïque moyen.....   | 15        |
| 1.4.3. Paléozoïque supérieur.....   | 15        |
| 1.5. Choix des coupes transversales.....  | 17        |
| 1.6. Méthodologie .....   | 19        |
| 1.6.1. Correction des températures en fond de puits selon la méthode de Harrison..... | 19        |
| 1.6.2. Propriété thermique du roc .....   | 20        |
| 1.6.3. Évaluation du flux de chaleur en surface .....                                 | 21        |
| 1.6.4. Calcul de ressources .....   | 23        |
| <b>2. RÉSULTATS .....</b>   | <b>25</b> |
| 2.1. Analyse de profils à l'équilibre.....  | 25        |
| 2.1.1. Profil de Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001) .....                     | 27        |
| 2.2. Correction des températures .....  | 28        |
| 2.2.1. Gradient thermique corrigé .....   | 32        |
| 2.3. Propriétés thermiques du roc .....   | 32        |
| 2.3.1. Conductivité thermique (K).....  | 32        |
| 2.3.2. Capacité thermique ( $\rho C_p$ ).....   | 36        |
| 2.4. Températures en profondeur .....   | 37        |
| 2.5. Calcul de ressources.....  | 38        |
| 2.5.1. Vallée de la Matapédia .....   | 38        |
| 2.5.2. Secteur de Gaspé.....  | 39        |
| 2.6. Évaluation de la sensibilité des paramètres.....                                 | 41        |
| 2.6.1. Conductivité thermique (K).....  | 41        |
| 2.6.2. Température (T) corrigée en fond de forage.....                                | 45        |
| 2.6.3. Génération de chaleur par dégradation des éléments radioactifs (A).....        | 49        |
| 2.6.4. Facteur de récupération (Fr).....  | 52        |
| 2.6.5. Facteur d'utilisation (nth).....   | 52        |
| <b>3. DISCUSSION.....</b>   | <b>53</b> |
| 3.1. Anomalies de température .....   | 53        |
| 3.2. Conductivité thermique.....  | 53        |
| 3.3. Correction de température.....   | 53        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.4.      | Génération de chaleur par dégradation des éléments radioactifs.....  | 53        |
| 3.5.      | Volume des réservoirs.....   | 54        |
| 3.6.      | Capacité thermique .....   | 54        |
| 3.7.      | Facteur de récupération et facteur d'utilisation.....  | 54        |
| <b>4.</b> | <b>CONCLUSION.....</b>   | <b>55</b> |
|           | <b>RÉFÉRENCES .....</b>  | <b>56</b> |
|           | <b>ANNEXE A – LITHOSTRATIGRAPHIE DÉTAILLÉE DES SECTEURS DE LA VALLÉE DE LA MATAPÉDIA ET DE GASPÉ .....</b>         | <b>59</b> |
| 5.1.      | Vallée de la Matapédia.....  | 59        |
| 5.1.1.    | <i>Nappe du Mont Logan</i> .....   | 59        |
| 5.1.2.    | <i>Formation de Cabano</i> .....   | 59        |
| 5.1.3.    | <i>Groupe de Chaleurs</i> .....  | 59        |
| 5.1.4.    | <i>Groupe des Calcaires Supérieurs de Gaspé</i> .....  | 59        |
| 5.1.5.    | <i>Groupe des Grès de Gaspé</i> .....  | 59        |
| 5.2.      | Secteur de Gaspé.....  | 61        |
| 5.2.1.    | <i>Nappe du Mont Logan</i> .....   | 61        |
| 5.2.2.    | <i>Nappe de la Rivière Ouelle</i> .....  | 61        |
| 5.2.3.    | <i>Groupe de Matapédia</i> .....   | 61        |
| 5.2.4.    | <i>Groupe de Chaleurs</i> .....  | 61        |
| 5.2.5.    | <i>Groupe des Calcaires Supérieurs de Gaspé</i> .....  | 62        |
| 5.2.6.    | <i>Groupe des Grès de Gaspé</i> .....  | 62        |
|           | <b>ANNEXE B – DÉTERMINATION DE VRAIE VALEUR VERTICALE (TRUE VERTICAL DEPTH) .....</b>                              | <b>63</b> |
|           | <b>ANNEXE C – CORRECTION DES MESURES DE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE POUR L'UTILISATION DE LA SONDE À AIGUILLE .....</b> | <b>64</b> |
|           | <b>ANNEXE D – RÉSULTATS DE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DÉTAILLÉS .....</b>  | <b>65</b> |
|           | <b>ANNEXE E – RÉSULTATS DES DESCRIPTIONS PÉTROGRAPHIQUES .....</b>   | <b>67</b> |
|           | <b>ANNEXE F – RÉSULTATS DU CALCUL DE LA CAPACITÉ THERMIQUE.....</b>  | <b>68</b> |
|           | <b>ANNEXE G – RÉSULTATS DÉTAILLÉS DU CALCUL DE RESSOURCE .....</b>   | <b>69</b> |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 – Flux de chaleur en surface au Canada.....  | 13 |
| Figure 2 – Région de la Gaspésie séparée sous forme d'assemblages temporels. ....   | 14 |
| Figure 3 – Carte géologique de la région de la Gaspésie. ....   | 16 |
| Figure 4 – Région de la Gaspésie séparée sous forme d'assemblages temporels. ....   | 17 |
| Figure 5 – Coupes transversales utilisées afin d'évaluer le potentiel géothermique de la région de la Gaspésie. ....  | 18 |
| Figure 6 – Température à 4 km de profondeur.....  | 18 |
| Figure 7 – Mise en carte détaillée des profils sismiques et des puits présents pour chaque secteur. ....  | 19 |
| Figure 8 – Sonde à aiguille RK-1 et appareil calculant la conductivité thermique. ....  | 20 |
| Figure 9 – Plaque chauffante en régime transitoire.....   | 20 |
| Figure 10 – Différents modèles faisant varier la conductivité thermique ainsi que la génération de chaleur par désintégration radioactive. ....   | 22 |
| Figure 11 – Simplifications stratigraphiques des puits C088 et C090. ....   | 23 |
| Figure 12 – Profils de la densité, porosité, température à l'équilibre, conductivité thermique, formations et lithologies traversées en fonction de la vraie valeur verticale du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087). .... | 26 |
| Figure 13 – Profils de la température à l'équilibre, conductivité thermique, formations et lithologies traversées en fonction de la vraie valeur verticale du puits Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001). ....      | 27 |
| Figure 14 – Sommaires des mesures prises sur le profil du puits Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001) en fonction de la vraie valeur verticale. ....   | 28 |
| Figure 15 – Carte géologique de la Gaspésie ainsi que des températures corrigées selon Harrison et de la profondeur des puits. ....   | 29 |
| Figure 16 – Résultat des températures corrigées et non corrigées en fonction de la vraie valeur verticale. ....   | 31 |
| Figure 17 – Résultats des mesures de conductivité thermique de chaque unité géologique pour le secteur de la vallée de la Matapédia. ....   | 33 |
| Figure 18 – Graphique des valeurs de conductivité thermique mesurées pour le secteur de la vallée de la Matapédia en fonction du nombre de répétitions par intervalle.....  | 34 |
| Figure 19 – Résultats des mesures de conductivité thermique de chaque unité géologique pour le secteur de Gaspé. ....   | 35 |
| Figure 20 – Graphique des valeurs de conductivité thermique mesurées pour le secteur de Gaspé en fonction du nombre de répétitions par intervalle.....  | 36 |
| Figure 21 – Profil de température pour la vallée de la Matapédia. ....  | 37 |
| Figure 22 – Profil de température pour la région de Gaspé. ....   | 38 |
| Figure 23 – Délimitation des zones permettant le calcul de ressource pour la vallée de la Matapédia.....  | 38 |
| Figure 24 – Délimitation des zones permettant le calcul de ressource pour la région de Gaspé.....   | 39 |
| Figure 25 – Schématisation de la variation de la conductivité thermique pour la vallée de la Matapédia. ....  | 42 |
| Figure 26 – Schématisation de la variation de la conductivité thermique pour le secteur de Gaspé. ....  | 43 |
| Figure 27 – Schématisation de la variation de la température en profondeur pour la vallée de la Matapédia. ....   | 47 |
| Figure 28 – Schématisation de la variation de la température en profondeur pour le secteur de Gaspé. ....   | 48 |
| Figure 29 – Schématisation de la variation des constantes de désintégration radioactive en profondeur pour la vallée de la Matapédia. ....  | 50 |
| Figure 30 – Schéma de la variation des constantes de désintégration radioactive en profondeur pour le secteur de  |    |

|  |    |
|--|----|
| Gaspé. ....  | 50 |
| Figure 31 – Schéma de la variation des constantes de désintégration radioactive en profondeur pour le secteur de Gaspé. .... | 60 |
| Figure 32 – Description lithologique détaillée de la Formation de West Point au bord de la route 197. ....                   | 62 |
| Figure 33 – Description lithologique détaillée de la Formation de West Point au bord de la route 197. ....                   | 63 |

**LISTE DES TABLEAUX**

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 - Températures moyennes annuelles des stations de la Gaspésie entre 1981 et 2010. ....   | 21 |
| Tableau 2 - Moyennes des paramètres du profil du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087) pour chaque formation et section. ....   | 25 |
| Tableau 3 - Résumé des gradients extrêmes pour les températures corrigées et non corrigées. ....   | 29 |
| Tableau 4 - Résumé des résultats de correction de température.....   | 30 |
| Tableau 5 - Résultats du gradient thermique corrigé.....   | 32 |
| Tableau 6 - Résultats de la capacité thermique ( $\rho C_p$ ) dans le secteur de la vallée de la Matapédia. ....   | 36 |
| Tableau 7 - Résultats de la capacité thermique ( $\rho C_p$ ) dans le secteur de Gaspé. ....   | 37 |
| Tableau 8 - Calcul de ressource pour le secteur de la vallée de la Matapédia.....  | 40 |
| Tableau 9 - Calcul de ressource pour le secteur de Gaspé. ....   | 40 |
| Tableau 10 - Résultats du calcul de ressource pour l'intervalle de température 150 °C – 170 °C de la vallée de la Matapédia pour différentes variations de la conductivité thermique. .... | 44 |
| Tableau 11 - Résultats du calcul de ressource pour l'intervalle de température 150 °C – 170 °C du secteur de Gaspé pour différentes variations de la conductivité thermique. ....          | 44 |
| Tableau 12 - Résultats des variations de profondeur de l'intervalle 150 - 170 °C pour différentes variations de la conductivité thermique.....   | 45 |
| Tableau 13 - Résultats des variations de profondeur du réservoir anomalique pour différentes variations de la conductivité thermique.....  | 45 |
| Tableau 14 - Résultats du calcul de ressource de la vallée de la Matapédia pour différentes variations de la température. ....   | 46 |
| Tableau 15 - Résultats du calcul de ressource du secteur de Gaspé pour différentes variations de la température. ....  | 46 |
| Tableau 16 - Résultats des variations de profondeur de l'intervalle 150 - 170 °C pour différentes variations de la température. ....   | 49 |
| Tableau 17 - Résultats des variations de profondeur de la zone anomalique pour différentes variations de la température. ....  | 49 |
| Tableau 18 - Résultats du calcul de ressource du secteur de la vallée de la Matapédia pour différentes valeurs de génération de chaleur. ....  | 51 |
| Tableau 19 - Résultats du calcul de ressource du secteur de Gaspé pour différentes valeurs de génération de chaleur. ....  | 51 |
| Tableau 20 - Résultats du calcul de ressource du secteur de la vallée de la Matapédia pour différents facteurs de récupération.....  | 52 |
| Tableau 21 - Résultats du calcul de ressource du secteur de Gaspé pour différents facteurs de récupération. ....   | 52 |
| Tableau 22 - Résultats détaillés des mesures de conductivité thermique pour le secteur de Gaspé.....   | 65 |
| Tableau 23 - Résultats détaillés des mesures de conductivité thermique pour la vallée de la Matapédia.....   | 66 |
| Tableau 24 - Résultats de l'évaluation de la composition minéralogique en lames minces permettant le calcul de la  |    |

|  |    |
|--|----|
| capacité thermique. ....   | 67 |
| Tableau 25 - Résultats détaillés du calcul de la capacité thermique calculée. ....           | 68 |
| Tableau 26 - Résultats détaillés du calcul de ressource pour la vallée de la Matapédia. .... | 69 |
| Tableau 27 - Résultats détaillés du calcul de ressource pour la région de Gaspé.....         | 69 |



## Sommaire

Les nouvelles technologies utilisées dans les centrales géothermiques binaires offrent une perspective de production rentable d'électricité à partir d'un réservoir d'une température minimale d'environ 150 °C. Les bassins sédimentaires sont en général des terrains favorables à l'exploitation de ce type de ressources profondes. La province de Québec se situe dans une zone où le gradient géothermique est faible à modéré puisqu'il n'y a pas d'activité tectonique causant du magmatisme à proximité. C'est dans cette optique qu'une évaluation préliminaire du potentiel de génération d'électricité a été initiée pour les bassins sédimentaires du Québec. Notre projet porte plus particulièrement sur le bassin siluro-dévonien de la Gaspésie dans les régions de la vallée de la Matapédia et de Gaspé. Les températures en fond de puits disponibles dans les deux régions ont initialement été corrigées selon la méthode de Harrison. L'analyse graphique de l'ensemble des températures corrigées a permis d'identifier des anomalies de température, notamment pour deux puits qui présentent un gradient géothermique corrigé de 42,9 °C/km et 38,5 °C/km. Ces gradients sont environ 15 °C/km plus élevés que la moyenne de tous les gradients géothermiques corrigés des 20 puits analysés en Gaspésie (24,9 °C/km). De plus, l'analyse du puits à l'équilibre Gulf, Sunny Bank No 1 (C087) a permis de constater un phénomène de roche-couverture. En effet, le gradient géothermique du puits C087 passe de 15,5 °C/km à 19,2 °C/km à environ 1 500 m de profondeur. Des mesures de conductivité thermique couplées à des températures en fond de puits corrigées ont permis d'évaluer le flux de chaleur terrestre et d'extrapoler la température en profondeur. Les profils de température réalisés montrent une forte déformation des isogrades en bordure des puits anormaux. Le calcul de ressource indique une puissance de génération d'électricité géothermique de 21,96 à 219,65 MW<sub>e</sub> à une profondeur moyenne de 7 km pour la vallée de la Matapédia et 8,56 à 85,59 MW<sub>e</sub> à 6,5 km pour le secteur de Gaspé selon un facteur de récupération de chaleur des réservoirs de 2 et 20 %, respectivement. Le toit des zones anormales de température se situe à 4 km de profondeur alors que la profondeur moyenne des zones anormales est de 7 km. L'incertitude liée aux principaux paramètres considérés dans le calcul de ressources a été évaluée et l'impact sur le potentiel de génération d'électricité varie jusqu'à ± 5 à 8 % pour un changement de ± 10 % de la température corrigée en fond de puits. Effectivement, il n'a pas été possible de valider la pertinence de la correction de Harrison pour ces secteurs avec des mesures à l'équilibre ou par comparaison avec un deuxième type de correction. De plus, les mesures de conductivité thermique sont en moyenne élevées, ce qui peut être expliqué par la difficulté d'échantillonner des unités argileuses et/ou silteuses.



## **Avant-propos**

Dans le cadre du programme Initiatives stratégiques pour l'innovation, l'INRS-ETE a obtenu une subvention du Fonds de recherche Nature et technologies du Québec pour un projet intitulé « Potentiel de la géothermie profonde au Québec ». Ce projet, réalisé en partenariat avec Hydro-Québec, visait à initier un programme de recherche pour développer la filière de production d'énergie électrique à partir de la géothermie. En effet, des études récentes suggèrent que le Québec pourrait comporter des ressources géothermiques hydrothermales dans les bassins sédimentaires des Basses-Terres du Saint-Laurent et des Appalaches, et des ressources liées aux systèmes stimulés par fracturation hydraulique dans les roches du socle sous-jacentes. Ce projet se divise en trois volets :

- 1) l'exploration géologique et l'évaluation des ressources;
- 2) l'ingénierie des réservoirs et la simulation de l'exploitation; et
- 3) les impacts environnementaux.

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre du volet 1 de ce projet de recherche. Il a pour objectif principal d'évaluer le potentiel de génération d'électricité géothermique de deux régions en Gaspésie. Il a été réalisé dans le cadre d'un stage d'été qui a servi de projet de fin d'études de Anne Chabot-Bergeron, une étudiante au Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval. Le stage a été réalisé à l'INRS-ETE, sous la direction de Michel Malo et de Jasmin Raymond avec la participation de Félix-Antoine Comeau.

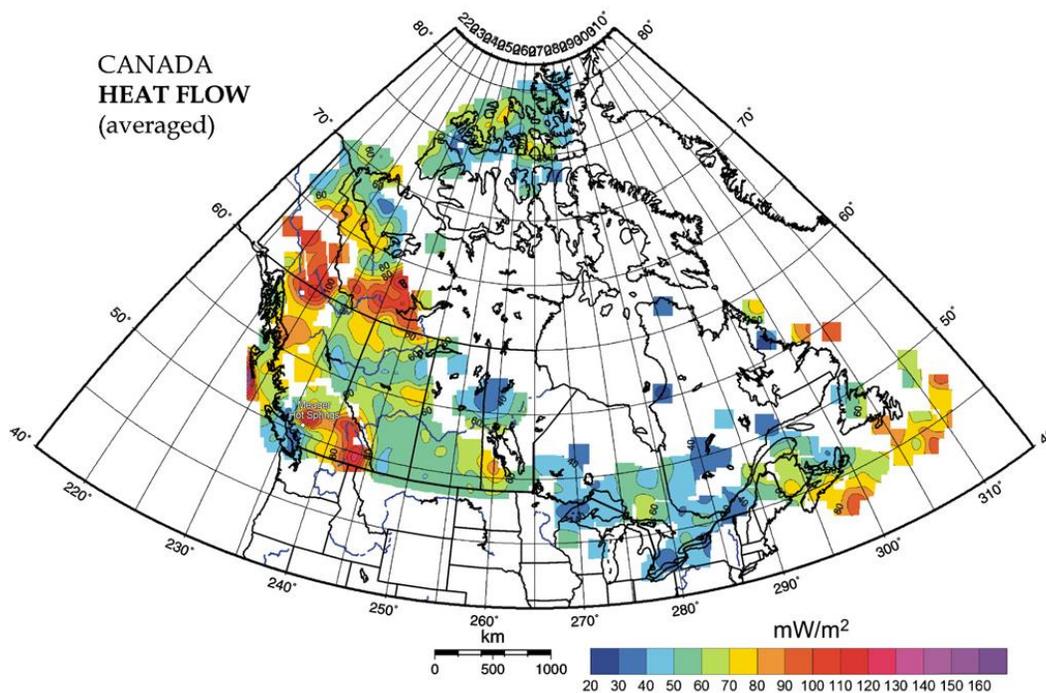


## 1. Introduction

### 1.1. Problématique

L'évaluation du flux de chaleur en surface couplée à une connaissance des propriétés thermiques des roches en profondeur permet d'évaluer le potentiel de production d'électricité géothermique de futurs sites. De manière générale, un flux de chaleur élevé est associé à une activité tectonique (p. ex. zone de subduction ou dorsale océanique) provoquant du magmatisme près de la surface. En effet, il est possible d'observer ces phénomènes dans les provinces de l'Ouest canadien qui ont un flux de chaleur moyen à élevé, ce qui n'est pas le cas du Québec (Figure 1). Par contre, d'autres paramètres peuvent être pris en

compte afin de déterminer d'éventuels sites potentiels. En effet, la connaissance des températures en fond de puits corrigées permet de déterminer des anomalies potentielles de température. Une combinaison de couches de faible conductivité thermique, recouvrant un secteur avec un flux de chaleur moyen, offre des cibles d'exploration pour les ressources géothermiques profondes des bassins sédimentaires (Majorowicz et Grasby, 2010). De plus, de nouvelles avancées technologiques dans le domaine de la conversion de chaleur en électricité avec les cycles binaires permettent de générer de l'électricité de manière rentable à une température minimale de 150°C sous certaines conditions (Blackwell *et al.*, 2006).



**Figure 1 – Flux de chaleur en surface au Canada.**

Source : Majorowicz et Grasby (2010)

### 1.2. Mise en contexte

Dans le cadre de l'étude sur l'évaluation du potentiel géothermique du Québec, le présent rapport évalue le secteur de la Gaspésie. Auparavant, le potentiel géothermique du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent a été quantifié par un modèle géologique 3D du bassin sédimentaire (Bédard *et al.*, 2014). La Gaspésie possède également un potentiel

géothermique puisqu'elle est composée majoritairement de roches sédimentaires réservoirs et couvertures, en alternance, formant des pièges stratigraphiques potentiellement isolants (Majorowicz et Minea, 2013; Bourque, 2001). De plus, Majorowicz et Minea (2012; 2013) ont récemment constaté des anomalies de température dans le secteur de la vallée de la Matapédia ainsi que dans la région de Gaspé.

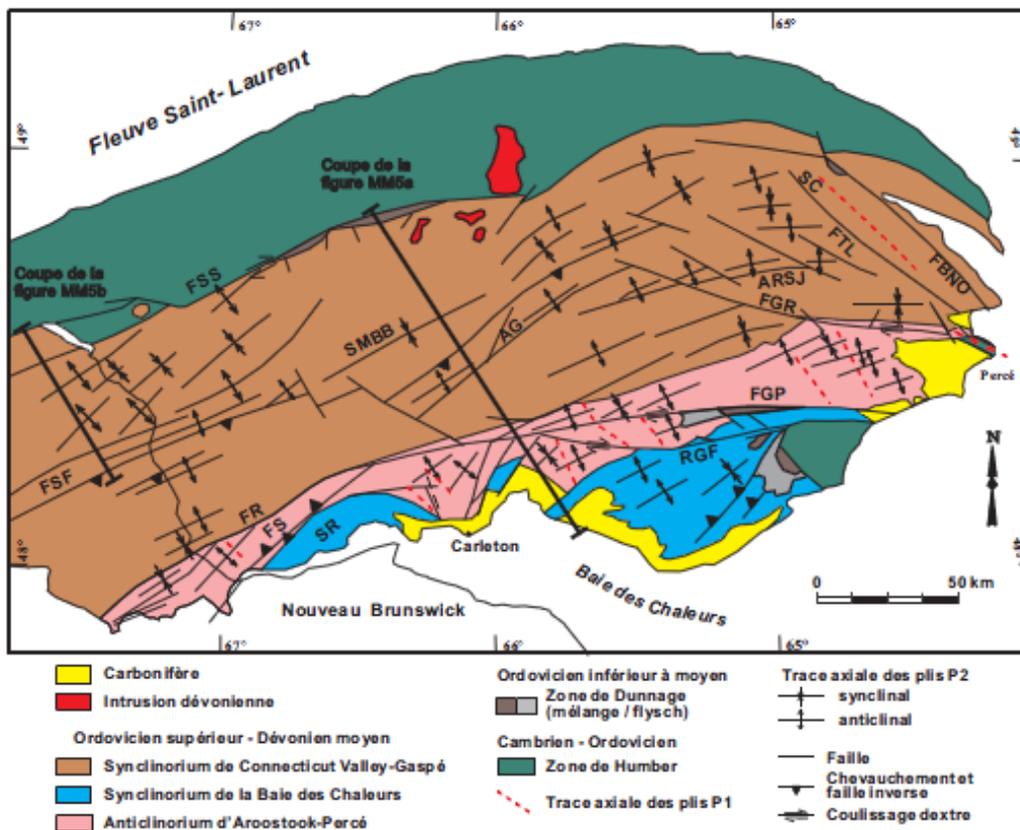
### 1.3. Objectif

L'objectif du travail est de trouver des anomalies de température et de mieux les caractériser afin de quantifier le potentiel géothermique des secteurs de la Matapédia et de Gaspé. Cela s'inscrit dans le projet sur l'évaluation du potentiel géothermique du Québec. Il vise à parfaire nos connaissances dans le domaine afin de cibler des endroits potentiels pour un éventuel projet pilote. Plusieurs étapes ont été réalisées afin d'atteindre cet objectif tel:

- Corriger les températures en fond de puits.
- Trouver des anomalies potentielles et les expliquer.
- Mesurer la conductivité thermique d'échantillons.
- Calculer et interpoler les températures en profondeur.
- Quantifier les ressources potentielles pour la génération d'électricité.

### 1.4. Contexte géologique

La région de la Gaspésie montre plusieurs assemblages temporels de roches sédimentaires, volcaniques et intrusives séparées par des discontinuités. Tout d'abord, l'assemblage datant du Paléozoïque inférieur comprend les roches cambro-ordoviciennes des zones de Humber et de Dunnage mises en place lors de l'orogénie taconienne (Figure 2) (Williams, 1979). Ensuite, un assemblage du Paléozoïque moyen comprenant les roches siluro-dévonniennes de la ceinture de Gaspé déformées par l'orogénie acadienne (Bourque *et al.*, 1995). On y retrouve aussi un assemblage du Paléozoïque supérieur contenant des roches du Carbonifère. L'accent est mis, dans ce présent rapport, sur la ceinture de Gaspé. Pour cette raison, cet assemblage est détaillé à l'Annexe A.



**Figure 2 – Région de la Gaspésie séparée sous forme d'assemblages temporels.**

AC: anticlinal de Castonguay, ARSJ: anticlinal de la Rivière Saint-Jean, FBNO: faille du Bras Nord-Ouest, FGP: faille du Grand Pabos, FGR: faille de Grande-Rivière, FS: faille de Sellarsville, FSS: faille de Shickshock Sud, FTL: faille du Troisième Lac, SC: synclinal de Champoux, SMBB: synclinal des Monts Big Berry, SR: synclinal de Ristigouche.

Source : Malo (2001)

#### 1.4.1. Paléozoïque inférieur

Cet assemblage contient deux zones tectonostratigraphiques soit, celle de Humber (interne et externe) et celle de Dunnage. Elles sont en contact le long de la ligne Baie Verte-Brompton qui s'exprime par la faille du Shickshock-Sud en Gaspésie. Il s'agit principalement de roches sédimentaires du Cambrien à l'Ordovicien supérieur, communément appelées « cambro-ordovicien ». La zone de Humber est constituée d'un assemblage externe parfois faiblement métamorphisé de roches sédimentaires divisées en différentes nappes de charriage, qui se sont mises en place par un système de failles de chevauchement de style structural *piggy-back* (Malo *et al.*, 2008). On y retrouve les nappes de la Rivière Marsoui et de la Rivière Sainte-Anne, et le mélange de Cap-Chat (Figure 2 et Figure 3). La Formation de Cloridorme fait également partie de la zone de Humber externe et représente le domaine parautochtone taconien. La zone interne, composée de roches volcaniques, est métamorphisée du faciès schiste vert à celui de l'amphibolite, du nord vers le sud. On y retrouve principalement la nappe du Mont Logan, au nord de la Gaspésie, et la boutonnière de Maquereau-Mictaw, au sud (Malo *et al.*, 2001).

La zone de Dunnage représente le domaine océanique de l'océan ordovicien Iapetus. En effet, elle contient des roches témoignant de l'obduction d'une croûte océanique (ophiolite de la nappe du Mont Albert) et de la collision d'un arc magmatique lors de l'orogénie taconienne. La nappe du Mont Albert, la boutonnière de Maquereau-Mictaw ainsi que les mélanges du Ruisseau Isabelle, de McCrear, de Nadeau et de Rivière Port-Daniel en font partie (Figure 3).

#### 1.4.2. Paléozoïque moyen

Dans cet assemblage se retrouvent des roches s'étendant de l'Ordovicien supérieur au Dévonien moyen qui ont été déformées lors de l'orogénie acadienne. Elles sont divisées structurellement sous forme de synclinorium et d'anticlinorium situés au sud de la faille du Shickshock Sud (Figure 2) (Brisebois et Morin, 2003). Il est aussi possible de diviser cet assemblage en quatre ensembles temporels, soit celui de l'Ordovicien supérieur au Silurien inférieur composé de roches clastiques et carbonatées à grains fins des groupes d'Honorat et de Matapédia, ainsi que et de la Formation de Cabano. Ensuite, celui d'une plate-forme carbonatée profonde du Groupe de Chaleur datant du Silurien moyen au Dévonien inférieur. L'ensemble du Dévonien précoce comprend des faciès silicoclastiques et carbonatés de bassin et de

plate-forme du Groupe des Calcaires Supérieurs de Gaspé. Finalement, l'ensemble du Dévonien inférieur à moyen a des faciès à grain grossier, silicoclastiques, proximaux à terrestres, du Groupe des Grès de Gaspé. Ces divers ensembles lithostratigraphiques indiquent plusieurs changements de sources ainsi que des variations du niveau marin comme le montre la Figure 4. Une description lithostratigraphique détaillée de cet assemblage est disponible à l'Annexe A.

#### Géologie structurale

Plusieurs phases de déformation ont eu lieu lors de la mise en place de la ceinture de Gaspé (Figure 4). Tout d'abord, le stade distensif de la déformation acadienne (D1) qui est exprimé sous forme de failles normales en bordure du bassin sédimentaire (Malo, 2001). Elles sont le résultat de l'effondrement du bassin au cours de la sédimentation. On y retrouve aussi des plis précoces (P1) d'orientation NO-SE, soit la même direction que les failles normales. Ensuite, une deuxième phase de déformation (D2), cette fois compressive, produit un clivage ardoisier à l'échelle régionale et le second plissement (P2) de direction NE-SO. De plus, des failles sont réactivées et inversées en réponse à la compression. Finalement, la phase terminale de coulissage dextre donne la géométrie actuelle à la Gaspésie (Malo, 2001).

#### 1.4.3. Paléozoïque supérieur

La Formation de Bonaventure ainsi que ces unités associées du Carbonifère forme cet assemblage. Les unités lithologiques proviennent d'un environnement fluvial et sont généralement composées de conglomérat rouge, de grès et de mudstone.

Évaluation du potentiel de génération d'électricité géothermique en Gaspésie

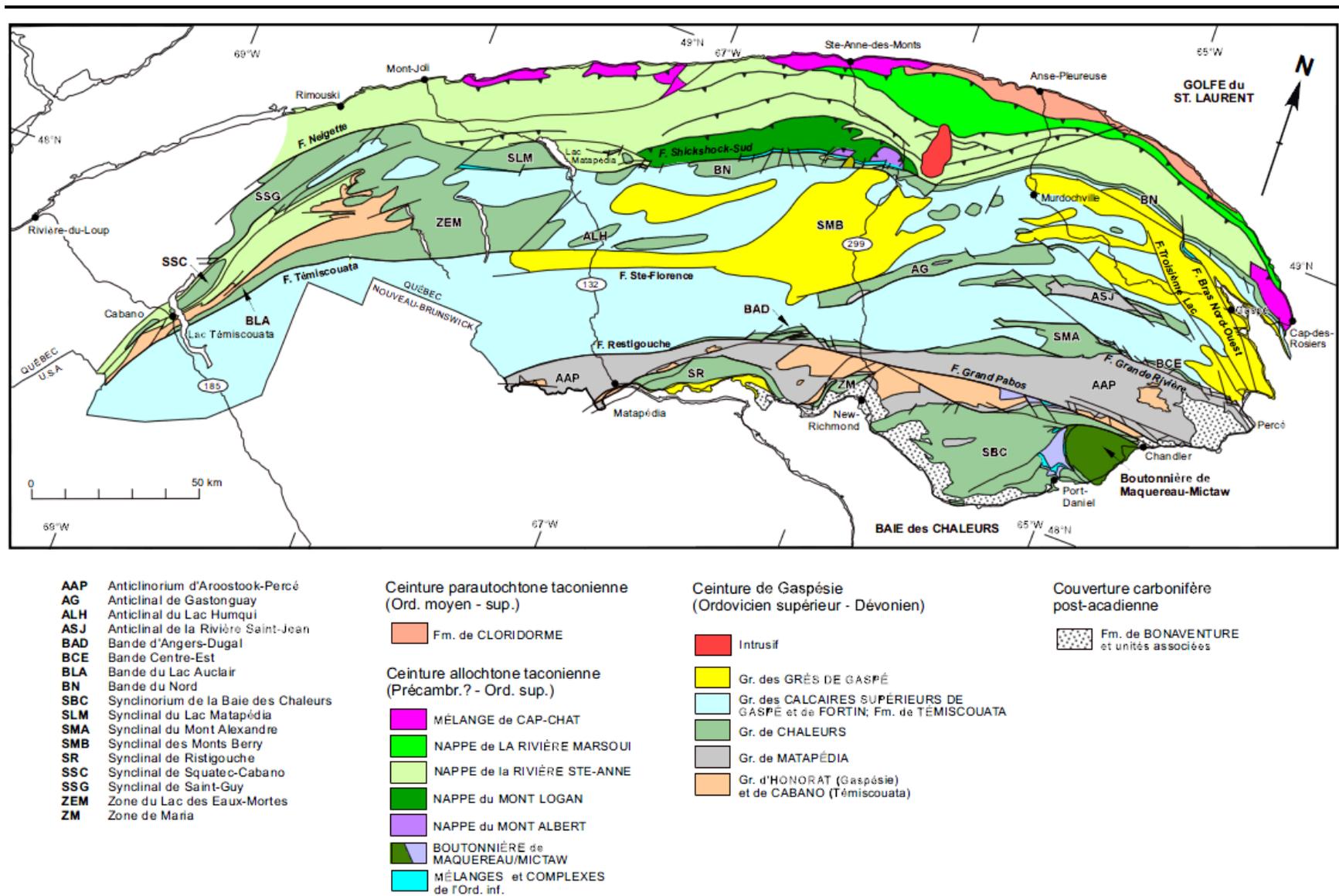


Figure 3 – Carte géologique de la région de la Gaspésie.

Source : Bourquet et al. (2001)

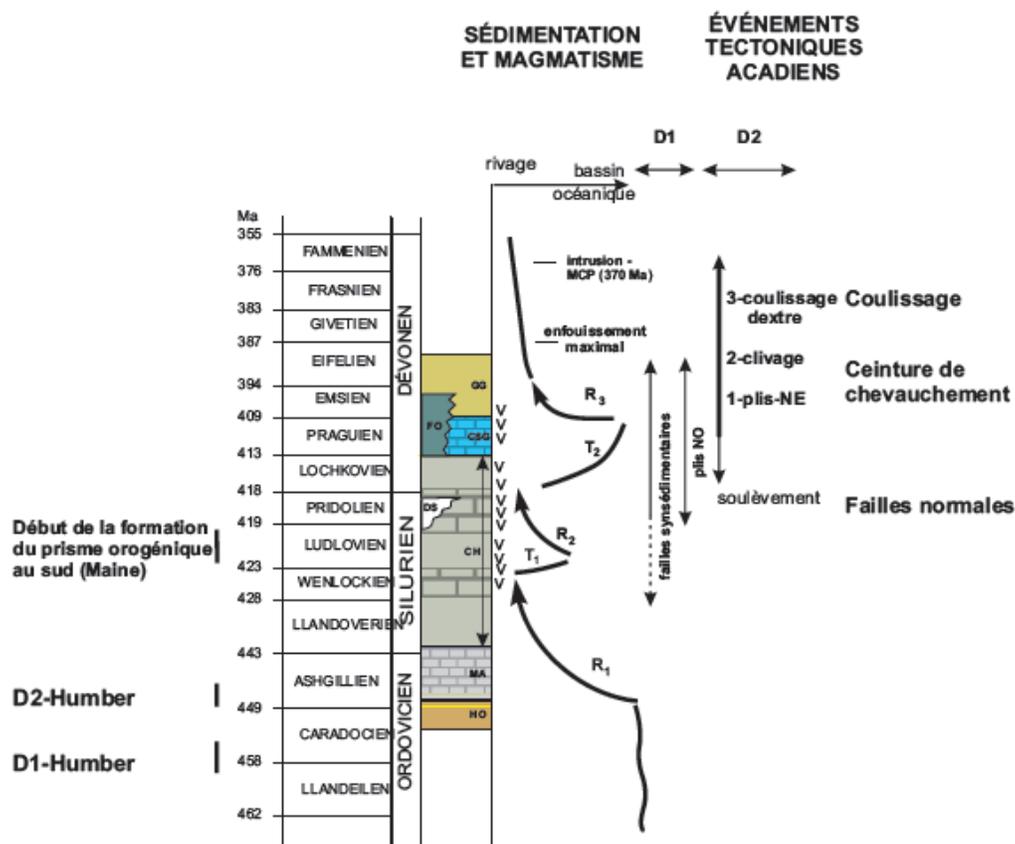


Figure 4 – Région de la Gaspésie séparée sous forme d'assemblages temporels.

Source : Malo (2001)

### 1.5. Choix des coupes transversales

Plusieurs raisons ont mené à choisir les deux coupes transversales de la Figure 5. Ce sont principalement les anomalies de température qui ont été notées par Majorowicz et Minea (2013), dans les régions de Gaspé et de la vallée de la Matapédia, qui ont guidé notre choix (Figure 6). Ensuite, la localisation plus précise des coupes a été décidée en fonction des lignes sismiques existantes dans les deux régions. Il s'agit des profils MRN04, VB-06, VB-04A, VB-04B, VB-04C pour le secteur de la Matapédia et des lignes 80-39 P19-P20 pour la région de Gaspé (Pinet, 2013; Grundman, 2013). Ils sont représentés par des traits rouges à la Figure 7. Les interprétations géologiques des réflecteurs sur les lignes sismiques ont seulement

été réalisées pour les roches siluro-dévonniennes et les roches cambro-ordoviciennes qui sont directement sous la discordance taconienne. Effectivement, la géométrie des roches cambro-ordoviciennes plus profondes, déformées par l'orogénie taconienne, est complexe et il est difficile de tracer des réflecteurs cohérents sous le réflecteur qui représente habituellement la discordance taconienne (Figure 5). Par contre, il a été possible d'identifier des lithologies métamorphisées appartenant à la zone interne de Humber par la présence d'anomalies positives, magnétiques et gravimétriques (Pinet, 2013; Pinet *et al.*, 2008). Par contre, la majorité des roches cambro-ordoviciennes demeurent indifférenciées dans les profils sismiques. La Figure 7 présente la mise en carte détaillée des profils sismiques étudiés ainsi que les puits présents à proximité.

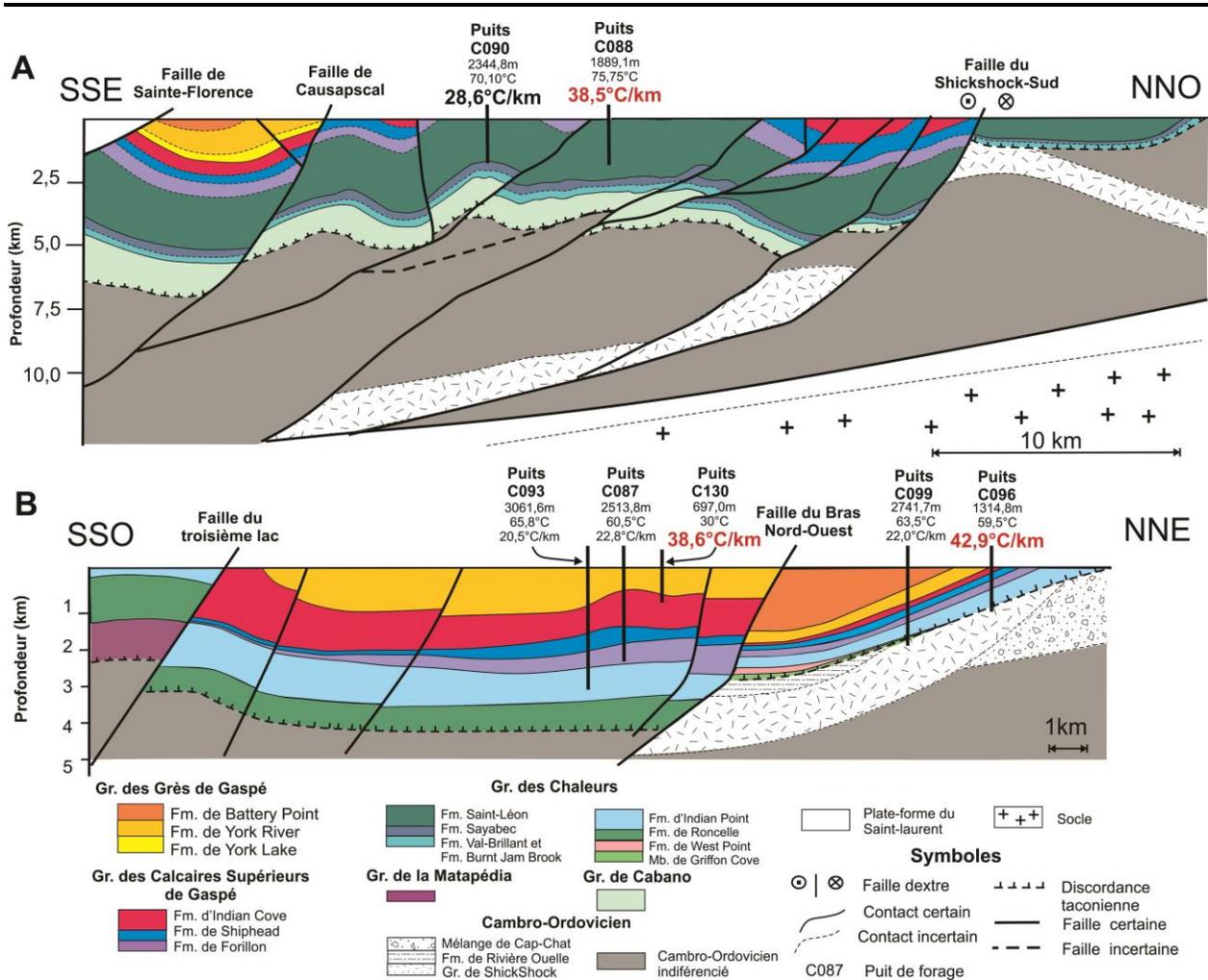


Figure 5 – Coupes transversales utilisées afin d'évaluer le potentiel géothermique de la région de la Gaspésie.

A) Coupe du secteur de Gaspé (Modifiée de Bourque, 2001)

B) Coupe du secteur de la Matapédia (Modifiée de Pinet, 2013)

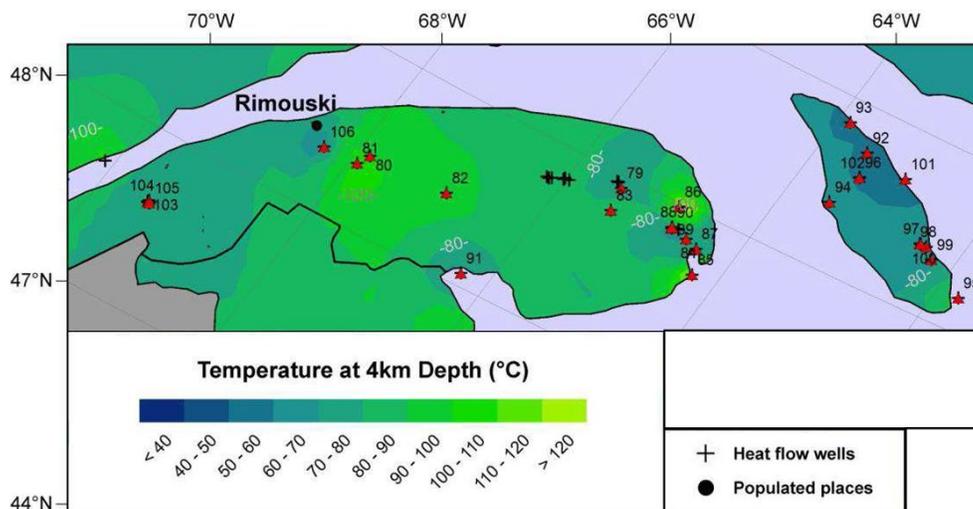


Figure 6 – Température à 4 km de profondeur.

Source : Majorowicz et Minea (2013)

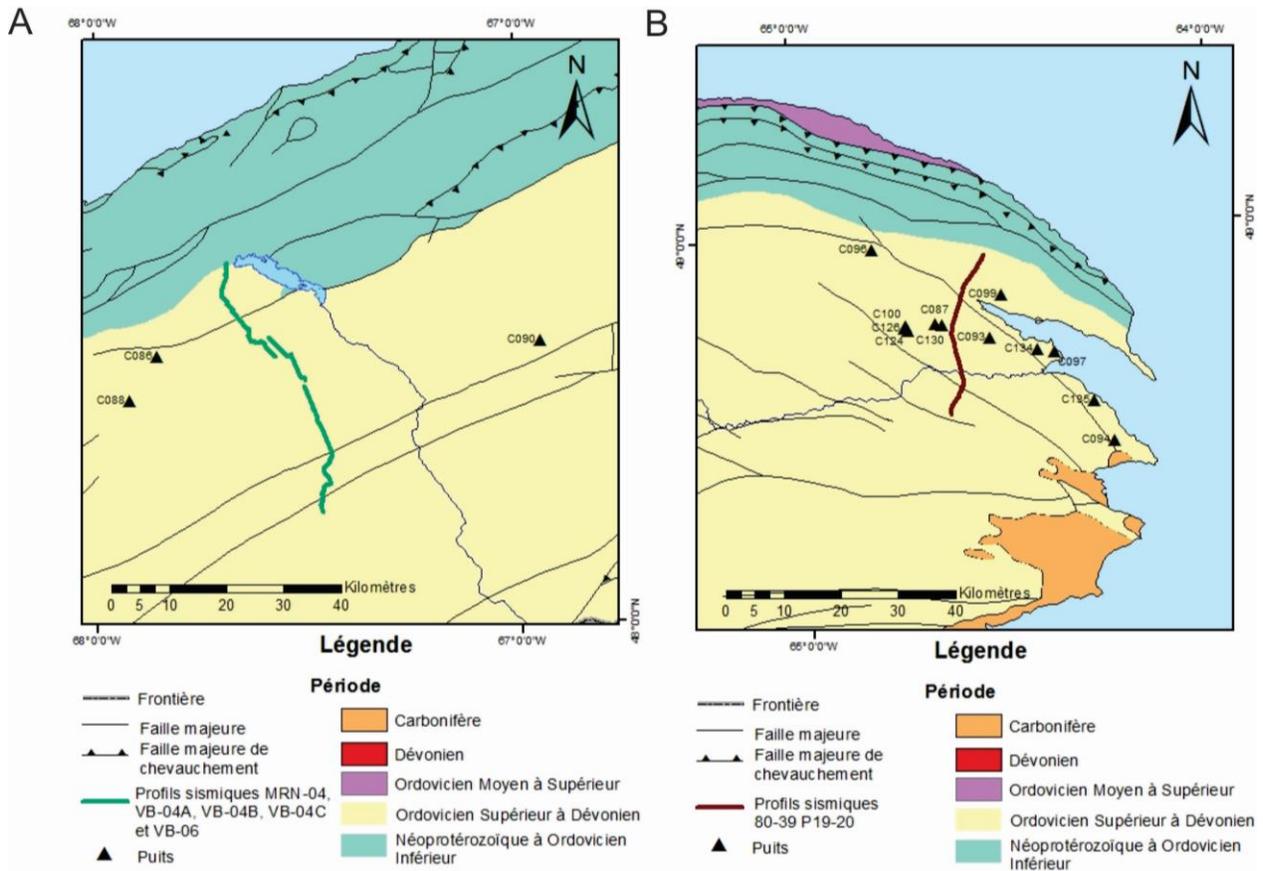


Figure 7 – Mise en carte détaillée des profils sismiques et des puits présents pour chaque secteur.

A) Secteur de la vallée de la Matapédia  
 B) Secteur de Gaspé

## 1.6. Méthodologie

### 1.6.1. Correction des températures en fond de puits selon la méthode de Harrison

Lors de la prise de température au fond d'un puits, la circulation de boue qui a eu lieu durant le forage affecte la valeur mesurée. Effectivement, si la mesure est prise rapidement suite au forage, il y a une réduction de la température en raison de l'effet de refroidissement de la boue de forage (Harrison *et al.*, 1983). Par contre, si l'attente est assez longue, il est possible d'obtenir une lecture de température à l'équilibre avec celle du roc.

La méthode empirique de Harrison a été développée dans l'état de l'Oklahoma sur de nombreux essais afin de trouver une formule permettant de corriger l'effet de la circulation de boue lorsque la prise de mesure de la température se fait rapidement après le forage (Harrison *et al.*, 1983). Cette valeur est ensuite ajoutée à la température mesurée pour corriger la température :

$$\begin{aligned}
 & \text{si } 914 \text{ m} > z \\
 & \Delta T = 0 \\
 & \text{si } 914 \text{ m} \leq z < 3932 \text{ m} \\
 & \Delta T = -16.51 + 0,01827z - 2,345 \times 10^{-6} z^2 \\
 & \text{si } 3932 \text{ m} \leq z \\
 & \Delta T = 19,06 + 1,837 \times 10^{-4} z
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

où  $z$  est la vraie profondeur verticale (TVD) (m)  
 $\Delta T$  est la correction de température à ajouter à celle mesurée (°C)

Les détails de la méthode de calcul employée afin de trouver la vraie valeur verticale sont à l'annexe B.

Dans le cas de l'étude réalisée sur le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent, la méthode de correction de Horner avait été utilisée (Bédard *et al.*, 2014). Malheureusement, cette méthode analytique basée sur l'équation de la source de chaleur linéaire n'a pu être utilisée dans cette étude en raison du manque de prises de mesures de température à travers le temps après les opérations liées au forage. En effet, un minimum de trois mesures est nécessaire pour

obtenir des résultats réalistes (Horner, 1951) et dans la majorité des cas, pour les puits que nous avons étudiés, il n'y avait que seulement deux mesures disponibles.

Une autre correction a été envisagée, celle de la méthode *Southern Methodists University* (SMU), qui permet de corriger l'erreur engendrée par la correction de Harrison (Blackwell et Richards, 2004). Il n'a pas été possible de l'utiliser, car le puits C087 a un gradient moyen à l'équilibre de 16,08 °C/km et qu'il est nécessaire d'avoir minimalement une valeur de 20°C/km.

### 1.6.2. Propriété thermique du roc

#### Détermination de la conductivité thermique (K)

La section précédente montre que la géologie de la Gaspésie est complexe puisque les lithologies d'une formation varient d'un endroit à l'autre. C'est pourquoi différents faciès pour chaque formation ont été échantillonnés à plusieurs localités pour chacun des secteurs afin d'en mesurer la conductivité thermique. De plus, il est important de choisir un échantillon d'une bonne taille afin d'être capable de le percer, soit au minimum 20 cm par 20 cm. Finalement, il doit contenir peu de fractures afin d'assurer la qualité de la mesure de conductivité thermique.

Les essais de laboratoire ont été majoritairement réalisés avec une sonde à aiguille KD2 Pro de Decagon Devices (<http://www.decagon.com>) qui est reliée à un appareil calculant la conductivité thermique en régime transitoire. La sonde RK-1 fut utilisée avec les échantillons de roc sains où un trou a été percé préalablement à l'aide d'une perceuse à percussion afin de pouvoir l'insérer. Cette dernière à une longueur de 6 cm et un diamètre de 3,96 mm (Figure 8). Une série de 6 mesures, soit une chaque heure, a été prise pour déterminer la conductivité thermique moyenne. La première mesure est souvent peu semblable aux suivantes puisque l'échantillon et l'aiguille n'ont pas la même température au départ, c'est pourquoi elle n'est pas prise en compte dans la moyenne des valeurs de la conductivité thermique. Cette moyenne sera par la suite corrigée avec l'erreur de l'étalon pour obtenir une valeur moyenne nette. Les détails de cette correction sont à l'annexe C.



Figure 8 – Sonde à aiguille RK-1 et appareil calculant la conductivité thermique.

Source : <http://www.decagon.com>

Certains échantillons, plus fiables, par exemple, les mudrocks et les basaltes avec un fort clivage, n'ont pas pu garder leur forme originale lors de leur préparation avec la perceuse à percussion. Pour cette raison, une plaque chauffante transitoire (TCi) de la compagnie C-Therm (<http://www.ctherm.com>) a été utilisée pour calculer leur conductivité thermique (Figure 9). Effectivement, il était plus facile de préparer une surface plane pour ce type d'échantillon que de percer un trou dans l'échantillon.

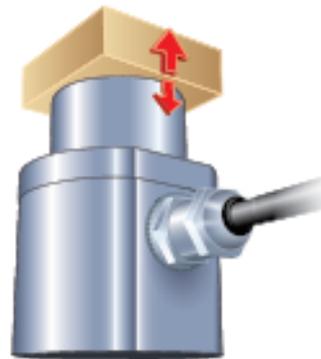


Figure 9 – Plaque chauffante en régime transitoire.

Source : <http://www.ctherm.com>

### Détermination de la capacité thermique ( $\rho Cp$ )

De plus, la capacité thermique volumique est déterminée par une évaluation pétrographique de la composition minéralogique des différentes unités géologiques. Elle est fonction de la densité ( $\rho$ ) ainsi que de la capacité thermique massique ( $Cp$ ) qui ont des valeurs propres pour chaque minéral. La capacité thermique volumique est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un degré d'une masse unitaire de roche (Clauser, 2014). Cette propriété liée à l'emmagasinement de chaleur a été calculée avec la formule suivante (Waples et Waples, 2004a, b) :

$$\rho Cp = \frac{\rho_{sd} C_{psd} (1-\phi) + \rho_w C_{pw} \phi}{\rho_r} \quad (2)$$

où  $\rho Cp$  est la capacité thermique volumique d'une formation géologique ( $J/m^3 \cdot K$ )  
 $\rho_{sd}$  est la masse volumique du squelette solide ( $kg/m^3$ )  
 $\rho_w$  est la masse volumique de l'eau ( $1\ 000\ kg/m^3$ )  
 $\rho_r$  est la masse volumique de la roche ( $kg/m^3$ )  
 $C_{psd}$  est la capacité thermique massique de la phase solide ( $J/kg \cdot K$ )  
 $C_{pw}$  est la capacité thermique massique de l'eau ( $J/kg \cdot K$ )  
 $\phi$  est la porosité de la roche

Ainsi, il est possible de réaliser une évaluation de la composition minéralogique d'un échantillon afin de déterminer la capacité thermique de la phase solide. À partir des constituants minéralogiques de la roche, une moyenne pondérée de la capacité thermique est calculée.

### 1.6.3. Évaluation du flux de chaleur en surface

À l'aide des données de conductivité thermique ainsi que des températures corrigées, il est possible de retrouver le flux de chaleur en surface ( $Q_0$ ) des puits présents sur les profils sismiques (Valiya, 1973) :

$$Q_0 = K \left[ \frac{dT}{dz} \right] + A_s z \quad (3)$$

$$d'où \quad \frac{dT}{dz} = \frac{T_{corr} - T_s}{z} \quad (4)$$

où  $Q_0$  est le flux de chaleur en surface ( $W/m^2$ )  
 $A_s$  est la génération de chaleur causée par la dégradation des éléments radioactifs dans les roches sédimentaires ( $0,7\ \mu W/m^3$ )  
 $z$  est la profondeur de la mesure de température (m)  
 $dT/dz$  est le gradient géothermique

considérant la température corrigée ( $^{\circ}C/m$ )

$K$  est la moyenne pondérée de la conductivité thermique des différentes formations entre la mesure de température en fond de puits et la surface ( $W/m \cdot K$ )

$T_{corr}$  est la température corrigée par la méthode de Harrison ( $^{\circ}C$ )

$T_s$  est la température à la surface ( $3,1^{\circ}C$ )

L'apport de chaleur dans la croûte terrestre ne provient pas seulement du cœur de la Terre, comme le montre le calcul du flux de chaleur en surface. Une partie provient de la désintégration radioactive d'éléments tels le potassium, le thorium et l'uranium (Bucker et Rybach, 1996). Par manque de données représentatives dans les secteurs étudiés, la même valeur que pour l'évaluation des températures en profondeur du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent a été utilisée, soit  $0,7\ \mu W/m^3$ . Des données sont disponibles pour quelques intrusions dans le secteur du Dôme Lemieux, mais elles n'ont pas été utilisées (Jessop *et al.*, 2005). Il s'agit de roches à caractère granitique qui ne sont pas représentatives des lithologies étudiées.

La température de surface a été estimée à l'aide de moyennes compilées entre 1981 et 2010 du gouvernement du Canada. La moyenne annuelle obtenue des secteurs d'Amqui, de Causapscal, de Rimouski et de Mont-Joli et de Gaspé est de  $3,1\ ^{\circ}C$  (Tableau 1).

**Tableau 1 - Températures moyennes annuelles des stations de la Gaspésie entre 1981 et 2010.**

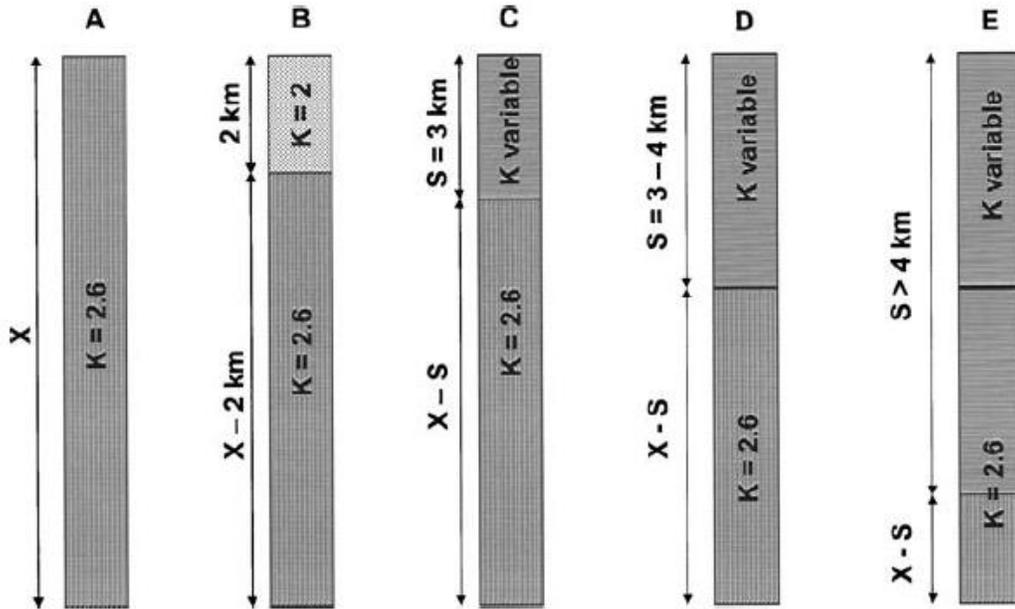
Source : <http://climat.meteo.gc.ca>

| Stations       | Température ( $^{\circ}C$ ) |
|----------------|-----------------------------|
| Amqui          | 2                           |
| Causapscal     | 2,6                         |
| Gaspé          | 3,1                         |
| Mont-Joli      | 3,5                         |
| Rimouski       | 4,4                         |
| <b>Moyenne</b> | <b>3,1</b>                  |

*Évaluation des températures en profondeur des profils sismiques*

Plusieurs modèles permettant de calculer la température en profondeur ont été élaborés par Blackwell *et al.* (2006). En effet, il est possible de

faire varier plusieurs paramètres, telles la conductivité thermique et la génération de chaleur par la désintégration radioactive. La Figure 10 montre les différents cas possibles.



**Figure 10 – Différents modèles faisant varier la conductivité thermique ainsi que la génération de chaleur par désintégration radioactive.**

- A) Cas où la lithologie sur 10 km est le socle avec une conductivité thermique constante.
  - B) Cas où des roches volcaniques sont déposées sur un socle avec des conductivités thermiques constantes.
  - C) Cas où des sédiments de conductivité thermique variable sur une épaisseur de 3 km sont déposés sur un socle avec une conductivité thermique constante.
  - D) Cas où des sédiments de conductivité thermique variables sur une épaisseur de 3 à 4 km sont déposés sur un socle avec une conductivité thermique constante.
  - E) Cas où des sédiments de conductivité thermique variable sur une épaisseur supérieure à 4 km sont déposés sur un socle ou sur des sédiments avec une conductivité thermique constante.
- Source : Blackwell et al. (2006)

Puisque la conductivité thermique de plusieurs roches a été mesurée, les deux premiers choix sont retirés appliquant une conductivité thermique constante sur l'entièreté du profil. Ensuite, les cas C et D assument que le socle est atteint entre 3 et 4 km, ce qui n'est pas le cas pour la province des Appalaches. Par contre, il s'agit de la méthode appropriée et utilisée afin de calculer les températures en profondeur pour le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent. Finalement, le dernier cas est le plus approprié pour le bassin siluro-dévonien de la Gaspésie, puisqu'il est connu que les roches sédimentaires sont plus épaisses que 4 km. Ainsi, selon Blackwell *et al.*, (2006), les formules suivantes sont à utiliser pour calculer la température en profondeur :

$$\text{Si } z < S \quad T = T_{z-1} + \frac{Q_0 z}{K_e} - A_S \frac{z^2}{K_e} \quad (5)$$

$$\text{Si } z_{ind} < z < S \quad T = T_{z-1} + \frac{Q_m}{K_s} - A_b b^2 \frac{1-e^{-\frac{x}{b}}}{K_s}$$

et  $A_b = \frac{(Q_0 - Q_m)}{b} \quad (6)$

- où T est la température à une certaine profondeur (°C)
- $T_{z-1}$  est la température calculée à une plus grande profondeur (°C)
- S est la profondeur du socle (m)
- $K_e$  est la conductivité thermique d'une formation géologique (W/m·K)
- $K_s$  est la conductivité thermique du socle (2,75 W/m·K)

$Q_m$  est le flux de chaleur du manteau ( $0,03 \text{ W/m}^2$ )

$A_b$  est la génération de chaleur causée par la dégradation des éléments radioactifs dans le socle ( $1,4 \mu\text{W/m}^3$ )

$b$  est l'épaisseur du socle, soit 13-S (m)

Le modèle indique que la génération de chaleur par la désintégration des éléments radioactifs décroît de manière constante pour les roches sédimentaires ( $0,7 \mu\text{W/m}^3$ ) et qu'elle décroît exponentiellement lorsque le socle est atteint. La formule 6, utilisée par Blackwell et al. (2006) qui permet l'évaluation de la chaleur causée par désintégration des éléments radioactifs dans le socle n'a pas été utilisée. Des valeurs trop élevées ont été obtenues en raison de la faible épaisseur de socle considéré. Il a donc été

décidé de poser une valeur constante de  $1,4 \mu\text{W/m}^3$ , soit 2 fois la valeur de  $A_s$ . Cette valeur semble raisonnable selon Grasby et al. (2012). Ces derniers indiquent que la génération de chaleur par désintégration des éléments radioactifs du socle varie de 1 à  $5 \mu\text{W/m}^3$ . La valeur posée pour la conductivité thermique du socle est de  $2,75 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Aucun test de conductivité thermique sur le socle de la Gaspésie n'a été réalisé dans la région puisque ce type de roc n'affleure pas dans les régions étudiées. Par contre, les valeurs possibles pour un socle se situent entre 2,5 et  $3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , c'est pourquoi la moyenne des deux a été choisie (Blackwell *et al.*, 2006).

Certaines simplifications ont été faites en profondeur pour les deux puits de la coupe de la vallée de la Matapédia en raison du manque de mesure de conductivité thermique (Figure 11).

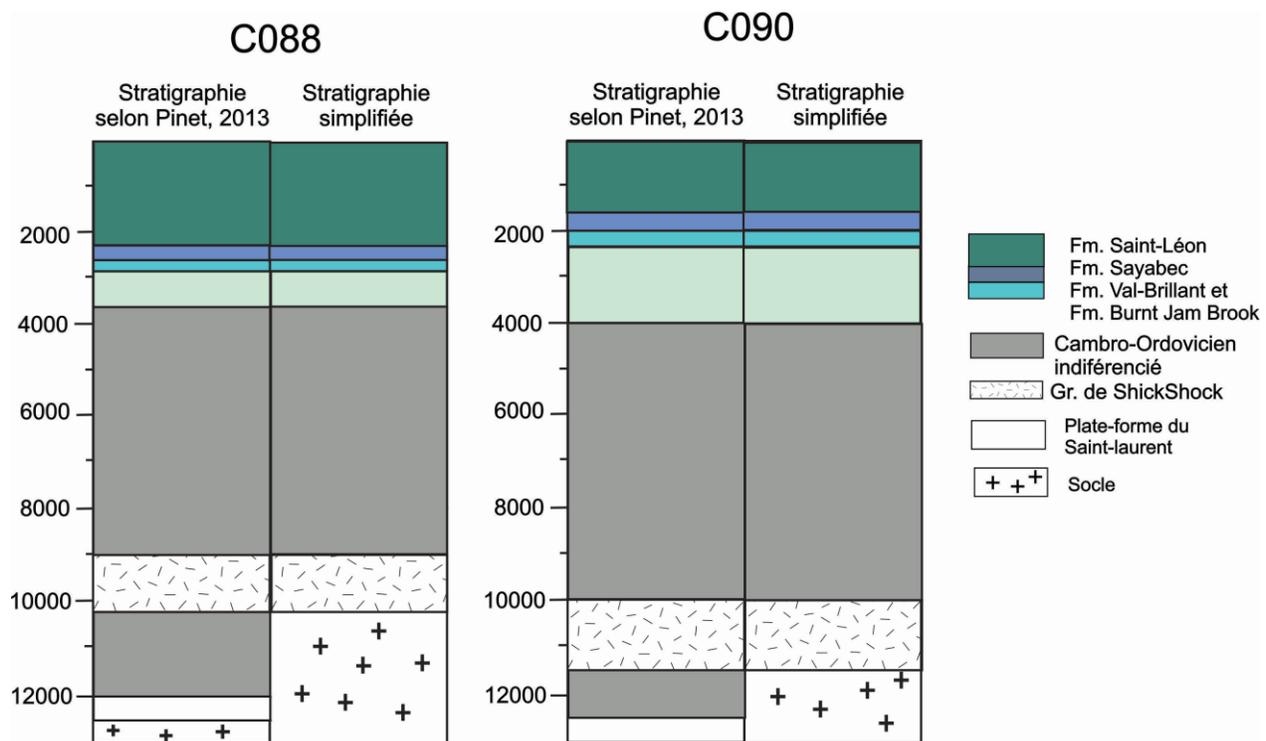


Figure 11 – Simplifications stratigraphiques des puits C088 et C090.

#### 1.6.4. Calcul de ressources

La formule suivante a été employée afin de calculer l'énergie géothermique totale, soit la ressource, emmagasinée dans le sous-sol :

$$q_{\text{tot}} = \rho C_p A (T_F - T_s) \quad (7)$$

où  $q_{\text{tot}}$  est la quantité de chaleur par largeur unitaire (MJ/m)

$\rho C_p$  est la capacité thermique ( $\text{J/m}^3\cdot\text{K}$ )

$A$  est l'aire du réservoir considéré ( $\text{m}^2$ )

$T_F$  est Température de la formation

$T_s$  est la température de surface ( $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Le calcul de la quantité de chaleur totale a été effectué à partir d'une aire et non d'un volume puisqu'il s'agit d'une coupe 2D. Ainsi, cette valeur doit être multipliée par une largeur arbitraire pour connaître la quantité de chaleur totale ( $Q_{\text{tot}}$ ).

Par la suite, il n'est pas possible, techniquement, d'extraire la totalité de la ressource et donc, la formule suivante permet de trouver la portion qu'il est possible d'extraire selon un facteur de récupération:

$$Q_{\text{rec}} = Q_{\text{tot}} \frac{10^{\circ\text{C}}}{(T_{\text{F}} - T_{\text{s}})} \text{Fr} \quad (8)$$

où  $Q_{\text{rec}}$  est la quantité d'énergie extractible du réservoir (MJ)  
 $Q_{\text{tot}}$  est la quantité de chaleur (MJ)  
 Fr est le facteur de récupération (2 à 20 %)  
 (MIT, 2006).

Finalement, cette énergie peut être convertie en électricité :

$$P_e = \frac{Q_{\text{rec}} \times \eta_{\text{th}}}{t} \quad (9)$$

$$\text{où } \eta_{\text{th}} = 0,000935 \times T_{\text{prod}} - 0,023266 \quad (10)$$

où  $P_e$  est la quantité d'électricité produite ( $\text{MW}_e$ )  
 $\eta_{\text{th}}$  est un facteur de conversion de l'énergie thermique en électricité (%)  
 t est le temps d'exploitation (30 années)  
 $T_{\text{prod}}$  est la température de production ( $^{\circ}\text{C}$ )

Le facteur de conversion  $\eta_{\text{th}}$  est fonction de la température du fluide produit et de la température ambiante. Il peut être calculé empiriquement selon la formule précédente (Tester, 2006). Des hypothèses simplificatrices ont été posées afin de réaliser le calcul de ressource. En effet, les variations de température du fluide géothermique lors de sa remontée ainsi que dans le réservoir au cours du temps ne sont pas prises en considération.

## 2. Résultats

### 2.1. Analyse de profils à l'équilibre

Un profil de mesures de densité, de porosité, de conductivité thermique ainsi que de températures mesurées à l'équilibre a été réalisé pour le puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087). Ces données proviennent de la base de données *The Canadian Geothermal Data Compilation* (Jessop *et al.*, 2005). La mise en graphique permet d'en retirer plusieurs informations (Figure 12).

Les premières mesures, soit de 250 à 675 m, montrent une variation de la porosité, de la densité et de la conductivité thermique. En ce sens, ces alternances peuvent être perçues comme un changement entre les lithologies plus gréseuses et plus argileuses de la Formation de York River. Ainsi, le grès qui a une minéralogie plus quartzitique possède une plus grande conductivité thermique. Dans le cas du mudrock, sa composition est plus argileuse ce qui lui confère une conductivité plus faible. Il est aussi possible que ces variations soient en lien avec la consolidation de la roche plus friable en surface qu'en profondeur. En raison d'une possible anisotropie du shale, Drury *et al.*, (1987) n'ont pas tenu compte de cette formation dans le calcul du flux de chaleur en surface. Une moyenne de 2,769 W/m·K est obtenue, mais ne représente pas la majorité des valeurs qui sont plus étendues avec une valeur minimale de 2,18 W/m·K et maximale de 4,06 W/m·K.

Par la suite, la Formation d'Indian Cove composée de calcaires siliceux est relativement homogène comme

le démontrent les données de densité, de porosité et de conductivité thermique. La porosité est presque nulle et la conductivité thermique est supérieure à la moyenne du profil (3,06 W/m·K) avec une valeur de 3,38 W/m·K (Tableau 2).

La Formation de Shiphead montre une plus faible conductivité thermique avec une valeur moyenne de 2,81 W/m·K. En effet, cette formation comprend une fraction argileuse dans les calcaires, ce qui a pour effet de diminuer la conductivité thermique.

Semblable à la Formation d'Indian Cove, la Formation de Forillon a une porosité moyenne quasi nulle (0,5%) et une conductivité supérieure à la moyenne du profil (3,13 W/m·K). En effet, elles ont une composition lithologique semblable, soit majoritairement de calcaire, qui a une conductivité moyenne à élevée selon Grasby *et al.* (2012).

Finalement, la Formation d'Indian Point comprend peu de données par rapport à son épaisseur stratigraphique. Tout de même, les données de conductivité thermique ont été saisies sur près de 500 m. Elles sont variables par endroit, ce qui montre une hétérogénéité dans les lithologies. En effet, cette formation est composée majoritairement de mudstones et de siltstones qui sont parfois en alternance avec des grès fins. La présence de grès fins avec une plus grande fraction de quartz fait varier positivement la valeur de la conductivité thermique dans le profil. Par contre, la conductivité thermique moyenne demeure faible (2,77 W/m·K) en raison de la grande quantité de minéraux peu conducteurs argileux et silteux sous forme de mudstone et de siltstone.

**Tableau 2 - Moyennes des paramètres du profil du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087) pour chaque formation et section.**

| Formations            |                | Conductivité thermique moyenne (W/m·K) | Densité moyenne (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosité moyenne (fraction) |
|-----------------------|----------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| Section supérieure    | York River     | 2,856                                  | 2,632                                | 0,0178                      |
|                       | Indian Cove    | 3,384                                  | 2,647                                | 0,0042                      |
|                       | <b>Moyenne</b> | 3,202                                  | 2,643                                | 0,0084                      |
| Section inférieure    | Shiphead       | 2,813                                  | 2,633                                | 0,0134                      |
|                       | Forillon       | 3,127                                  | 2,670                                | 0,0054                      |
|                       | Indian Point   | 2,769                                  | 2,678                                | 0,0066                      |
|                       | <b>Moyenne</b> | 2,919                                  | 2,661                                | 0,0084                      |
| <b>Moyenne totale</b> |                | 3,110                                  | 2,507                                | 0,0066                      |

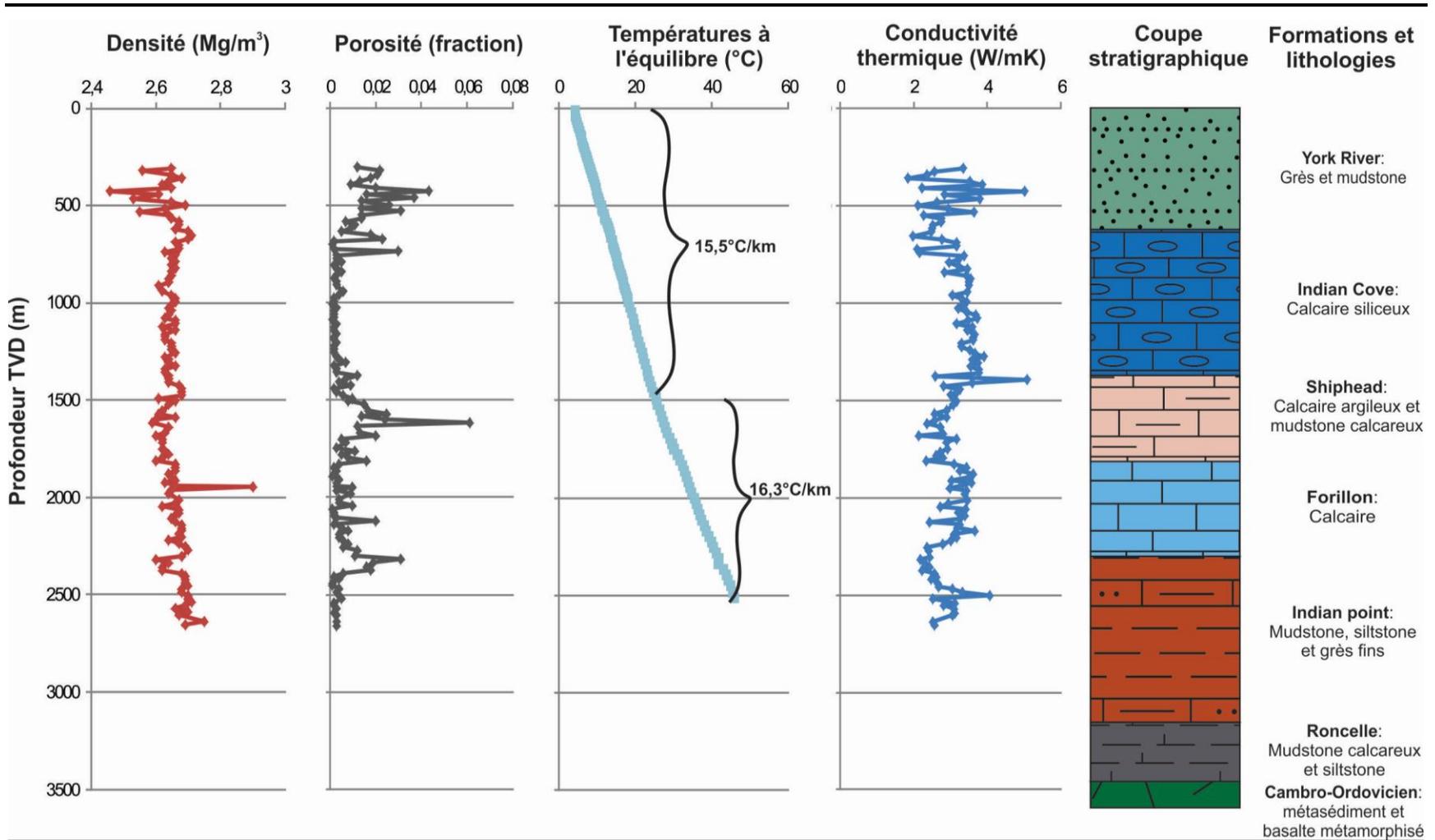
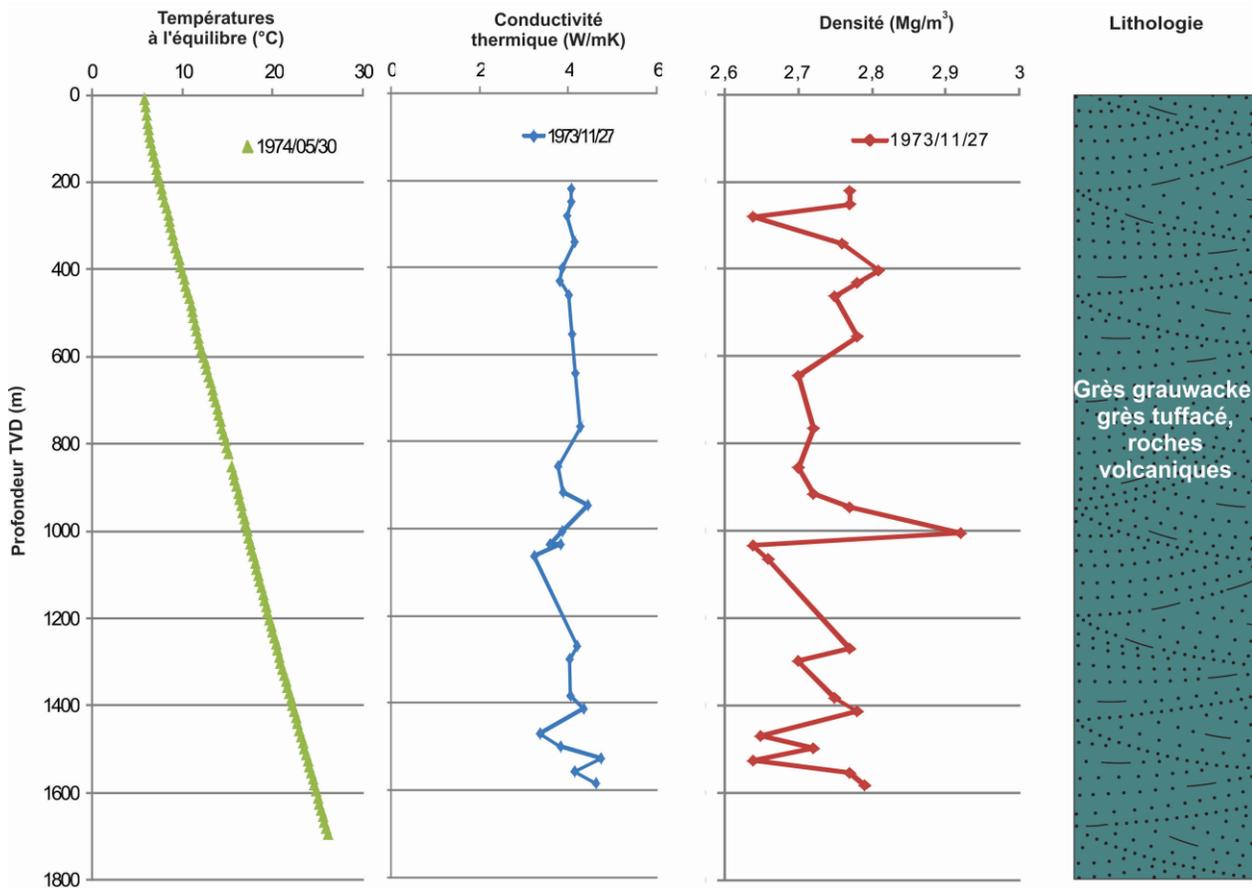


Figure 12 – Profils de la densité, porosité, température à l'équilibre, conductivité thermique, formations et lithologies traversées en fonction de la vraie valeur verticale du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087).

### 2.1.1. Profil de Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001)

Ce puits se situe à l'ouest de la Gaspésie, dans la région du Bas-du-Fleuve (coordonnées 47°36'30'' de latitude nord et 69°27'30'' de longitude ouest). Il a été possible d'obtenir, dans la même base de données que le puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087), des mesures de température, de conductivité ainsi que de densité. La Figure 13 montre les profils avec le plus de

mesures ainsi que la lithologie traversée. Selon Drury *et al.*, (1987), une moyenne de 12,3 °C/km pour le gradient et 3,99 W/m-K pour la conductivité est obtenue pour l'intervalle de 150 à 1638 m de profondeur mesurée. La variation de la densité peut être expliquée par les calculs réalisés pour obtenir ce paramètre à partir des données diagaphiques afin d'en déduire une valeur. En effet, il ne s'agit pas d'une valeur mesurée, mais plutôt d'une valeur déduite à l'aide d'autres paramètres mesurés.



**Figure 13 – Profils de la température à l'équilibre, conductivité thermique, formations et lithologies traversées en fonction de la vraie valeur verticale du puits Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001).**

La Figure 14 montre toutes les mesures prises dans le puits Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001). Toutes les données ont été prises avec le même type d'appareil et par conséquent, l'erreur est la même pour toutes les mesures. La température semble être à l'équilibre puisque les différents profils sont constants dans le temps. Par contre les valeurs très variables de conductivité thermique sont difficiles à expliquer. En

effet, il s'agit d'une valeur mesurée et non inférée. Il a donc été décidé de considérer seulement les données utilisées par Drury *et al.* (1987), soit celles du log du 27 novembre 1973 qui était le plus constant. Comme mentionné précédemment, les valeurs de densité sont calculées et non mesurées, ce qui peut induire une variabilité dans les résultats comme le montrent les différents profils.

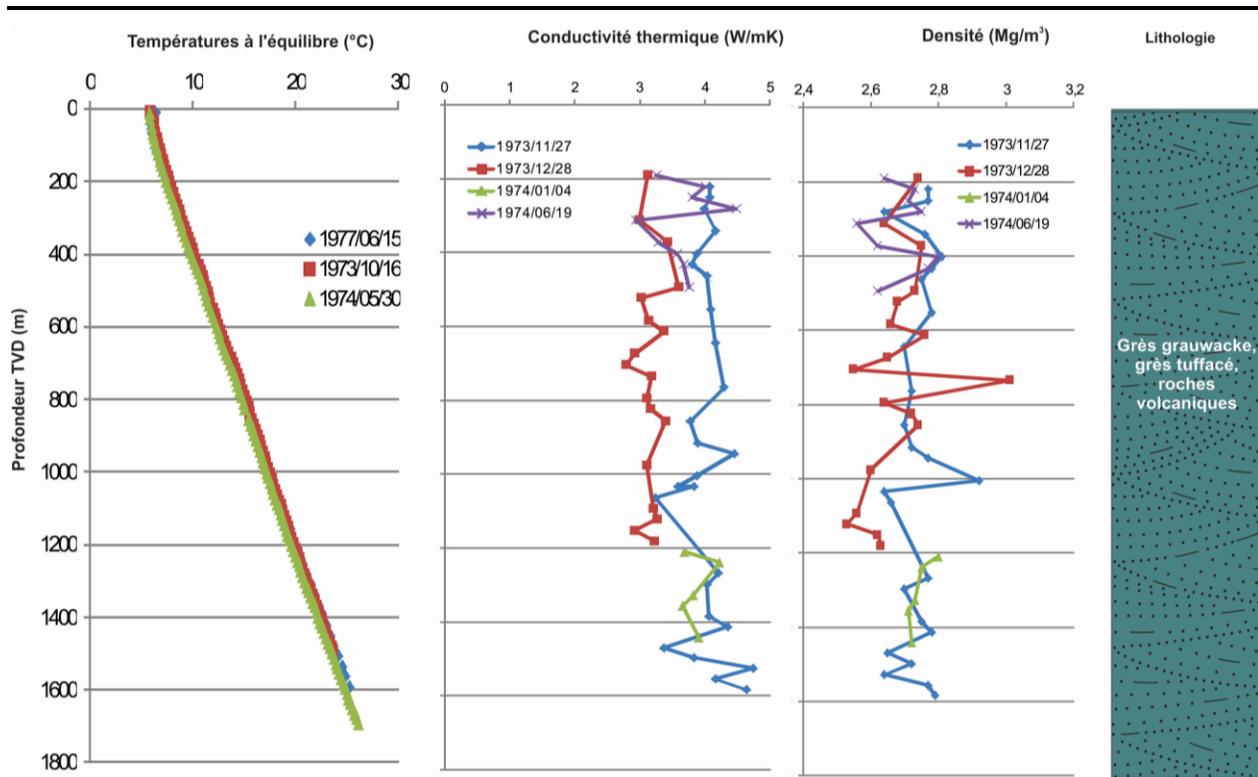


Figure 14 – Sommaires des mesures prises sur le profil du puits Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001) en fonction de la vraie valeur verticale.

## 2.2. Correction des températures

Tout d'abord, la Figure 15 montre les valeurs des températures corrigées ainsi que la vraie valeur verticale pour chaque puits. Le détail des corrections est au Tableau 4. Certaines difficultés de calcul ont été rencontrées pour le puits C094. En effet, un rapport de forage indique deux unités de mesure différentes pour la température mesurée, soit 92 °C et 92 °F. Il a été décidé de considérer une température de 92 °F pour le présent rapport puisqu'il s'agit d'une température plus probable.

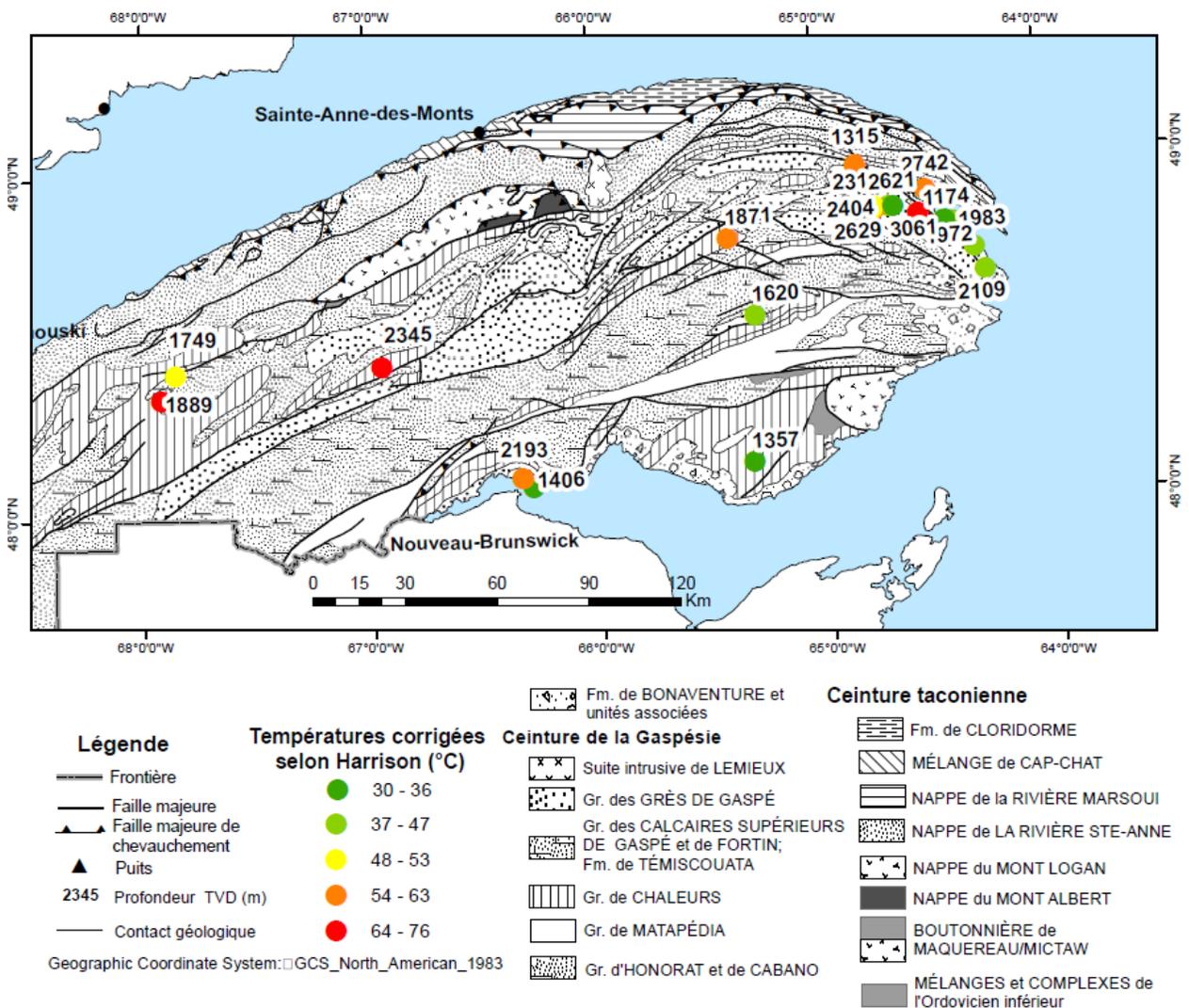
Par la suite, la mise en graphique des températures en fond de puits a été réalisée afin d'observer les variations du gradient thermique (Figure 15). Il est possible d'y retrouver les anomalies des puits C088 et C096 telles que notées par Minea et Majorowicz (2012 ; 2013). De plus, les gradients maximaux et minimaux ont été calculés pour les puits les plus froids et les plus chauds (Figure 16 et Tableau 3). Il y a une grande variabilité dans les résultats. En effet, les puits anomalies donnent un gradient de température corrigé de 38,6°C/km tandis que les puits les plus

froids (C093, C094, C097, C100 et C129) ont une valeur de 19,74 °C/km.

La Figure 16 montre aussi qu'en moyenne les valeurs corrigées et même les valeurs non corrigées sont supérieures à celles du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087). La correction de température permet de diminuer l'écart entre les températures à l'équilibre et celles non corrigées, ce qui n'est pas le cas ici. Il est possible de se questionner si le puits était vraiment à l'équilibre lors de la prise de mesure, sachant qu'un puits peut prendre plusieurs mois pour revenir à l'équilibre (Blackwell *et al.*, 2010). Deux séquences de prises de mesures de température ont été réalisées pour le puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087) soit une le 18 septembre 1971, une le 17 octobre 1973 et la date de forage est le 31 janvier 1970. La première séquence est près d'une année après le forage, ce qui ne peut expliquer le faible gradient géothermique du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087). De plus, les valeurs entre la première et la deuxième séquence de mesures sont très similaires. Il s'agit donc d'un puits ayant un gradient géothermique plus faible que la normale.

**Tableau 3 - Résumé des gradients extrêmes pour les températures corrigées et non corrigées.**

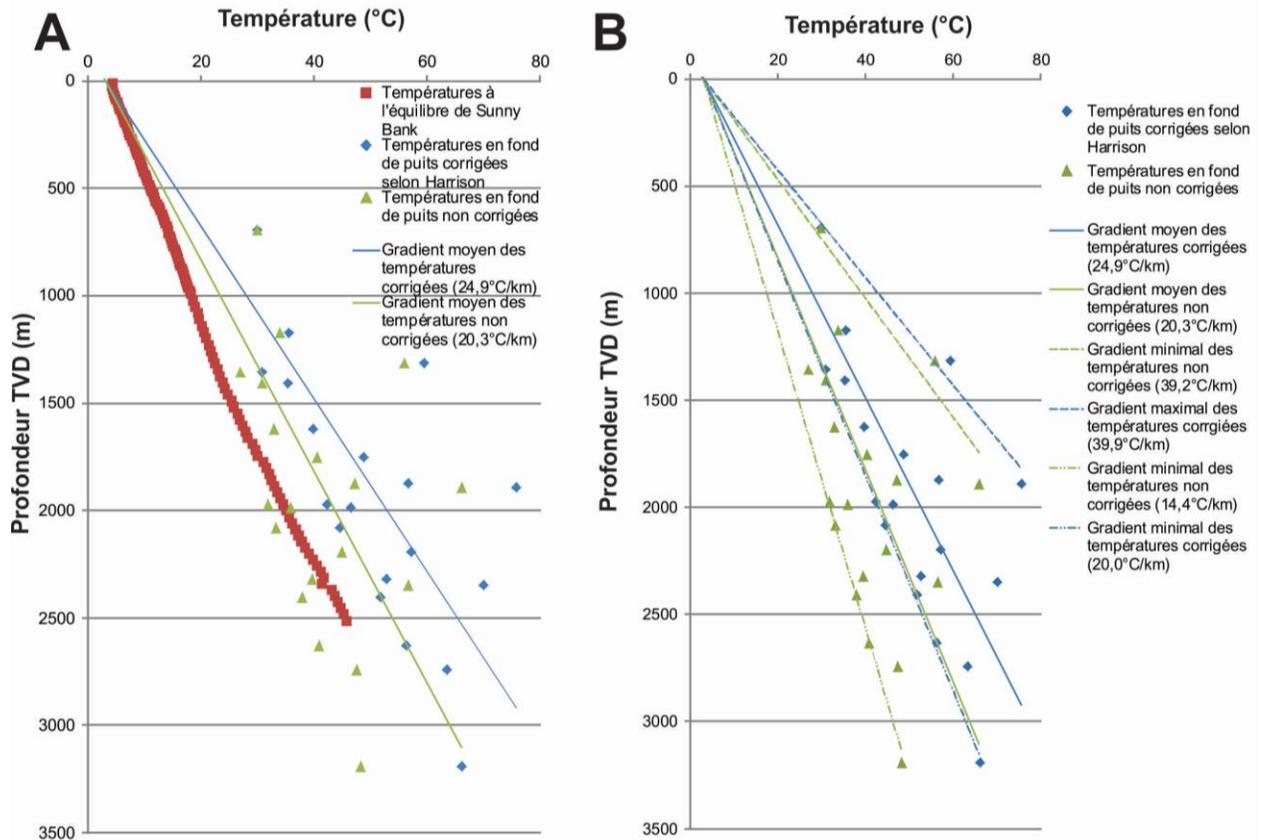
| Type de gradient | Puits                          | Températures non corrigées | Températures corrigées |
|------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Moyen            | Tous                           | 20,30 °C/km                | 24,9 °C/km             |
| Maximum          | C088, C096 et C130             | 30,29 °C/km                | 38,6 °C/km             |
| Minimum          | C093, C094, C097, C100 et C129 | 13,43 °C/km                | 19,74 °C/km            |
| Sunny Bank       | C087                           | 16,08 °C/km                | ----                   |



**Figure 15 – Carte géologique de la Gaspésie ainsi que des températures corrigées selon Harrison et de la profondeur des puits.**

**Tableau 4 - Résumé des résultats de correction de température.**

| No puits    | Nom du puits                                     | Année | MD (m) | TVD(m) | KB (m) | Température mesurée (°C) | Température corrigée selon Harrison (°C) |
|-------------|--|-------|--------|--------|--------|--------------------------|--|
| <b>C086</b> | Sun Exploration et al. No 1, La Rédemption       | 1968  | 1772,1 | 1749,3 | 5,8    | 40,56                    | 48,83                                    |
| <b>C087</b> | <b>Gulf, Sunny Bank No 1 (à l'équilibre)</b>     | 1969  | 2621,3 | 2513,8 | 3,1    | 45,88                    | ---                                      |
| <b>C088</b> | Sun Exploration et al., Mitis No 1               | 1969  | 1927,3 | 1889,1 | 4,6    | 66,11                    | 75,75                                    |
| <b>C090</b> | Great Plains Noël et al., La Vérendrye No 1      | 1972  | 2412,5 | 2344,8 | 6,8    | 56,67                    | 70,10                                    |
| <b>C092</b> | SOQUIP Aigle d'Or et al., Gastonguay No 1        | 1976  | 1892,8 | 1870,8 | 5,5    | 47,22                    | 56,68                                    |
| <b>C093</b> | SOQUIP, Gaspé sud No 1                           | 1978  | 3199,0 | 3061,6 | 4,1    | 48,33                    | 65,78                                    |
| <b>C094</b> | SOQUIP, Malbaie No 1                             | 1979  | 2119,0 | 2109,3 | 5,3    | 33,33                    | 44,67                                    |
| <b>C096</b> | SOQUIP, Blanchet No 1                            | 1979  | 1332,0 | 1314,8 | 5,3    | 56,00                    | 59,46                                    |
| <b>C097</b> | SOQUIP, Douglas No 1                             | 1979  | 1990,0 | 1972,2 | 5,5    | 32,00                    | 42,40                                    |
| <b>C099</b> | SOQUIP Pétrofina, Baie-de-Gaspé-Nord No 1        | 1981  | 2770,5 | 2741,7 | 4,5    | 47,50                    | 63,45                                    |
| <b>C100</b> | SOQUIP Pétro-Canada Impériale, Galt No 1         | 1983  | 2501,0 | 2404,4 | 16,1   | 38,00                    | 51,86                                    |
| <b>C124</b> | Junex Lemaire Hydro-Québec, Galt No 2            | 2002  | 2674,5 | 2629,3 | 4,4    | 41,00                    | 56,32                                    |
| <b>C126</b> | Junex Lemaire Hydro-Québec, Galt No 3            | 2003  | 2345,1 | 2318,1 | 2,4    | 39,60                    | 52,84                                    |
| <b>C127</b> | Hydro-Québec Pétrole et gaz, Miguasha No 1       | 2004  | 1429,3 | 1406,2 | 2,1    | 31,00                    | 35,54                                    |
| <b>C128</b> | Hydro-Québec Pétrole et gaz, Miguasha-Ouest No 1 | 2005  | 2206,5 | 2193,4 | 4,7    | 45,00                    | 57,28                                    |
| <b>C130</b> | Pétrolia, Wakeham No 1                           | 2005  | 701,7  | 697,0  | 5,0    | 30,00                    | 30,00                                    |
| <b>C133</b> | Junex Paspébiac No 1                             | 2007  | 1405,0 | 1357,3 | 4,0    | 27,00                    | 30,97                                    |
| <b>C134</b> | Pétrolia, Haldimand No 2                         | 2009  | 1183,2 | 1173,5 | 5,8    | 34,00                    | 35,70                                    |
| <b>C135</b> | Pétrolia, Tar Point No 1                         | 2009  | 2201,0 | 1983,4 | 3,1    | 36,00                    | 46,50                                    |
| <b>C136</b> | Abba Quebec Resources, Mont-Alexandre No 1       | 2009  | 1625,0 | 1620,4 | 4,6    | 33,00                    | 39,94                                    |



**Figure 16 – Résultat des températures corrigées et non corrigées en fonction de la vraie valeur verticale.**

- a) Graphique des températures corrigées et non corrigées ainsi que du profil de températures à l'équilibre de Gulf, Sunny Bank No 1 (C087).  
 b) Graphique des gradients extrêmes pour les températures corrigées et non corrigées.

### 2.2.1. Gradient thermique corrigé

Suite aux corrections de température, à la détermination de la température de surface (3,1°C) ainsi qu'aux calculs de la *true vertical depth* pour chaque puits (Tableau 4), il a été possible d'obtenir le gradient thermique corrigé (Tableau 5).

**Tableau 5 - Résultats du gradient thermique corrigé.**

| No puits | Nom du puits                                     | Année | Gradient thermique corrigé ou à l'équilibre (°C/100m) |
|----------|--|-------|---|
| C086     | Sun Exploration et al. No 1, La Rédemption       | 1968  | 2,61  |
| C087     | Gulf, Sunny Bank No 1                            | 1969  | 1,83  |
| C088     | Sun Exploration et al., Mitis No 1               | 1969  | 3,85  |
| C090     | Great Plains Noël et al., La Vérendrye No 1      | 1972  | 2,86  |
| C092     | SOQUIP Aigle d'Or et al., Gastonguay No 1        | 1976  | 2,86  |
| C093     | SOQUIP, Gaspé sud No 1                           | 1978  | 2,05  |
| C094     | SOQUIP, Malbaie No 1                             | 1979  | 1,97  |
| C096     | SOQUIP, Blanchet No 1                            | 1979  | 4,29  |
| C097     | SOQUIP, Douglas No 1                             | 1979  | 1,99  |
| C099     | SOQUIP Pétrofina, Baie-de-Gaspé-Nord No 1        | 1981  | 2,20  |
| C100     | SOQUIP Pétro-Canada Impériale, Galt No 1         | 1983  | 2,03  |
| C124     | Junex Lemaire Hydro-Québec, Galt No 2            | 2002  | 2,02  |
| C126     | Junex Lemaire Hydro-Québec, Galt No 3            | 2003  | 2,15  |
| C127     | Hydro-Québec Pétrole et gaz, Miguasha No 1       | 2004  | 2,31  |
| C128     | Hydro-Québec Pétrole et gaz, Miguasha-Ouest No 1 | 2005  | 2,47  |
| C130     | Pétrolia, Wakeham No 1                           | 2005  | 3,86  |
| C133     | Junex Paspébiac No 1                             | 2007  | 2,05  |
| C134     | Pétrolia, Haldimand No 2                         | 2009  | 2,78  |
| C135     | Pétrolia, Tar Point No 1                         | 2009  | 2,19  |
| C136     | Abba Quebec Resources, Mont-Alexandre No 1       | 2009  | 2,27  |

## 2.3. Propriétés thermiques du roc

### 2.3.1. Conductivité thermique (K)

Un total de 69 échantillons a été saisi à 37 affleurements, majoritairement en bordure de route. La conductivité thermique a été mesurée pour 12 échantillons par la méthode de la plaque chauffante transitoire et le reste a été réalisé avec la sonde à aiguille. Une version détaillée des analyses de conductivité thermique pour les deux secteurs est disponible à l'annexe D.

La Figure 17 montre les résultats de conductivité thermique pour le secteur de la vallée de la Matapédia. La Formation de Val-Brillant a la conductivité thermique la plus élevée (7,67 W/m·K) puisque l'échantillon testé est un quartzite, un type de roche connu comme étant minéralogiquement un bon conducteur de chaleur. La Formation de Forillon a la plus faible valeur (2,93 W/m·K) en raison d'une granulométrie très fine associée à un siltstone. La Figure 18 montre la répartition des résultats par intervalles de conductivité thermique. Tout comme pour le secteur de Gaspé, les résultats montrent une

grande quantité de valeurs élevées (> 3 W/m·K) pour des roches sédimentaires. Effectivement, les roches de bassins sédimentaires ont plutôt des valeurs entre 1,50 W/m·K et 3,00 W/m·K pour des sédiments consolidés

selon Blackwell *et al.* (2006). Une moyenne de 3,78 W/m·K et une médiane de 3,69 W/m·K sont obtenues pour ce secteur.

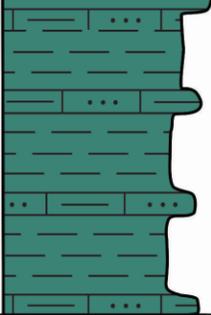
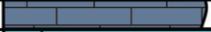
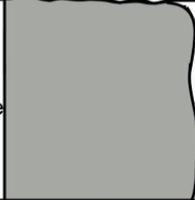
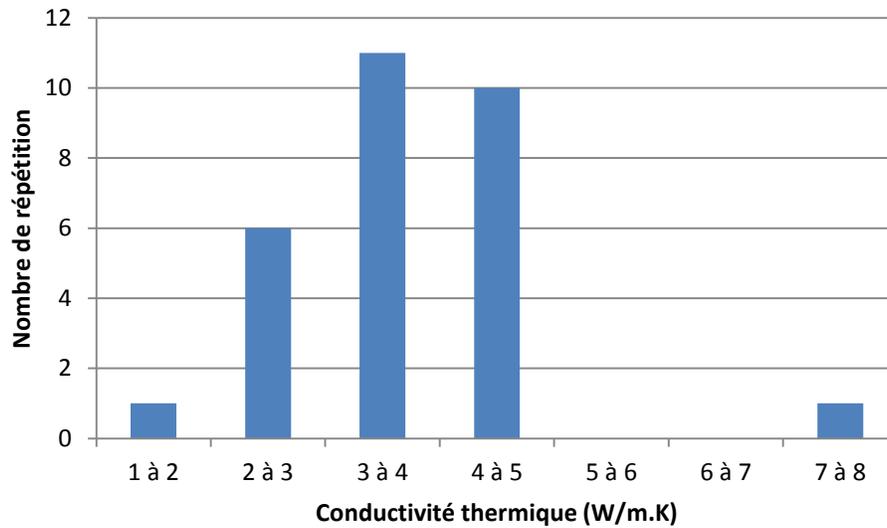
| Formation/<br>Groupe                | Colonne<br>stratigraphique  | Lithologies                                    | Conductivité<br>thermique<br>(W/m.K) | Source   |
|-------------------------------------|---|--|--------------------------------------|--|
| Battery Point                       |    | Grès, mudstone, conglomérat                    | <b>4,118</b>                         | Sonde à aiguille                                   |
| York River                          |    | Grès   | <b>3,923</b>                         | Sonde à aiguille                                   |
| York Lake                           |    | Grès, mudstone, calcaire siliceux              | <b>3,259</b>                         | Sonde à aiguille et plaque chauffante transitoire  |
| Indian Cove                         |    | Calcaire argileux à silteux                    | <b>3,578</b>                         | Sonde à aiguille                                   |
| Shiphead                            |    | Mudstone calcaireux                            | <b>3,416</b>                         | Sonde à aiguille et plaque chauffante transitoire  |
| Forillon                            |    | Calcaire silteux à argileux                    | <b>2,932</b>                         | Plaque chauffante transitoire                      |
| Saint-Léon                          |   | Siltstone, mudstone, grès                      | <b>3,897</b>                         | Sonde à aiguille                                   |
| Sayabec                             |  | Calcaire                                       | <b>4,652</b>                         | Sonde à aiguille                                   |
| Val-Brillant                        |  | Grès riche en quartz                           | <b>7,670</b>                         | Sonde à aiguille                                   |
| Cabano                              |  | Mudstone, grès, conglomérat                    | <b>3,869</b>                         | Sonde à aiguille et plaque chauffante transitoire  |
| Cambro-Ordovicien indifférencié     |  | Roches sédimentaires indifférenciées           | <b>3,450</b>                         | Moyenne de toutes les roches sédimentaires testées |
| Mont Logan/<br>Groupe de Shickshock |  | Roche métasédimentaire et basalte métamorphisé | <b>3,026</b>                         | Sonde à aiguille et plaque chauffante transitoire  |
| Socle                               |  | Roche métamorphisée                            | <b>2,750*</b>                        | Blackwell <i>et al.</i> , 2006                     |

Figure 17 – Résultats des mesures de conductivité thermique de chaque unité géologique pour le secteur de la vallée de la Matapédia.



**Figure 18 – Graphique des valeurs de conductivité thermique mesurées pour le secteur de la vallée de la Matapédia en fonction du nombre de répétitions par intervalle.**

La Figure 19 montre un sommaire des résultats pour le secteur de Gaspé. La Formation de Roncelles montre la plus faible conductivité thermique (2,171 W/m·K) associée à une minéralogie plus argileuse et donc, peu conductrice (annexe A). La Formation de York River à la valeur la plus élevée (3,275 W/m·K) puisque les mesures ont été prises dans un grès grossier constitué à 40% de quartz avec une porosité de 8%.

L'histogramme de la Figure 20 montre une répartition de toutes les mesures pour ce secteur. Il est possible de constater que plus de la moitié des mesures sont supérieures à 3,00 W/m·K, soit une valeur élevée pour des roches sédimentaires (Blackwell *et al.* 2006). Par contre, la forme en cloche ainsi qu'une moyenne et une médiane de valeurs très similaires (3,06 et 3,08 W/m·K) indiquent que les résultats tendent vers une loi de distribution normale.

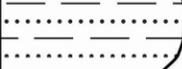
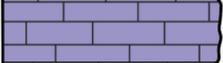
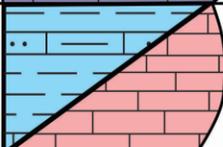
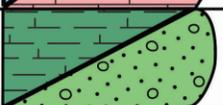
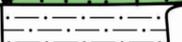
| Formation                         | Coupe stratigraphique   | Lithologie                                       | Conductivité thermique (W/m.K) | Source  |
|-----------------------------------|---|--|--------------------------------|---|
| Battery Point                     |    | Grès   | <b>2,609</b>                   | Sonde à aiguille  |
| York River                        |    | Grès et mudstone                                 | <b>3,275</b>                   | Sonde à aiguille et profil C087   |
| Indian Cove                       |    | Calcaire siliceux                                | <b>3,193</b>                   | Sonde à aiguille  |
| Shiphead                          |    | Calcaire argileux et mudstone calcaireux         | <b>2,805</b>                   | Sonde à aiguille, profil C087 et plaque chauffante transitoire                      |
| Forillon                          |    | Calcaire   | <b>3,258</b>                   | Sonde à aiguille et profil C087   |
| Indian Point / West Point         |    | Mudstone, siltstone grès fins / Calcaire récifal | <b>2,871 / 3,047</b>           | Sonde à aiguille et profil C087 / Sonde à aiguille et plaque chauffante transitoire |
| Roncelle / Griffon Cove River     |    | Mudstone calcaireux, siltstone / Conglomérat     | <b>2,171 / 3,183</b>           | Plaque chauffante transitoire / Sonde à aiguille                                    |
| Rivière Ouelle                    |    | Mudstone et siltstone                            | <b>3,294</b>                   | Sonde à aiguille et plaque chauffante transitoire                                   |
| Cambro-Ordovicien indifférencié   |   | Roches sédimentaires indifférenciées             | <b>3,450</b>                   | Moyenne de toutes les roches sédimentaires testées                                  |
| Mont Logan / Groupe de Shickshock |  | Roche métasédimentaire et basalte métamorphisé   | <b>3,026</b>                   | Sonde à aiguille et plaque chauffante transitoire                                   |
| Socle                             |  | Roche métamorphisée                              | <b>2,750*</b>                  | Blackwell <i>et al.</i> , 2006  |

Figure 19 – Résultats des mesures de conductivité thermique de chaque unité géologique pour le secteur de Gaspé.

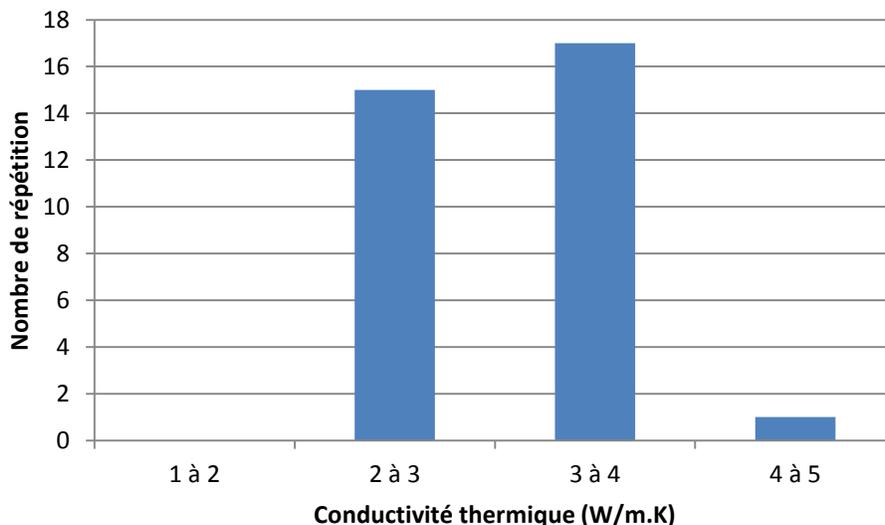


Figure 20 – Graphique des valeurs de conductivité thermique mesurées pour le secteur de Gaspé en fonction du nombre de répétitions par intervalle.

### 2.3.2. Capacité thermique ( $\rho C_p$ )

Les résultats sont présentés dans les Tableau 6 et Tableau 7 pour chaque secteur ainsi que de manières détaillées à l'Annexe G. Il est possible de remarquer

qu'il y a peu de variation entre les résultats malgré une grande variation des compositions minéralogiques. Un tableau des résultats pétrographiques est disponible à l'Annexe F.

Tableau 6 - Résultats de la capacité thermique ( $\rho C_p$ ) dans le secteur de la vallée de la Matapédia.

| Groupes Formations | Capacité thermique calculée ( $\text{MJ/m}^3\cdot\text{K}$ ) |       |       |       |       |       |         | Moyenne roches sédimentaires |
|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|---------|------------------------------|
|                    | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | Moyenne |                              |
| Battery Point      | 1,962  | ----  | ----  | ----  | ----  | ----  | 1,962   | 2,090                        |
| York River         | 2,031  | ----  | ----  | ----  | ----  | ----  | 2,031   |                              |
| York Lake          | 2,126  | 1,969 | ----  | ----  | ----  | ----  | 2,047   |                              |
| Indian Cove        | 2,274  | ----  | ----  | ----  | ----  | ----  | 2,274   |                              |
| Shiphead           | 2,327  | 1,997 | ----  | ----  | ----  | ----  | 2,162   |                              |
| Forillon           | 2,244  | 2,033 | ----  | ----  | ----  | ----  | 2,138   |                              |
| Saint-Léon         | 2,138  | ----  | ----  | ----  | ----  | ----  | 2,137   |                              |
| Sayabec            | 2,207  | ----  | ----  | ----  | ----  | ----  | 2,207   |                              |
| Val-Brillant       | 1,961  | ----  | ----  | ----  | ----  | ----  | 1,961   |                              |
| Cabano             | 2,055  | 1,898 | ----  | ----  | ----  | ----  | 1,976   |                              |
| Shickshock         | 2,008  | 2,150 | 1,985 | 2,091 | 2,017 | 1,977 | 2,038   |                              |

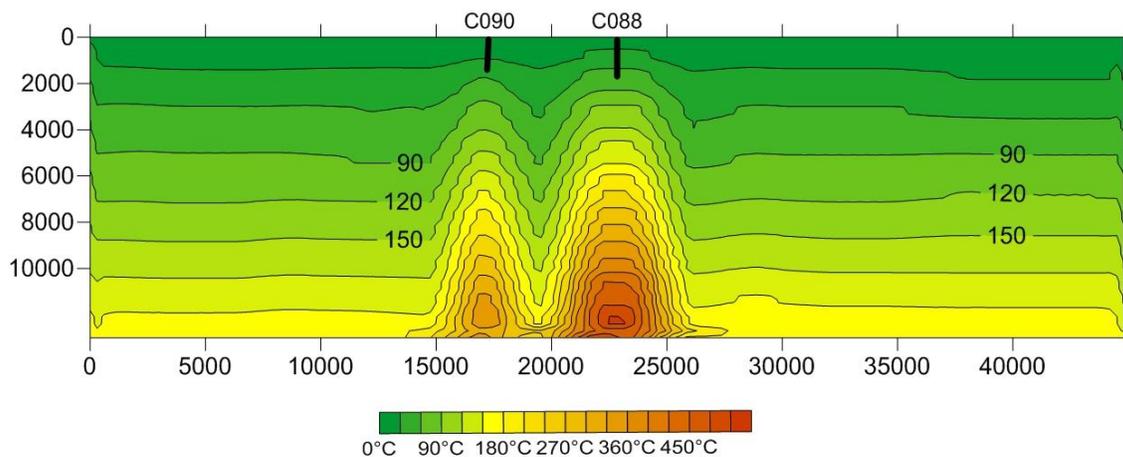
**Tableau 7 - Résultats de la capacité thermique ( $\rho C_p$ ) dans le secteur de Gaspé.**

| Groupes Formations | Capacité thermique calculée ( $\text{MJ/m}^3 \cdot \text{K}$ ) |       |       |         | Moyenne roches sédimentaires |
|--------------------|--|-------|-------|---------|------------------------------|
|                    | 1  | 2     | 3     | Moyenne |                              |
| Battery Point      | 2,065  | ----  | ----  | 2,065   | 2,100                        |
| York River         | 1,923  | ----  | ----  | 1,923   |                              |
| Indian Cove        | 2,218  | 2,234 | 1,990 | 2,147   |                              |
| Shiphead           | 2,158  | ----  | ----  | 2,158   |                              |
| Forillon           | 2,234  | ----  | ----  | 2,234   |                              |
| Indian Point       | 2,234  | ----  | ----  | 2,234   |                              |
| Roncelles          | 2,286  | 1,924 | ----  | 2,105   |                              |
| West Point         | 1,991  | ----  | ----  | 1,991   |                              |
| Pabos              | 2,029  | ----  | ----  | 2,029   |                              |
| Rivière Ouelle     | 2,123  | 2,261 | 1,956 | 2,113   |                              |

#### 2.4. Températures en profondeur

En raison du manque de puits dans la région, il a été nécessaire de poser des valeurs à un intervalle de 200 m permettant de faciliter l'interpolation. Pour ce faire, un flux de chaleur constant de  $0,065 \text{ W/m}^2$  a été posé. Cette hypothèse semble raisonnable puisque Majorowicz et Minea (2012) ont obtenu un flux de chaleur moyen au Canada de  $0,064 \text{ W/m}^2$ . Les Figure

21 et Figure 22 montrent les profils de température réalisés à l'aide du logiciel Surfer ainsi que les puits. Une interpolation de type gaussienne a été utilisée afin de bien concorder avec le comportement de la chaleur en profondeur. Il est possible de constater que les anomalies de température en fond de puits sont faciles à cerner sur le profil. En effet, malgré une stratigraphie différente à chaque 200 m, les mesures de conductivité thermique provoquent de faibles variations de température en profondeur.



**Figure 21 – Profil de température pour la vallée de la Matapédia.**

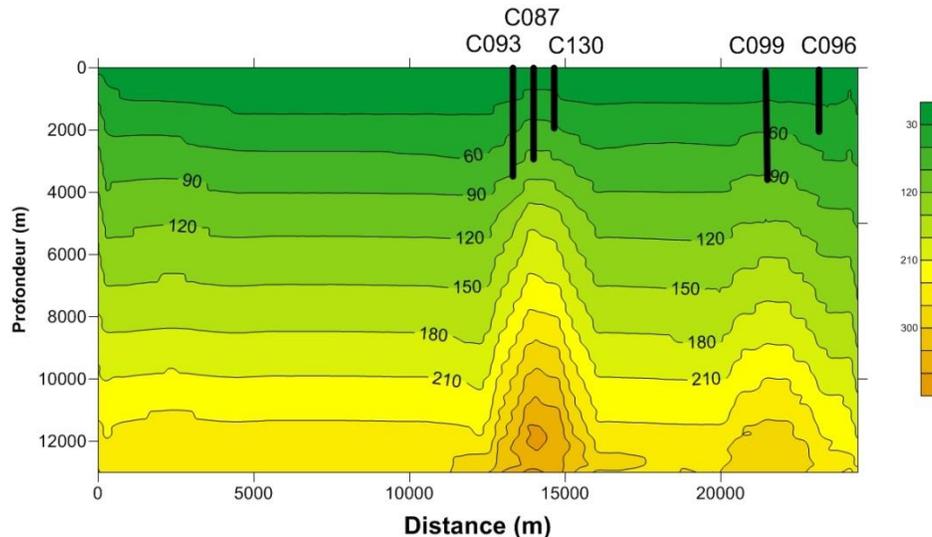


Figure 22 – Profil de température pour la région de Gaspé.

## 2.5. Calcul de ressources

### 2.5.1. Vallée de la Matapédia

La Figure 23 montre les intervalles de température ainsi que la zone anomalique pour lesquels un calcul

de ressource a été effectué dans le secteur de la vallée de la Matapédia. Le rouge est pour un intervalle de 150 – 170 °C, le bleu pâle est pour 170 – 190 °C et le mauve représente la zone anomalique avec un intervalle de 150 – 190 °C.

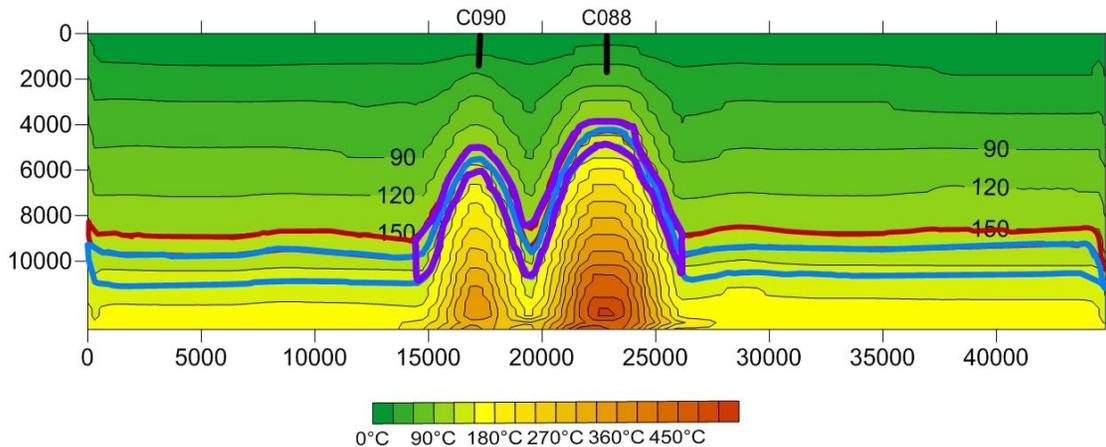


Figure 23 – Délimitation des zones permettant le calcul de ressource pour la vallée de la Matapédia.

Le calcul de ressource a été réalisé à partir des formules décrites précédemment et est synthétisé au Tableau 8. Il est possible de constater que les profondeurs moyennes ainsi que celles du toit des réservoirs potentiels sont variables. La zone anomalique a un toit à environ 4 000 m ainsi qu'une profondeur moyenne de 7 000 m, l'intervalle de 150 – 170 °C suit avec une profondeur moyenne de 9 000 m et finalement l'intervalle 170 – 190 °C est à une profondeur moyenne de 10 000 m. Malgré la plus

faible puissance générée (20,45 à 219,65MW<sub>e</sub>), la zone anomalique représente le meilleur réservoir potentiel pour la génération d'électricité en raison de la faible profondeur de son toit. Les zones de 150 – 170 °C et 170 – 190 °C ont une plus grande puissance (48,15 à 481,51 MW<sub>e</sub> et 43,00 à 493,66 MW<sub>e</sub>) en raison de leur surface plus grande. Par contre, leur profondeur moyenne ne permet pas de les considérer comme des réservoirs potentiels.

### 2.5.2. Secteur de Gaspé

La Figure 24 montre les intervalles de température ainsi que la zone anomalique pour lesquels un calcul de ressource a été effectué dans le secteur de Gaspé. À

nouveau, le rouge est pour un intervalle de 150 – 170 °C, le bleu pâle est pour 170 – 190 °C et le mauve représente l'anomalie avec un intervalle de 150 – 190 °C.

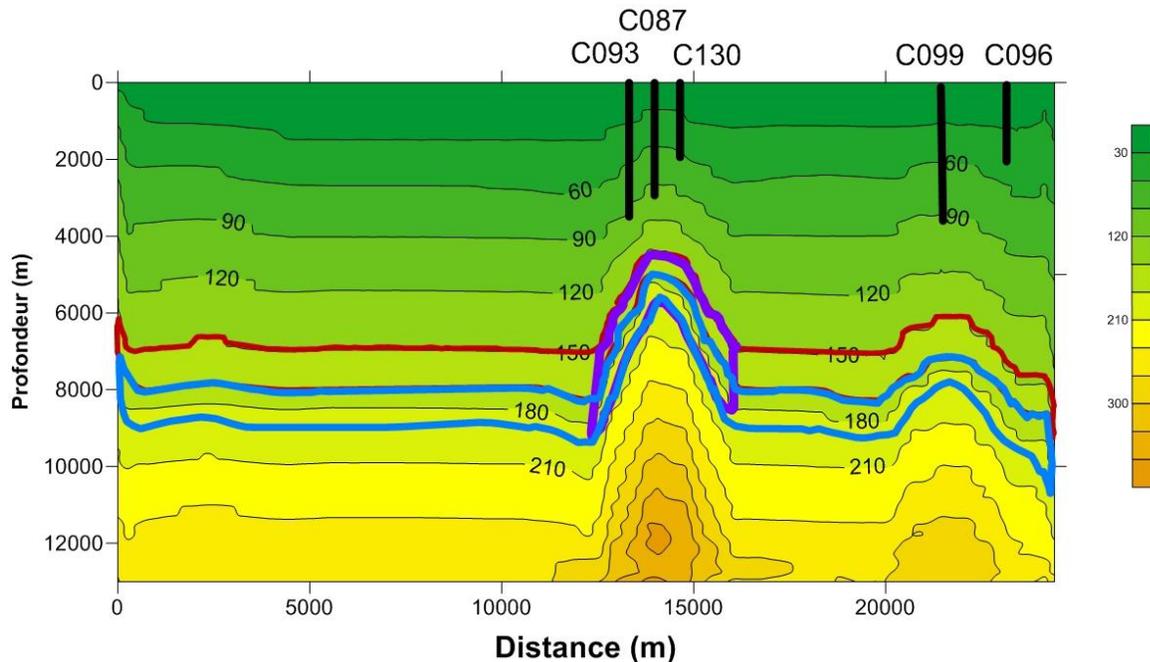


Figure 24 – Délimitation des zones permettant le calcul de ressource pour la région de Gaspé.

Le Tableau 9 montre les résultats du calcul de ressource pour ce secteur. En général, les valeurs de puissance sont plus faibles que celles de la vallée de la Matapédia en raison de la plus petite aire couverte. La zone anomalique a la plus faible puissance (7,97 à 85,59 MW<sub>e</sub>), la plus faible profondeur de son toit (4 000 m) ainsi qu'une profondeur moyenne de 6 500 m. Les zones de 150 – 170 °C et 170 – 190 °C ont des puissances semblables (26,91 à 269,91 MW<sub>e</sub> et 24,74 à 284,02 MW<sub>e</sub>) avec une profondeur moyenne de 7 000 m et 8 500 m respectivement.

observées à ces profondeurs. En effet, les températures observées de 150 °C et 180 °C sur le profil à 4 400 m et 5 500 m s'approchent des valeurs moyennes entre ces paramètres (145 °C et 177 °C).

Le calcul de température en profondeur pour le puits C130 a montré de fortes anomalies de température telles 186 °C à 4 400 m et 230 °C à 5 500 m. Ces températures ne sont pas observées dans la zone anomalique du profil de Gaspé en raison de la proximité avec le puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087). Ce dernier a un plus faible gradient comme le montrent les températures de 103 °C et 124 °C pour les mêmes profondeurs (4 400 m et 5 500 m). Il est possible que l'interpolation en deux dimensions entre ces données ait un impact sur les températures

**Tableau 8 - Calcul de ressource pour le secteur de la vallée de la Matapédia.**

| Zone        | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Profondeur moyenne (m) | Capacité thermique (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | ΔT (°C) | q <sub>tot</sub> (J/m) | Largeur du profil (m) | n <sub>th</sub> (%) | Fr = 2 %              |                                   | Fr = 20 %             |                                   |
|-------------|-------------------------------|------------------------|---|---------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|             |                               |                        |   |         |                        |                       |                     | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) |
| 150°C-170°C | 43 238 788                    | 9 000                  | 2,086                                     | 157     | 1,42E+16               | 20 000                | 12,6                | 3,61E+11              | 48,15                             | 3,61E+12              | 481,51                            |
| 170°C-190°C | 38 738 424                    | 10 000                 | 2,080                                     | 177     | 1,43E+16               |                       | 14,6                | 3,22E+11              | 49,37                             | 3,22E+12              | 493,66                            |
| Anomalie    | 18 394 286                    | 7 000                  | 2,083                                     | 167     | 6,39E+15               |                       | 13,6                | 1,53E+11              | 21,96                             | 1,53E+12              | 219,65                            |

**Tableau 9 - Calcul de ressource pour le secteur de Gaspé.**

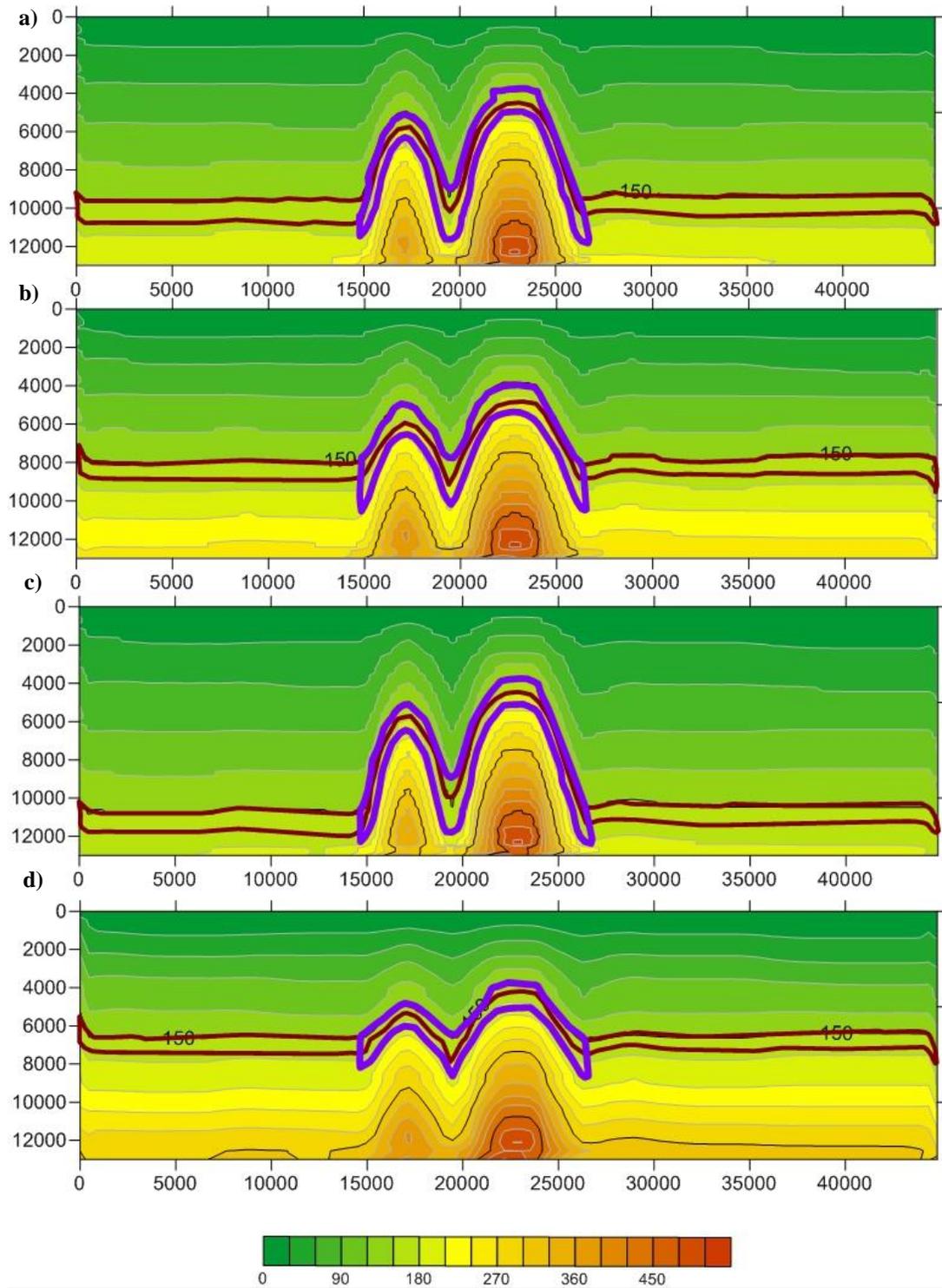
| Zone        | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Profondeur moyenne (m) | Capacité thermique (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | ΔT (°C) | q <sub>tot</sub> (J/m) | Largeur du profil (m) | n <sub>th</sub> (%) | Fr = 2 %              |                                   | Fr = 20%              |                                   |
|-------------|-------------------------------|------------------------|---|---------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|             |                               |                        |   |         |                        |                       |                     | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) |
| 150°C-170°C | 24 318 667                    | 7 000                  | 2,073                                     | 156,9   | 7,91E+15               | 20 000                | 12,6                | 2,02E+11              | 26,91                             | 2,02E+12              | 269,13                            |
| 170°C-190°C | 22 908 889                    | 8 500                  | 2,008                                     | 176,9   | 8,20E+15               |                       | 14,6                | 1,85E+11              | 28,40                             | 1,85E+12              | 284,02                            |
| Anomalie    | 7 215 000                     | 6 500                  | 2,069                                     | 166,9   | 2,49E+15               |                       | 13,6                | 5,97E+10              | 8,56                              | 5,97E+11              | 85,59                             |

## **2.6. Évaluation de la sensibilité des paramètres**

Une évaluation de la sensibilité des paramètres a été réalisée afin de mieux déterminer l'impact des paramètres pris en considération dans le calcul de la température en profondeur et des ressources géothermiques. Les résultats des mesures de conductivité thermique, de température corrigée, de génération de chaleur par dégradation des éléments radioactifs ainsi que du facteur de récupération ont été modifiés afin de connaître leur impact sur le calcul de ressource. Il est à noter que l'impact sur le calcul de ressource a été évalué seulement pour l'intervalle de température de 150 à 170 °C.

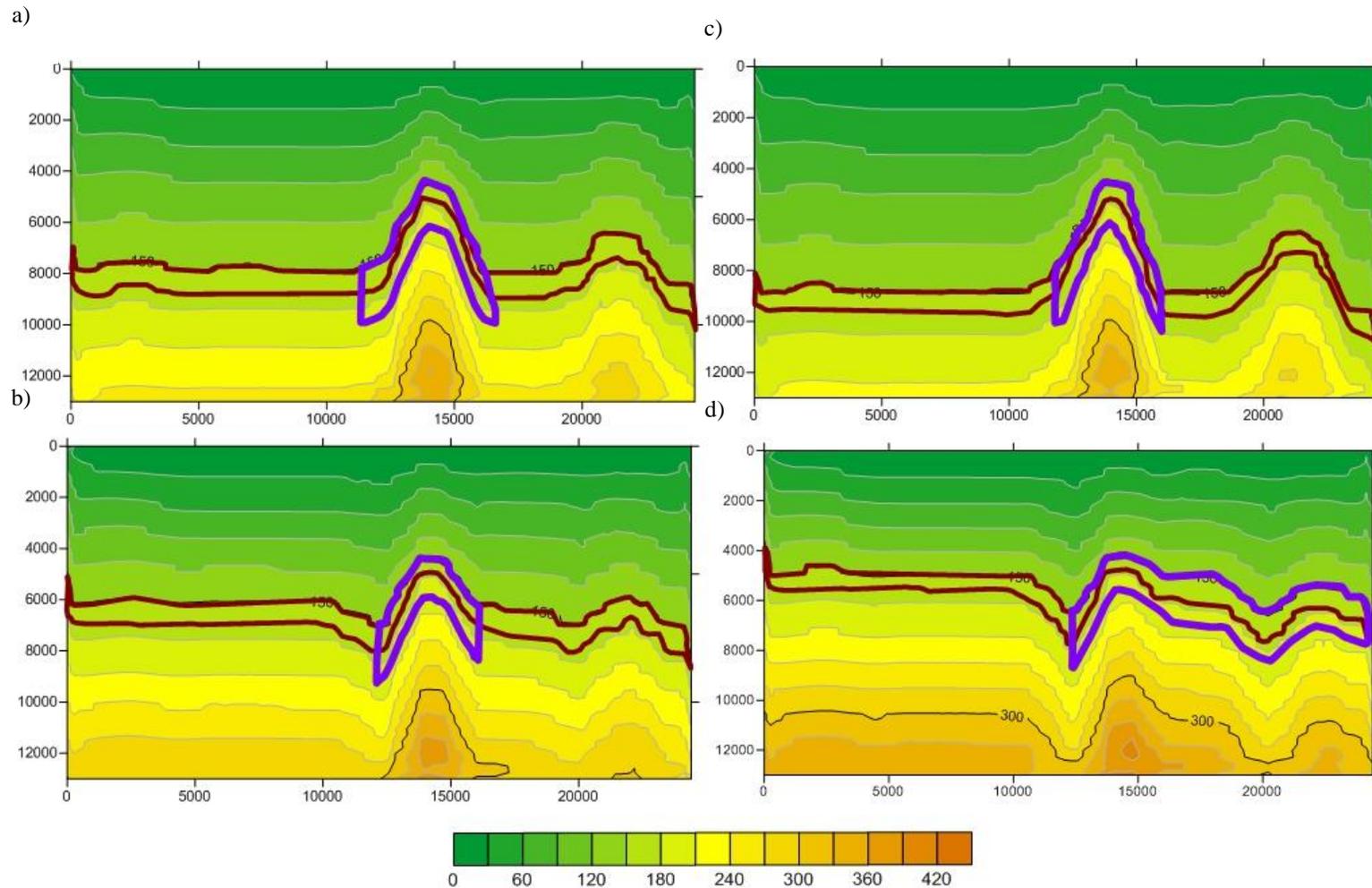
### **2.6.1. Conductivité thermique (K)**

Les mesures de conductivité thermique comportent des erreurs lors de la prise de mesures. Elles ont été variées de  $\pm 10\%$  et de  $\pm 25\%$  comme le montrent les Figure 25 et Figure 26 pour la vallée de la Matapédia et Gaspé. Le rouge représente le réservoir potentiel de l'intervalle 150 à 170 °C et le mauve celui de la zone anomalique. Ensuite, les Tableau 10 et Tableau 11 montrent le calcul de ressource et comparent les résultats avec la valeur de la zone calculée auparavant.



**Figure 25 – Schématisation de la variation de la conductivité thermique pour la vallée de la Matapédia.**

- A) Augmentation de 10 % de la conductivité thermique.
- B) Diminution de 10 % de la conductivité thermique.
- C) Augmentation de 25 % de la conductivité thermique.
- D) Diminution de 25 % de la conductivité thermique.



**Figure 26 – Schématisation de la variation de la conductivité thermique pour le secteur de Gaspé.**

- A) Augmentation de 10 % de la conductivité thermique.
- B) Diminution de 10 % de la conductivité thermique.
- C) Augmentation de 25 % de la conductivité thermique.
- D) Diminution de 25 % de la conductivité thermique.

**Tableau 10 - Résultats du calcul de ressource pour l'intervalle de température 150 °C – 170 °C de la vallée de la Matapédia pour différentes variations de la conductivité thermique.**

| Variation conductivité thermique | Profondeur moyenne (m) | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Capacité thermique moyenne (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | ΔT (°C) | q <sub>tot</sub> (J/m) | Largeur du profil (m) | n <sub>th</sub> (%) | Fr = 2%               |                                   | Fr = 20%              |                                   | Variation (%) |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|---|---------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|
|                                  |                        |                               |   |         |                        |                       |                     | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) |               |
| + 10%                            | 10 000                 | 42 80 6400                    | 2,000   | 155     | 1,38E+16               | 20 000                | 12,6                | 3,56E+11              | 47,52                             | 3,56E+12              | 475,17                            | -1,32         |
| - 10%                            | 8 000                  | 43 671 176                    | 2,100   | 158     | 1,45E+16               |                       |                     | 3,65E+11              | 48,72                             | 3,65E+12              | 487,17                            | 1,17          |
| + 25%                            | 11 000                 | 42 157 818                    | 2,000   | 152     | 1,33E+16               |                       |                     | 3,47E+11              | 46,32                             | 3,47E+12              | 463,16                            | -3,81         |
| - 25%                            | 7 000                  | 44 319 758                    | 2,100   | 160     | 1,49E+16               |                       |                     | 3,71E+11              | 49,56                             | 3,71E+12              | 495,57                            | 2,92          |

**Tableau 11 - Résultats du calcul de ressource pour l'intervalle de température 150 °C – 170 °C du secteur de Gaspé pour différentes variations de la conductivité thermique.**

| Variation conductivité thermique | Profondeur moyenne (m) | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Capacité thermique moyenne (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | ΔT (°C) | q <sub>tot</sub> (J/m) | Largeur du profil (m) | n <sub>th</sub> (%) | Fr = 2%               |                                   | Fr = 20%              |                                   | Variation (%) |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|---|---------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|
|                                  |                        |                               |   |         |                        |                       |                     | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) |               |
| + 10%                            | 8 500                  | 24 075 480                    | 2,080   | 155     | 7,48E+15               | 20 000                | 12,6                | 1,93E+11              | 25,70                             | 1,93E+12              | 257,01                            | -4,50         |
| - 10%                            | 7 000                  | 24 561 853                    | 2,090   | 158     | 8,17E+15               |                       |                     | 2,06E+11              | 27,53                             | 2,06E+12              | 275,29                            | 2,29          |
| + 25%                            | 9 000                  | 23 710 700                    | 2,058   | 152     | 7,25E+15               |                       |                     | 1,90E+11              | 25,31                             | 1,90E+12              | 253,12                            | -5,95         |
| - 25%                            | 5 000                  | 24 926 633                    | 2,095   | 160     | 8,42E+15               |                       |                     | 2,09E+11              | 27,94                             | 2,09E+12              | 279,38                            | 3,81          |

Les résultats montrent une variation des ressources géothermiques de l'ordre de  $\pm 1$  à 6 % avec le calcul réalisé pour l'intervalle 150-170 °C. Il s'agit d'un paramètre ayant un faible impact sur le potentiel de génération d'électricité. Lorsque la conductivité thermique est augmentée, l'aire du réservoir potentiel diminue, ce qui a pour effet de diminuer aussi la ressource. Le contraire est aussi observé. Ainsi, plus les variations de la conductivité thermique sont grandes, plus la quantité de ressource change.

Toutefois, une modification importante de la profondeur des réservoirs est constatée (Tableau 12 et Tableau 13). La profondeur de l'intervalle 150 °C – 170 °C augmente et diminue de 1 000 à 2 000 m pour les deux secteurs. La profondeur de la zone anomalique varie de 1 000 m comparativement à celle évaluée lors du calcul de ressource, et ce pour les deux secteurs. La profondeur du toit des zones varie peu, ce qui peut être expliqué par la faible résolution des sections.

**Tableau 12 - Résultats des variations de profondeur de l'intervalle 150 - 170 °C pour différentes variations de la conductivité thermique.**

| Variation conductivité thermique | Vallée de la Matapédia |         |         | Gaspé   |         |         |
|----------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | Maximum                | Minimum | Moyenne | Maximum | Minimum | Moyenne |
| +10%                             | 11 000                 | 4 000   | 10 000  | 9 000   | 4 500   | 8 000   |
| - 10%                            | 9 000                  | 4 000   | 8 000   | 7 000   | 4 500   | 7 000   |
| +25%                             | 12 000                 | 4 000   | 11 000  | 10 000  | 5 000   | 9 000   |
| -25%                             | 8 000                  | 4 000   | 7 000   | 8 000   | 5 000   | 6 000   |

**Tableau 13 - Résultats des variations de profondeur du réservoir anomalique pour différentes variations de la conductivité thermique.**

| Variation conductivité thermique | Vallée de la Matapédia |         |         | Gaspé   |         |         |
|----------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | Maximum                | Minimum | Moyenne | Maximum | Minimum | Moyenne |
| +10%                             | 11 000                 | 4 000   | 7 500   | 10 000  | 5 000   | 7 500   |
| - 10%                            | 10 000                 | 4 000   | 7 000   | 9 000   | 5 000   | 7 000   |
| +25%                             | 12 000                 | 4 000   | 8 000   | 11 000  | 5 000   | 8 000   |
| -25%                             | 8 000                  | 4 000   | 6 000   | 8 000   | 5 000   | 6 500   |

De manière générale, une faible variation de conductivité thermique entraîne une faible variation de la profondeur du réservoir. De plus, une variation négative a pour conséquence de diminuer la profondeur des zones utilisées pour le calcul de ressource et le contraire est aussi observé.

### 2.6.2. Température (T) corrigée en fond de forage

La variation de la température en fond de forage est un facteur important dans l'évaluation des ressources géothermiques. Il a été décidé d'utiliser les mêmes

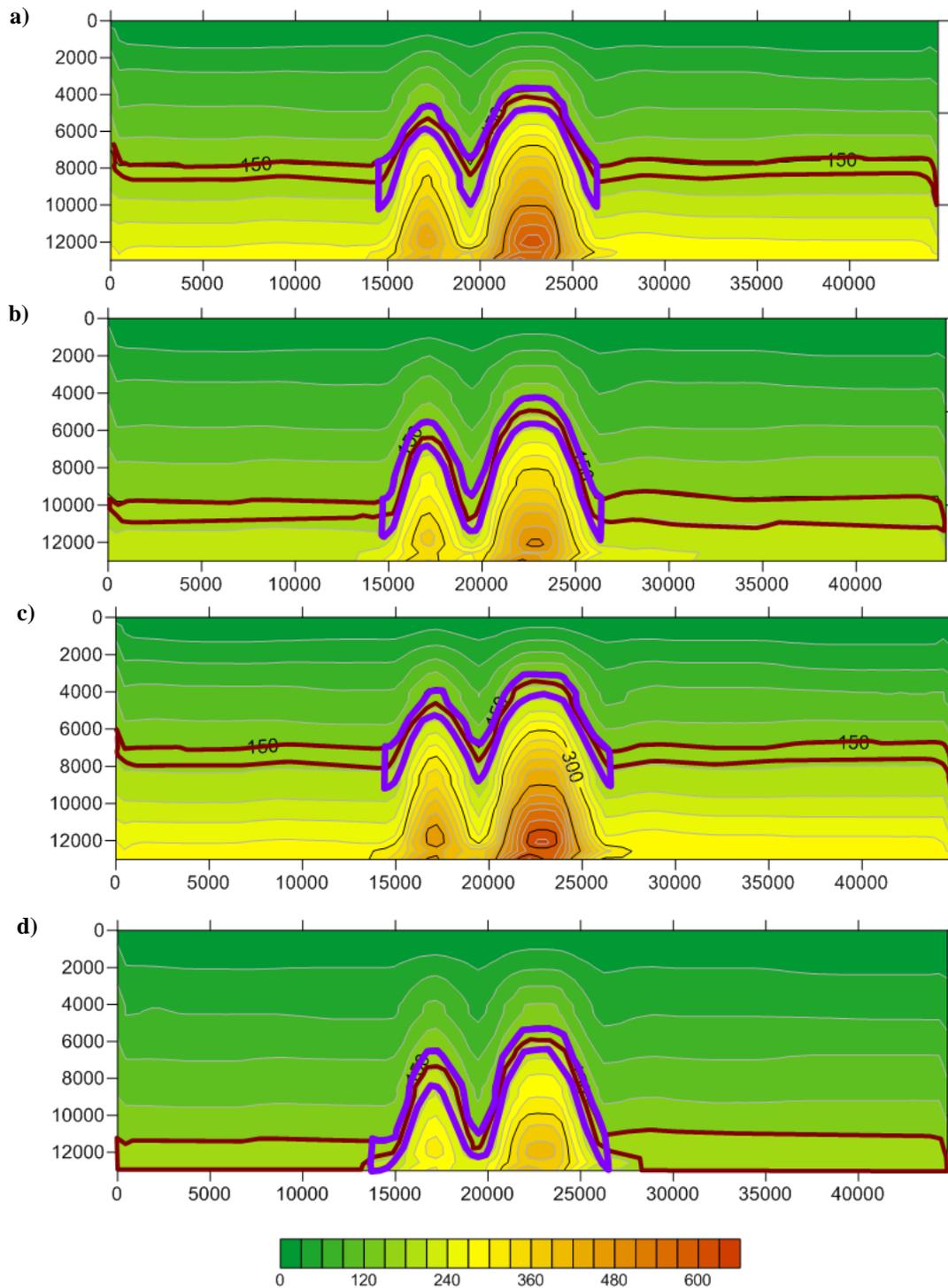
variations que précédemment, soit  $\pm 10$  % et  $\pm 25$  %. Les Tableau 14 et Tableau 15 montrent les résultats du calcul de ressource pour les variations choisies. Les figures suivantes montrent une schématisation des variations de la température réalisées (Figure 27 et Figure 28). Les résultats montrent de plus grandes variations pour ce paramètre que pour le changement de conductivité thermique. En effet, les résultats montrent des variations de la ressource de  $\pm 5$  à 28 %. Il s'agit d'un paramètre d'entrée pour le calcul du potentiel de génération d'électricité. À nouveau, plus le changement de température est grand, plus les variations le seront.

**Tableau 14 - Résultats du calcul de ressource de la vallée de la Matapédia pour différentes variations de la température.**

| Variation température | Profondeur moyenne (m) | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Capacité thermique moyenne (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | ΔT (°C) | q <sub>tot</sub> (J/m) | Largeur du profil (m) | n <sub>th</sub> (%) | Fr = 2%               |                                   | Fr = 20%              |                                   | Variation (%) |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------|---|---------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|
|                       |                        |                               |   |         |                        |                       |                     | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) |               |
| 10%                   | 7 000                  | 45 400 727                    | 2,090   | 172,9   | 1,64E+16               | 20 000                | 12,6                | 3,8E+11               | 50,65                             | 3,80E+12              | 506,46                            | 5,181         |
| -10%                  | 11 000                 | 41 076 848                    | 2,058   | 140,9   | 1,19E+16               |                       |                     | 3,38E+11              | 45,13                             | 3,38E+12              | 451,28                            | -6,28         |
| 25%                   | 7 000                  | 54 048 485                    | 2,095   | 196,9   | 2,23E+16               |                       |                     | 4,53E+11              | 60,44                             | 4,53E+12              | 604,36                            | 25,51         |
| -25%                  | 12 000                 | 32 429 091                    | 2,000   | 116,9   | 7,58E+15               |                       |                     | 2,59E+11              | 34,62                             | 2,59E+12              | 346,19                            | -28,1         |

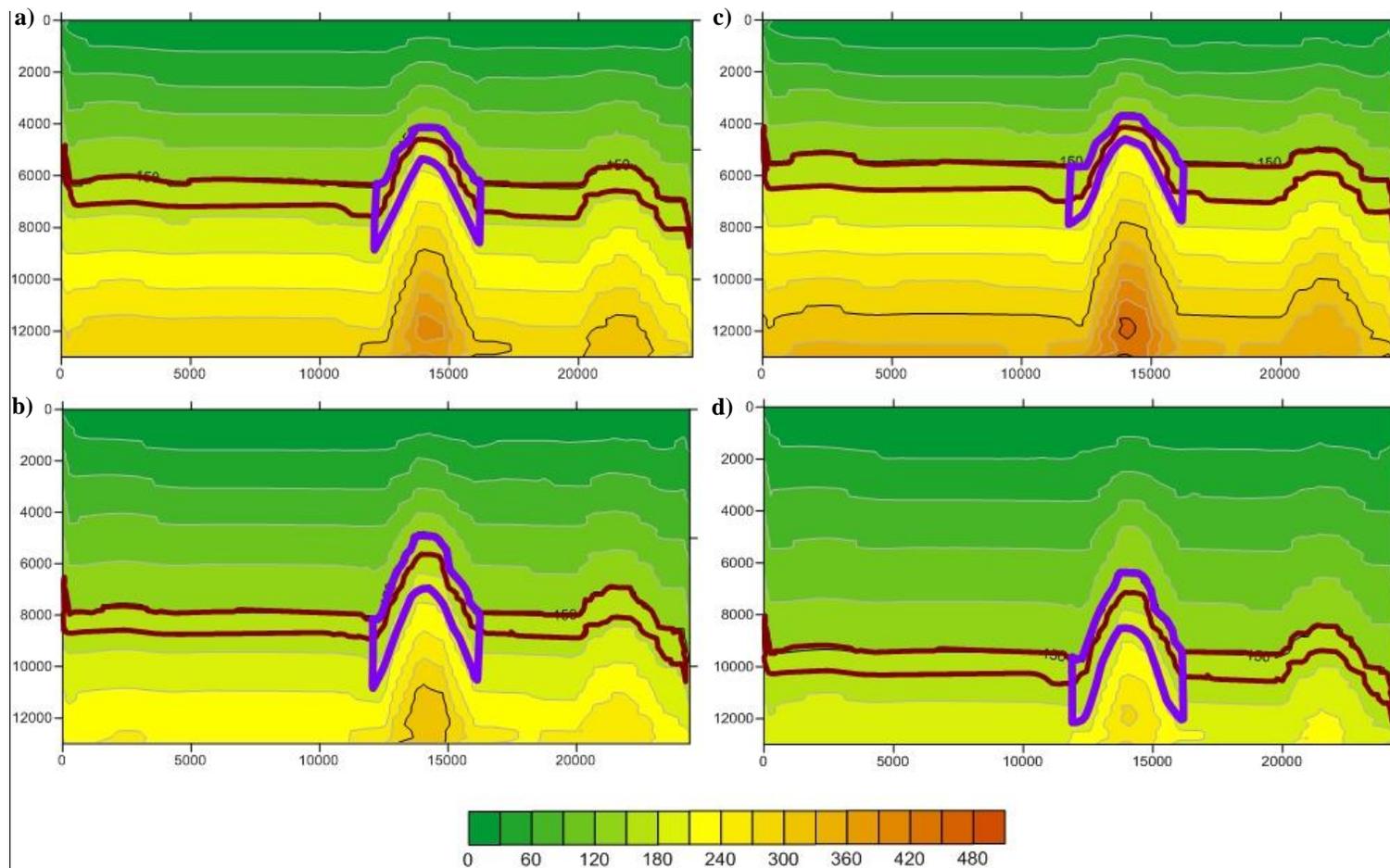
**Tableau 15 - Résultats du calcul de ressource du secteur de Gaspé pour différentes variations de la température.**

| Variation température | Profondeur moyenne (m) | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Capacité thermique moyenne (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | ΔT (°C) | q <sub>tot</sub> (J/m) | Largeur du profil (m) | n <sub>th</sub> (%) | Fr = 2%               |                                   | Fr = 20%              |                                   | Variation (%) |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------|---|---------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|
|                       |                        |                               |   |         |                        |                       |                     | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub> (MJ) | P <sub>e</sub> (MW <sub>e</sub> ) |               |
| 10%                   | 7 000                  | 25 534 600                    | 2,100   | 172,9   | 9,27E+15               | 20 000                | 12,6                | 2,14E+11              | 28,62                             | 2,14E+12              | 286,20                            | 6,34          |
| -10%                  | 8 000                  | 23 102 733                    | 2,000   | 140,9   | 6,51E+15               |                       |                     | 1,85E+11              | 24,66                             | 1,85E+12              | 246,63                            | -8,36         |
| 25%                   | 6 000                  | 30 398 333                    | 2,100   | 196,9   | 1,26E+16               |                       |                     | 2,55E+11              | 34,07                             | 2,55E+12              | 340,71                            | 26,59         |
| -25%                  | 10 000                 | 18 239 000                    | 2,000   | 116,9   | 4,26E+15               |                       |                     | 1,46E+11              | 19,47                             | 1,46E+12              | 194,71                            | -27,65        |



**Figure 27 – Schématisation de la variation de la température en profondeur pour la vallée de la Matapédia.**

- A) Augmentation de 10 % de la température.
- B) Diminution de 10 % de la température.
- C) Augmentation de 25 % de la température.
- D) Diminution de 25 % de la température.



**Figure 28 – Schématisation de la variation de la température en profondeur pour le secteur de Gaspé.**

- A) Augmentation de 10 % de la température.
- B) Diminution de 10 % de la température.
- C) Augmentation de 25 % de la température.
- D) Diminution de 25 % de la température.

Les Tableau 16 et Tableau 17 montrent la variation des profondeurs des zones étudiées pour les changements de température réalisés. Les résultats montrent qu'une augmentation de la température corrigée de 10 % ou de 25 % n'affecte pas la profondeur du toit des zones étudiées, laquelle demeure à 4000 m de profondeur comme pour les

résultats obtenus sans variation de paramètre. Par contre, une diminution de la température corrigée entraîne une augmentation de la profondeur des zones d'intérêt. De manière générale, une augmentation de la température entraîne une contraction des isogrades et le contraire est aussi observé.

**Tableau 16 - Résultats des variations de profondeur de l'intervalle 150 - 170 °C pour différentes variations de la température.**

| Variation température | Vallée de la Matapédia |         |         | Gaspé   |         |         |
|-----------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | Maximum                | Minimum | Moyenne | Maximum | Minimum | Moyenne |
| +10%                  | 10 000                 | 4 000   | 8 000   | 8 000   | 4 000   | 6 500   |
| - 10%                 | 12 000                 | 4 000   | 10 000  | 9 000   | 5 000   | 9 000   |
| +25%                  | 9 000                  | 4 000   | 7 000   | 6 000   | 4 000   | 6 000   |
| -25%                  | 13 000                 | 6 000   | 12 000  | 11 000  | 7 000   | 10 000  |

**Tableau 17 - Résultats des variations de profondeur de la zone anomalique pour différentes variations de la température.**

| Variation température | Vallée de la Matapédia |         |         | Gaspé   |         |         |
|-----------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | Maximum                | Minimum | Moyenne | Maximum | Minimum | Moyenne |
| +10%                  | 10 000                 | 4 000   | 7 000   | 9 000   | 4 000   | 6 500   |
| - 10%                 | 11 000                 | 5 000   | 8 000   | 11 000  | 5 000   | 8 000   |
| +25%                  | 9 000                  | 4 000   | 6 500   | 7 000   | 4 000   | 5 500   |
| -25%                  | 13 000                 | 6 000   | 9 500   | 12 000  | 7 000   | 9 500   |

### 2.6.3. Génération de chaleur par dégradation des éléments radioactifs (A)

Précédemment, une valeur de 0,7  $\mu\text{W}/\text{m}^3$  et de 1,4  $\mu\text{W}/\text{m}^3$  a été posée comme génération de chaleur causée par la désintégration des éléments radioactifs dans les roches sédimentaires et dans le socle pour réaliser le calcul de ressource. Il a été décidé de doubler ces valeurs pour évaluer la sensibilité de ce paramètre (Figure 28 et Figure 29).

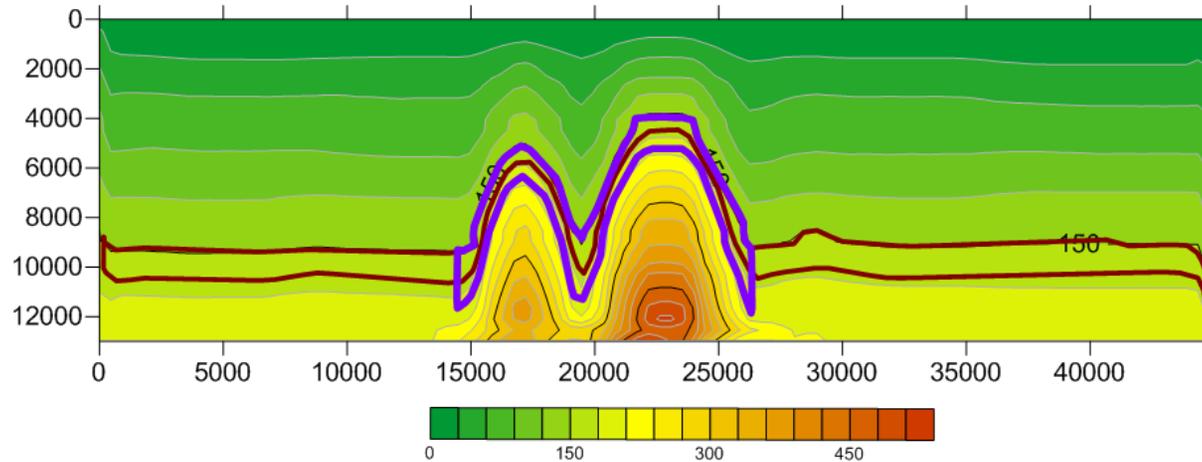


Figure 29 – Schématisation de la variation des constantes de désintégration radioactive en profondeur pour la vallée de la Matapédia.

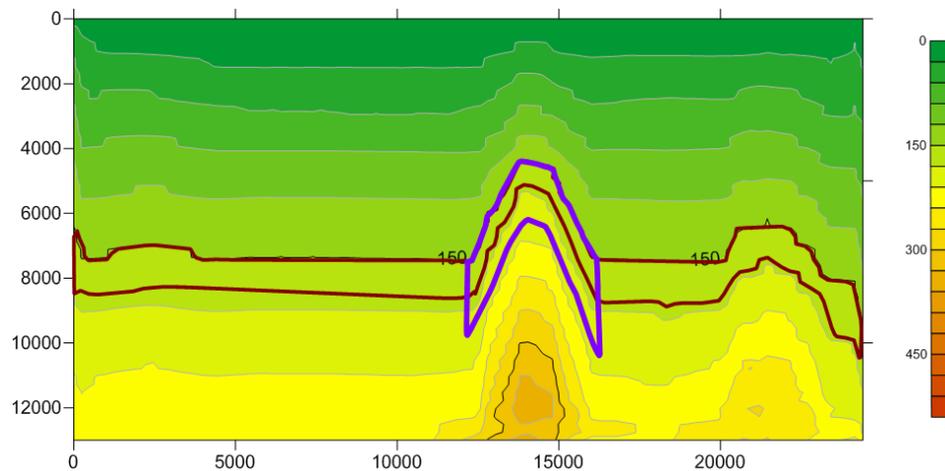


Figure 30 – Schéma de la variation des constantes de désintégration radioactive en profondeur pour le secteur de Gaspé.

**Tableau 18 - Résultats du calcul de ressource du secteur de la vallée de la Matapédia pour différentes valeurs de génération de chaleur.**

| Profondeur moyenne (m) | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Capacité thermique moyenne (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | $\Delta T$ (°C) | $q_{tot}$ (J/m) | Largeur du profil (m) | $n_{th}$ (%) | Fr = 2%        |                          | Fr = 20%       |                          | Variation (%) |
|------------------------|-------------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------------|--------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|---------------|
|                        |                               |   |                 |                 |                       |              | $Q_{rec}$ (MJ) | $P_e$ (MW <sub>e</sub> ) | $Q_{rec}$ (MJ) | $P_e$ (MW <sub>e</sub> ) |               |
| 10 000                 | 46 856 727                    | 2,080   | 157             | 1,53E+16        | 20 000                | 12,6         | 3,90E+11       | 52,01                    | 3,90E+12       | 520,13                   | 8,02          |

**Tableau 19 - Résultats du calcul de ressource du secteur de Gaspé pour différentes valeurs de génération de chaleur.**

| Profondeur moyenne (m) | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | Capacité thermique moyenne (MJ/m <sup>3</sup> ·K) | $\Delta T$ (°C) | $q_{tot}$ (J/m) | Largeur du profil (m) | $n_{th}$ (%) | Fr = 2 %       |                          | Fr = 20 %      |                          | Variation (%) |
|------------------------|-------------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------------|--------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|---------------|
|                        |                               |   |                 |                 |                       |              | $Q_{rec}$ (MJ) | $P_e$ (MW <sub>e</sub> ) | $Q_{rec}$ (MJ) | $P_e$ (MW <sub>e</sub> ) |               |
| 8 000                  | 24 671 111                    | 2,049   | 157             | 7,94E+15        | 20 000                | 12,6         | 2,02E+11       | 26,90                    | 2,02E+12       | 269,95                   | 0,30          |

Le secteur de la Matapédia (Tableau 18) montre une augmentation de la ressource de 8 % en raison de l'augmentation importante de l'aire du réservoir potentiel. Le secteur de Gaspé (Tableau 19) montre une faible variation de 0,3 % causée par le changement des valeurs de génération de chaleur. Par contre, les profondeurs des réservoirs ont augmenté de 1 000 m pour chacun des secteurs. Il est possible que l'incertitude de la détermination de l'aire liée à la résolution spatiale verticale affecte le calcul de ressource et explique la grande variation pour le secteur de la vallée de la Matapédia.

#### 2.6.4. Facteur de récupération (*Fr*)

Un facteur de récupération de 2 à 20 % a été déterminé précédemment pour le calcul de ressource. Il dépend de plusieurs facteurs qui sont décrits par Williams et al. (2008) tels les contextes géologique ainsi que structural. Les Tableau 20 et Tableau 21 montrent les résultats suite à une variation du paramètre *Fr*. Une valeur additionnelle de 15 % a été testée afin de connaître son impact sur la ressource.

**Tableau 20 - Résultats du calcul de ressource du secteur de la vallée de la Matapédia pour différents facteurs de récupération.**

| Zone        | Fr = 2 %                 |                                      | Fr = 15%                 |                                      | Fr = 20%                 |                                      |
|-------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|             | Q <sub>rec</sub><br>(MJ) | P <sub>e</sub><br>(MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub><br>(MJ) | P <sub>e</sub><br>(MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub><br>(MJ) | P <sub>e</sub><br>(MW <sub>e</sub> ) |
| 150°C-170°C | 3,61E+11                 | 48,15                                | 2,71E+12                 | 361,14                               | 3,61E+12                 | 481,51                               |
| 170°C-190°C | 3,22E+11                 | 43,00                                | 2,42E+12                 | 322,51                               | 3,22E+12                 | 493,66                               |
| Anomalie    | 1,53E+11                 | 20,45                                | 1,15E+12                 | 153,38                               | 1,53E+12                 | 219,65                               |

**Tableau 21 - Résultats du calcul de ressource du secteur de Gaspé pour différents facteurs de récupération.**

| Zone        | Fr = 2 %                 |                                      | Fr = 15%                 |                                      | Fr = 20%                 |                                      |
|-------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|             | Q <sub>rec</sub><br>(MJ) | P <sub>e</sub><br>(MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub><br>(MJ) | P <sub>e</sub><br>(MW <sub>e</sub> ) | Q <sub>rec</sub><br>(MJ) | P <sub>e</sub><br>(MW <sub>e</sub> ) |
| 150°C-170°C | 2,02E+11                 | 26,91                                | 1,51E+12                 | 201,85                               | 2,02E+12                 | 269,13                               |
| 170°C-190°C | 1,85E+11                 | 24,74                                | 1,39E+12                 | 185,55                               | 1,85E+12                 | 284,02                               |
| Anomalie    | 5,97E+10                 | 7,97                                 | 4,48E+11                 | 59,77                                | 5,97E+11                 | 85,59                                |

#### 2.6.5. Facteur d'utilisation (*nth*)

Le choix d'un facteur d'utilisation a un impact direct sur la quantité d'électricité potentiellement exploitable dans le réservoir. En effet, il s'agit du dernier paramètre à entrer en jeu pour le calcul de ressource. Une diminution d'un certain pourcentage de ce paramètre correspond à une même proportion de diminution de la ressource.

### 3. Discussion

Le calcul de ressource a été réalisé en posant les hypothèses simplificatrices sur la production du fluide géothermique. Il ne se refroidit pas lors de sa remontée en surface et il demeure à la même température tout au long de la durée de vie du réservoir. Pour des travaux futurs, il serait pertinent de tenir compte de ces variations dans le temps afin d'obtenir des résultats plus réalistes.

#### 3.1. Anomalies de température

Les anomalies de température en fond de puits peuvent être causées par plusieurs phénomènes. D'abord, il est probable que des fluides salins chauds entraînent des mouvements de convection naturelle qui soient la cause de cette hausse du gradient géothermique (Majorowicz et Minea., 2012 ; 2013). De plus, il est probable qu'un phénomène de roche couverture permette d'emprisonner la chaleur en profondeur. La **Erreur! Source du renvoi introuvable.** du profil à l'équilibre du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087) indique qu'un changement se produit dans la pente des températures à l'équilibre vers 1500 m de profondeur. Le gradient thermique augmente, passant de 15,5 °C/km à 19,2 °C/km. Ces valeurs sont supérieures à celle calculée par Drury *et al.* (1987) qui avait trouvé un gradient de 12,9 °C/km. Par contre, cette valeur a seulement été calculée pour l'intervalle de 680 à 1 524 m. De plus, la conductivité thermique moyenne passe de 3,20 W/m·K pour la partie supérieure à 2,92 W/m·K pour la section inférieure. Des intrusions enfouies peuvent causer des anomalies de température en profondeur en raison de leur forte concentration en éléments radioactifs, tels l'uranium, le thorium et le potassium. Ces éléments se désintègrent et par le fait même, dégagent une chaleur qui est transmise vers la surface.

#### 3.2. Conductivité thermique

La variation de ce paramètre a montré (Figure 25 et Figure 26) un impact direct sur la profondeur des zones d'intérêt au sein des bassins potentiels. Il serait donc pertinent d'avoir une plus grande base de données permettant d'avoir une meilleure représentation des unités géologiques. En effet, peu d'unités argileuses et/ou silteuses ont été récoltées sur le terrain. Plus de mesures de ce type de roches auraient permis de diminuer les valeurs moyennes des formations et ainsi, obtenir une conductivité thermique plus faible favorisant un effet d'emprisonnement de la chaleur.

L'appareil mesurant la conductivité thermique a une certaine marge d'erreur de l'ordre de 10 %. Afin d'y remédier, une correction des conductivités a été effectuée à l'aide des mesures réalisées sur un étalon avant et après les mesures sur chaque échantillon. Par contre, toutes les mesures prises sur l'étalon ont sans exception été supérieures à sa valeur normée. Ainsi, ce phénomène a pu potentiellement créer une erreur plus grande que 10 %. De plus, une étude des diagraphies permettrait d'obtenir par une méthode indirecte un profil continu de la variation de la conductivité thermique pour diverses unités géologiques traversée par les forages (Nasr, 2016). La méthode permettrait aussi d'avoir un profil continu des différents faciès lithologiques comme il a été possible de réaliser pour le profil à l'équilibre Gulf, Sunny Bank No 1 (C087). Une plus grande quantité de données pourrait être générée, permettant de réduire l'incertitude des modélisations.

#### 3.3. Correction de température

La correction de température avec la méthode de Harrison est une méthode empirique développée pour les bassins sédimentaires de l'Oklahoma. Il peut y avoir une erreur associée à cette correction. Malheureusement, il n'a pas été possible de quantifier cette erreur puisqu'aucune autre correction n'a pu être appliquée. Effectivement, la méthode de Horner nécessite plusieurs mesures de température à divers moments. Ces données ne sont pas disponibles pour aucun puits dans les deux secteurs étudiés. La méthode SMU, quant à elle, doit être utilisée pour un puits à l'équilibre avec un gradient moyen minimum de 20 °C/km, ce qui n'est pas le cas du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087). Par contre, il serait pertinent lors de futurs travaux d'obtenir des mesures de température à l'équilibre dans des puits encore ouverts à ce jour. Cela permettrait de valider si la correction de Harrison est pertinente à l'évaluation du potentiel géothermique de la région des Appalaches.

#### 3.4. Génération de chaleur par dégradation des éléments radioactifs

La valeur utilisée pour la génération de chaleur des roches sédimentaires provient de moyennes réalisées pour des formations dans le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent (0,7  $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ). Certaines données ont été amassées dans le secteur du Dôme Lemieux. Il s'agit de roches granitiques qui ne corrént pas avec les lithologies sédimentaires étudiées (Jessop *et al.*,

2005). C'est pourquoi il a été décidé de ne pas utiliser ces résultats. Aucune donnée n'a été prise dans le socle. Conséquemment, c'est le double de la valeur pour les sédiments qui a été utilisé, soit  $1,4 \mu\text{W}/\text{m}^3$ . Par contre, il a été montré au Tableau 18 et Tableau 19 que sa variation a un impact sur la profondeur de la ressource, mais peu d'effet sur la quantité de la ressource. En effet, on constate des variations de quelques dizaines de degrés à une profondeur de 13 km. Des mesures de génération de chaleur ont un ordre de priorité moins important pour l'amélioration de la modélisation de la température.

### 3.5. Volume des réservoirs

La détermination de l'aire des réservoirs potentiels a été réalisée avec le logiciel Surfer. Une certaine marge d'erreur de l'ordre de 15% y est associée en raison de l'incertitude liée à l'interpolation. Le calcul de l'aire a été réalisé à partir de points de mesure (*nods*) et non par intégration de la surface étudiée, ce qui a engendré une erreur.

Le calcul de l'aire pour l'étude de la sensibilité des paramètres a été réalisé en proportionnant l'aire du calcul de ressource en fonction des variations étudiées. Une programmation automatisée du calcul de l'aire pour les profils serait pertinente à réaliser afin de réduire l'incertitude engendrée par le traçage des zones.

### 3.6. Capacité thermique

La capacité thermique des formations a été estimée par une étude pétrographique de la minéralogie. Les résultats ont montré une plage de valeur située entre  $1,9 \text{ MJ}/\text{m}^3\cdot\text{K}$  pour la Formation de York River et  $2,3 \text{ MJ}/\text{m}^3\cdot\text{K}$  pour la Formation de Shiphead. L'incertitude associée à cette plage de valeurs est de l'ordre de 10 % puisque ce paramètre a été évalué de manière indirecte. La sensibilité de ce paramètre n'a pas été évaluée en raison de sa faible variabilité pour le socle rocheux.

### 3.7. Facteur de récupération et facteur d'utilisation

La variation du facteur de récupération ainsi que du facteur d'utilisation a un impact considérable sur les ressources calculées. Ils entrent en jeu lors des derniers calculs de ressource, ce qui a pour effet d'augmenter leur impact sur le résultat. Il serait donc pertinent d'approfondir sur ce sujet au moment d'une étude de faisabilité pour l'élaboration d'un futur projet de génération d'électricité géothermique, afin d'améliorer l'évaluation des ressources géothermiques.

#### 4. Conclusion

Des mesures de conductivité thermique couplées à des températures en fond de puits ont permis de réaliser une modélisation des températures en profondeur pour les profils composites MRN04, VB-06, VB-04A, VB-04B, VB-04C situés dans le secteur de la vallée de la Matapédia et 80-39 P19-P20 pour la région de Gaspé. Les calculs de ressource montrent qu'il serait possible de générer 21,96 à 219,65 MWe à une profondeur moyenne de 7 km pour la vallée de la Matapédia et 8,56 à 85,59 MWe à 6,5 km pour le secteur de Gaspé.

Une variation des paramètres considérés pour le calcul de ressources a permis de cibler les facteurs ayant le plus d'impact sur le potentiel de génération d'électricité ainsi que sur la profondeur des ressources. L'augmentation de la température corrigée en fond de puits contracte de manière importante les isogrades de température anticipés en profondeur. En effet, une augmentation de 10% pour le secteur de la Matapédia a pour conséquence de diminuer son aire ainsi que la profondeur moyenne de 1 km du réservoir dans l'intervalle de 150 – 170 °C. De plus, l'analyse graphique de l'ensemble des températures corrigées a permis d'identifier des anomalies de température. Effectivement, deux puits présentent un gradient géothermique corrigé de 42,9 °C/km et 38,5 °C/km. Ces gradients sont environ 15 °C/km plus élevés que la moyenne de tous les gradients géothermiques corrigés des vingt puits analysés en Gaspésie (24,9 °C/km). Par contre, le manque de mesures de température en fond de puits à différents moments suivant la fin du forage ainsi qu'à l'équilibre après le forage n'a pas permis de valider la pertinence de la correction employée. En ce sens, une certaine marge d'erreur est possible, mais ne peut pas être déterminée avec exactitude selon les données actuellement disponibles. Il serait donc important de calculer l'erreur associée à la correction de Harrison en mesurant des températures à l'équilibre en fond de puits, lorsque possible.

La variation de la génération de chaleur a apporté peu de changement dans la quantité de ressources potentielles. En effet, malgré une augmentation de près de 50% dans les roches sédimentaires, les réservoirs sont en moyenne plus profonds de 1 km et peu de changements sont notés dans la quantité de ressources potentielles. Son impact est donc secondaire pour cette étude.

Le facteur de récupération ( $Fr$ ) ainsi que le facteur d'utilisation ( $n_m$ ) sont des paramètres difficiles à établir lors d'une étude préliminaire. Il sera pertinent d'approfondir nos connaissances sur ces facteurs lors d'une étude de faisabilité afin de diminuer

l'incertitude du calcul de ressource.

L'étude des profils à l'équilibre du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087) et Great Plains Noël Shell No 1, Parke (F001) ont permis de constater l'importance des données qui y sont mesurées. Effectivement, une grande quantité de mesures a été réalisée permettant la mise en graphique d'un profil pour divers paramètres. Il a été possible de constater qu'un effet de roche couverture est possible dans les bassins sédimentaires et offre des cibles d'exploration pour les ressources géothermiques profondes. Le profil de température du puits Gulf, Sunny Bank No 1 (C087) a montré un changement dans son gradient géothermique vers 1 500 m passant de 15,5 °C/km à 19,2 °C/km. Finalement, il est possible que la remontée de fluides salins chauds soit la cause des anomalies de température.

En définitive, les bassins sédimentaires siluro-dévonien du secteur de Gaspé et de la vallée de la Matapédia demeurent des cibles ayant un potentiel permettant de générer de l'électricité géothermique. Par contre, il est nécessaire d'effectuer des travaux approfondis préalablement à la réalisation d'un projet pilote. Plus de travaux d'exploration géologique sur les sites spécifiques seront entre autres nécessaires pour identifier la cause réelle des anomalies de température.

## Références

- Amyot, G. (1984) Lithostratigraphie de sous-surface de l'est de la Gaspésie. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Québec, ET 83-11, 75 pages.
- Bêche, M. (2008) Architecture structurale de la ceinture de Gaspé (Canada) : Imagerie sismique intégrée et application à l'évaluation pétrolière. Thèse de doctorat, Québec, Université Laval, 223 pages.
- Bêche, M., Kirkwood, D., Jardin, A., Desaulniers, E., Saucier, D., et Roure, F. (2007) 2D depth seismic imaging in the Gaspé Belt, a structurally complex fold thrust belt in the northern Appalachians, Quebec, Canada. *Springer*, 75-90.
- Bédard, K., Raymond, J., Malo, M., Konstantinovskaya, E. et Minea, V. (2014) St. Lawrence Lowlands bottom-hole temperatures: various correction methods. *GRC Transactions*, 38, 351-355.
- Beltrami, H., Jessop, A. M., et Mareschal, J. (1992) Ground temperature histories in eastern and central Canada from geothermal measurements; evidence of climatic change. *Global and Planetary Change*, 6(2-4), 167-184.
- Beltrami, H. et Mareschal, J.-C. (1993) Ground temperature changes in eastern Canada: borehole temperature evidence compared with proxy data. *Terra Nova*, 5: 21-28. doi: 10.1111/j.1365-3121.1993.tb00222.x
- Blackwell, D. D., Negraru, P. T., et Richards, M. C. (2006) Assessment of the enhanced geothermal system resource base of the united states. *Natural Resources Research (New York, N.Y.)*, 15(4), 283-308. doi:http://dx.doi.org/10.1007/s11053-007-9028-7
- Blackwell, D., Richards, M., et Stepp, P. (2010) Texas Geothermal Assessment for the I35 Corridor East. Roy M. Huffington Department of Earth Sciences, Southern Methodist University, Dallas.
- Bourque, P.-A. (2001) Sea-level, synsedimentary tectonics, and reefs: implications for hydrocarbon exploration in the Silurian-lowermost Devonian Gaspé Belt, Québec Appalachians. *Bulletin of the Canadian Petroleum Geology*, v. 49, 217-237.
- Bourque, P.-A., Malo, M. et Kirkwood, D. (2000) Paleogeography and tectono-sedimentary history at margin of Laurentia during Silurian-Earliest Devonian time: the Gaspé Belt, Québec. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 112, 4-20.
- Bourque, P.-A., et Raymond, L. (1989) Non-skeletal bioherms of the lower reef complex of the West Point Formation, Late Silurian, Gaspé Peninsula, Québec: In: Geldsetzer, H.H., James, N.P. et Tebbut, G. (eds), *Reefs: Canada and adjacent areas*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 13, p. 258-262.
- Brisebois, D. et Morin, C. (2004) Stratigraphie du Synclinorium de Connecticut Valley-Gaspé de l'Ouest de la Gaspésie. Ministère des ressources naturelles, Québec, 2551225140, 9782551225149, 28 pages.
- Bücker, C., et Rybach, L. (1996) A simple method to determine heat production from gamma-ray logs. *Marine and Petroleum Geology*, v. 13, 373-375.
- Clauser, C. (2014) Thermal storage and transport properties of rocks, I: Heat capacity and latent heat. *Encyclopedia of Solid, Earth Geophysics*, 1423-1431.
- Drury, M. J., Jessop, A. M., et Lewis, T. J. (1987). The thermal nature of the Canadian Appalachian crust. *Tectonophysics*, 133(1-2), 1-14.
- Globensky, Y. et collaborateurs (1993). *Lexique stratigraphique canadien: région des Appalaches, des Basses-Terres du Saint-Laurent et des îles de la Madeleine*. Ministère de l'énergie et des ressources, Québec, DV 91-23, 327 pages.
- Grasby, S.E., Allen, D.M., Bell, S., Chen, Z., Ferguson, G., Jessop, A., Kelman, M., Ko, M., Majorowicz, J., Moore, M., Raymond, J. et Therrien, R. (2012) Geothermal Energy Resource Potential of Canada. Geological Survey of Canada, Open File 6914 (revised), 322 pages. doi:10.4095/291488
- Grundman, G. (2013) Évaluation des potentiels en huile de gaz du nord-est de la Gaspésie (Québec, Canada): approche géochimique et modélisation 2D du système pétrolier. Thèse de doctorat. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 399 pages.
- Harrison, W.E., Luza, K.V., Prater, M.L. et Reddr, R.J. (1983) Geothermal resource assessment in Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey, Special Paper 83-1*, 42 pages.
- Hermanrud, C., Cao, S., et Lerche, I. (1990) Estimates of virgin rock temperature derived from BHT measurements; bias and error. *Geophysics*, 55(7), 924-931. doi:http://dx.doi.org/10.1190/1.1442908

- Horner, D.R. (1951) Pressure Build-up in Wells. 3rd World Petroleum Congress, The Hague, The Netherlands, May 28 – June 6. WPC-4135.
- Jessop, A.M., Allen, V.S., Bentkowski, W., Burgess, M., Drury, M., Judge A.S., Lewis, T., Majorowicz, J., Mareschal, J.C., and Taylor, A.E. (2005) The Canadian Geothermal Data Compilation. Geological Survey of Canada, Open File 4887, 1 CD-ROM.
- Jessop, A.M., Lewis, T.J., Judge, A.S., Taylor, A.E. et Drury, M.J. (1984) Terrestrial heat flow in Canada. *Tectonophysics*, 103, 239-261.
- Kehle, R. O., Schoepel, R. J., et Deford, R. K. (1970) The AAPG geothermal survey of North America. *Geothermics*, 2, 358-367.
- Lavoie, D. (1992) Lower Devonian facies in Forillon Peninsula, eastern Gaspé, Québec Appalachians: A storm-influenced, carbonate outer shelf. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 40(4), 303-320.
- Lavoie, D., Bourque, P., et Heroux, Y. (1992) Early silurian carbonate platforms in the Appalachian orogenic belt; the sayabec-la vieille formations of the gaspe-matapedia basin, quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29(4), 704-719. doi:http://dx.doi.org/10.1139/e92-061
- Lavoie, D. et Bourque, P.-A. (eds). (2001) The history of hydrocarbon exploitation in the Silurian-Devonian Gaspé belt: 100 years of modest success. *Bulletin of the Canadian Petroleum Geology*, v.49, no 2 (numéro spécial), 180-185.
- Lavoie, D., Pinet, N., Dietrich, J., Hannigan, P., Castonguay, S., Hamblin, A.P., et Giles, P. (2009) Petroleum resource assessment, Paleozoic successions of the St. Lawrence Platform and Appalachians of eastern Canada. Geological Survey of Canada, Open File 6174, 273 pages.
- Lespérance, P.J.(1980a) Calcaires supérieurs de Gaspé, les aires types et le prolongement ouest. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DPV-595, 79 pages.
- Lespérance, P.J. (1980b) Les Calcaire supérieurs de Gaspé (Dévonien inférieur) dans le nord-est de la Gaspésie. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DPV-751, 35 pages.
- Majorowicz, J.A. et Grasby, S. E. (2010) Heat flow, depth-temperature variations and stored thermal energy for enhanced geothermal systems in Canada. *Journal of Geophysics and Engineering*, 7(3), 232-241.
- Majorowicz, J.A. et Minea, V. (2012) Geothermal energy potential in the St-Lawrence River area, Quebec. *Geothermics* 43, 25-36.
- Majorowicz, J.A. et Minea, V. (2013) Geothermal anomalies in the Gaspésie Peninsula and Madeleine Islands, Quebec. *GRC Transactions*, Vol. 37, 12 pages.
- Majorowicz, J.A., et Moore, M. C. (2008) Enhanced geothermal systems (EGS) potential in the Alberta Basin. Calgary, AB, Canada: University of Calgary, Institute for Sustainability, Energy, Environment and Economy, 34 pages.
- Malo, M. (2001) The Late Silurian-Early Devonian tectono-sedimentary history of the Gaspé Belt in the Gaspé Peninsula: from a transtensional Salinic basin to an Acadian foreland basin. *Bulletin of the Canadian Society of Petroleum Geologists*, v. 49, 202-216.
- Malo, M. (2004) Paleogeography of the Matapedia Basin in the Gaspé Appalachians; initiation of the Gaspé Belt successor basin. *Canadian Journal of Earth Sciences = Revue Canadienne des Sciences de la Terre*, vol. 41, no. 5, 553-570.
- Malo, M. et Bourque, P.-A. (1993) Timing of the deformation events from Late Ordovician to Mid-Devonian in the Gaspé Peninsula. *Geological Society of America Special Papers*, 275, 101-122.
- Malo, M., Tremblay, A., Kirkwood, D. et Cousineau, P. (1995) Along-strike structural variations in the Quebec Appalachians: consequence of a collision along an irregular margin. *Tectonics*, v. 14, 1327-1338.
- Mareschal, J. C., et Beltrami, H. (1992) Evidence for recent warming from perturbed geothermal gradients: examples from eastern Canada. *Climate Dynamics*, 6(3-4), 135-143.
- Mareschal, J. C., Pinet, C., Gariépy, C., Jaupart, C., Bienfait, G., Dalla Coletta, G. et Lapointe, R. (1989) New heat flow density and radiogenic heat production data in the Canadian shield and the Quebec Appalachians. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26(4), 845-852. doi:http://dx.doi.org/10.1139/e89-068
- Nasr, M. (2016) Évaluation des propriétés thermiques de la plate-forme du Saint-Laurent: Mesures au laboratoire et approche diagraphique. Mémoire de maîtrise. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 238 pages.
- Parent, A. (2012) Modélisation 3D du système

- pétrolier du bassin nord-est de la Gaspésie, Québec, Canada. Thèse de doctorat, Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 255 pages.
- Pincivy, A., Malo, M., Ruffet, G., Tremblay, A. et Sacks, P. E. (2003) Regional metamorphism of the Appalachian Humber Zone of Gaspé Peninsula:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  evidence for crustal thickening during the Taconian orogeny. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 301-315.
- Pinet, C., Jaupart, C., Mareschal, J. C., Gariépy, C., Bienfait, G., et Lapointe, R. (1991) Heat flow and structure of the lithosphere in the eastern Canadian Shield. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 96(B12), 19941-19963.
- Pinet, N., Lavoie, D., Keating, P., et Brouillette, P. (2008) Gaspé belt subsurface geometry in the northern Quebec Appalachians as revealed by an integrated geophysical and geological study; 1, potential field mapping. *Tectonophysics*, 460(1-4), 34-54.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.07.006>
- Pinet, N. (2013) Gaspé belt subsurface geometry in the northern Quebec Appalachians as revealed by an integrated geophysical and geological study: 2-seismic interpretation and potential field modelling results. *Tectonophysics*, 588, 100-117.
- Raymond, J., Malo, M., Comeau, F.-A., Bedard, K., Lefebvre, R., et Therrien, R. (2012) Assessing the geothermal potential of the St. Lawrence lowlands sedimentary basin in Quebec, Canada. *Proceedings - International Association of Hydrogeologists Congress*, 39, 375 pages.
- Šafanda J. (1985) Calculation of temperature distribution in two-dimensional geothermal profile, *Studia geoph. et geod.*, v. 29, 191-207.
- Shope, E. N., Reber, T. J., Stutz, G. R., Aguirre, G. A., Jordan, T. E., et Tester, J. W. (2012) Geothermal resource assessment: A detailed approach to low-grade resources in the states of New York and Pennsylvania. *Proceedings, Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, 9 pages.
- Tester, J.W. (2006) *The future of geothermal energy*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 372 p.
- Tovar, D. (2014) Reconstruction de la géométrie du synclinorium de la Baie des Chaleurs au nord de Bonaventure par l'intégration des données géologiques et géophysiques. Mémoire de maîtrise. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 101 pages.
- Hamza, V. M. (1973). Vertical distribution of radioactive heat production in the Grenville geological province and the sedimentary sections overlying it.
- Waples, D.W. et Waples, J.S. (2004a). Review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1: Minerals and Nonporous Rocks. *Natural Resources Research*, 13(2): June 2004.
- Waples, D.W. et Waples, J.S. (2004b) A Review and Evaluation of Specific Heat Capacities of Rocks, Minerals, and Subsurface Fluids. Part 2: Fluids and Porous Rocks. *Natural Resources Research*, 13(2): June 2004.
- Williams, C. F., Reed, M. J., et Mariner, R. H. (2008) A review of methods applied by the US Geological Survey in the assessment of identified geothermal resources. *US Geological Survey Open-File Report*, 1296(2008), 27 pages.
- Williams, H. (1979) Appalachian Orogen in Canada. *Revue canadienne des sciences de la Terre*; volume 16, 688-693.

### Sites Internet

Decagon Devices

<http://www.decagon.com/>

Données climatologiques historiques du Canada

<http://climat.meteo.gc.ca/>

Système d'information géoscientifique pétrolier et gazier (Sigpeg)

<http://sigpeg.mrn.gouv.qc.ca>

## **Annexe A – Lithostratigraphie détaillée des secteurs de la vallée de la Matapédia et de Gaspé**

### **5.1. Vallée de la Matapédia**

#### **5.1.1. Nappe du Mont Logan**

##### **Groupe de Shickshock**

Sa composition est majoritairement de roches volcaniques et de roches sédimentaires toutes métamorphosées à des degrés variables (Globensky *et al.*, 1993). Effectivement, il est possible d'observer des faciès tel métasédiment, metabasalte, amphibolite et schistes à chlorite qui ont été mis en place au Cambrien inférieur.

#### **5.1.2. Formation de Cabano**

De manière générale, la Formation de Cabano est composée de grès lithique, de conglomérat interstratifié de siltstone et de mudstone provenant de l'Ordovicien moyen à supérieur (Globensky *et al.*, 1993). Il s'agit d'un équivalent latéral au Groupe d'Honorat et de Matapédia, mais plus près de la composition lithologique de l'Honorat. Cette unité géologique affleure dans le Témiscouata, tandis que le Groupe d'Honorat affleure dans le secteur de Matapédia (Figure 3).

#### **5.1.3. Groupe de Chaleurs**

##### **Formation d'Awantjish/Burnt Jam Brook**

Elles sont composées de schiste argileux, de mudstone vert foncé, vert grisâtre et rougeâtre (Globensky *et al.*, 1993). On y retrouve aussi des grès fins gris pâle à gris verdâtre (Brisebois et Morin, 2003).

##### **Formation de Val-Brillant**

Cette formation datant du Llandovery tardif témoigne d'un contexte littoral avec la présence de grès quartzitique blanc, rose, rouge en bancs épais à laminations parallèles à entrecroisées.

##### **Formation de Sayabec**

Mise en place du Llandovery supérieur au Wenlock inférieur, sa composition est très variable comme en témoignent ces quatre membres calcaireux et silicoclastiques. Son premier membre à la base est composé de calcaire gréseux, de siltstone calcaireux et de mudshale avec la présence locale de calcaire algaire. Le membre B comprend des calcaires

nodulaires avec des bancs de coquilles à Pentaméridés lisses. Le membre C est formé d'un assemblage calcaire péritidaux de grès calcaireux. Finalement, le dernier membre est très semblable au membre B, mais contient localement des Pentaméridés côtelés (Globensky *et al.*, 1993).

##### **Formation de Saint-Léon**

Elle est composée de mudstone, siltstone, grès fin verdâtre, calcaire parfois, en banc épais, de siltstone verdâtre, dolomitique, souvent laminaire, avec une faible quantité de mudstone rouge (Globensky *et al.*, 1993). On y retrouve aussi les membres du Lac des Baies, de Cedar Barn, d'Owl Capes, de ruisseau Louis, de Baldwin et de lac McKay. Ces deux derniers sont d'origine volcanique (Brisebois et Morin, 2004). Elle couvre une grande période de temps géologique, soit du Wenlock supérieur au Lochkovien supérieur.

#### **5.1.4. Groupe des Calcaires Supérieurs de Gaspé**

##### **Formation de Forillon**

De manière générale, cette formation est relativement uniforme dans ce secteur. Elle est composée de wackestone à spicule d'éponge ainsi que de mudstone calcaireux (Brisebois et Morin, 2004).

##### **Formation de Shiphead**

Dans le secteur de la vallée de la Matapédia, la Formation de Shiphead peut être divisée en deux lithofaciès (Brisebois et Morin, 2004). Tout d'abord, un calcaire gris en lits massifs se situe à la base de la formation. Par la suite se retrouve un mudstone gris, fortement bioturbé intercalé avec des petits lits de grès, des conglomérats, des dolomies siliceuses et des calcaires siliceux.

##### **Formation d'Indian Cove**

On y retrouve des calcaires siliceux, gréseux et silteux avec un contenu variable en chert, argile et dolomie (Globensky *et al.*, 1993). Il est aussi possible d'y observer des grès quartzeux ou lithiques, des mudstones et des volcanoclastites. Mise en place lors Praguien tardif, elle est en concordance avec la Formation de Shiphead et la Formation de York Lake ou de York River qui la suivent.

#### **5.1.5. Groupe des Grès de Gaspé**

##### **Formation de York Lake**

Comme le montre la Figure 31, la Formation de York Lake est une unité de transition datant du Praguien supérieur à l'Emsien inférieur entre les Calcaires



## **5.2. Secteur de Gaspé**

### **5.2.1. Nappe du Mont Logan**

#### ***Groupe de Shickshock***

On retrouve les mêmes faciès que dans le secteur de la vallée de la Matapédia. En effet, elle est à nouveau composée de roches métasédimentaires et de roches métavolcaniques.

### **5.2.2. Nappe de la Rivière Ouelle**

#### ***Formation de la Rivière Ouelle***

Elle est caractérisée par des mudstones de couleurs variées en alternance avec des lits de siltstone mis en place à l'Ordovicien précoce. De plus, il est possible d'observer parfois des lits plus gréseux à conglomératiques (Globensky *et al.*, 1993).

### **5.2.3. Groupe de Matapédia**

#### ***Formation de Pabos***

La Formation de Pabos mise en place à l'Ordovicien tardif comprend des roches terrigènes calcaireuses telles des mudstones, des schistes argileux calcaireux, siltstones, grès et conglomérats pétromictiques (Globensky *et al.*, 1993).

### **5.2.4. Groupe de Chaleurs**

#### ***Membre de Griffon Cove***

Il s'agit d'un conglomérat pétromictique datant du Silurien supérieur. Il est en contact avec des roches

cambro-ordoviciennes et ainsi, fait suite à la discordance taconienne et salinique dans la région de Gaspé (Globensky *et al.*, 1993). Il est possible d'y trouver plusieurs fragments rocheux variés, tel du quartz, du chert, des roches extrusives mafiques et felsiques. De plus, on la retrouve en lentilles et appartient à la Formation West Point.

#### ***Formation de West Point***

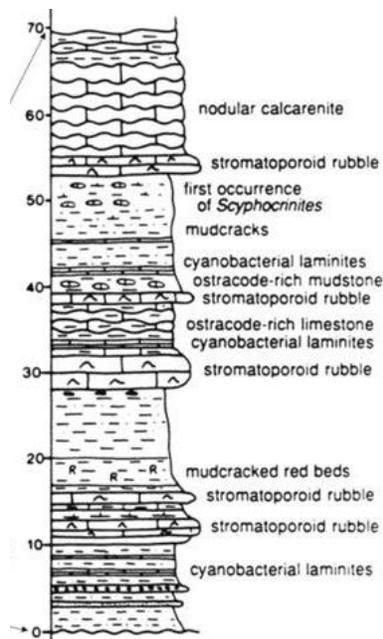
Dans le secteur de Gaspé, la Formation de West Point comprend plusieurs faciès (Figure 32). De manière générale, on y retrouve des mudstones verts et rouges avec des fragments variés de récifs. Il s'agit de faciès très différents que ceux retrouvés au sud de la Gaspésie.

#### ***Formation de Roncelles***

Les sédiments de cette formation ont été déposés suite à l'enfouissement de la discordance salinique par des boues silicoclastiques lors du Lochkovien moyen (Figure 31). Elle est composée de mudstone gris, très calcaireux, en banc épais, ainsi que de schistes argileux et de siltstone gris (Globensky *et al.*, 1993).

#### ***Formation d'Indian Point***

Cette formation est l'équivalent latéral de la partie supérieure du Saint-Léon. En effet, elle est à la suite de la Formation West Point ou de la Formation de Roncelle lorsque celle-ci est présente. Les lithologies la composant sont des mudstones, siltstones, grès fins gris à verdâtres, parfois calcaireux, en banc épais et bioturbé datant du Lochkovien (Globensky *et al.*, 1993). De plus, dans les régions de Forillon et de Percé, la formation se divise en plusieurs membres tel celui de Quay Rock, de Cap Road, de Petit Portage et de Rosebush Cove (Bourque, 2001).



**Figure 32 – Description lithologique détaillée de la Formation de West Point au bord de la route 197.**

Source : Bourque et al. (1989)

#### 5.2.5. Groupe des Calcaires Supérieurs de Gaspé

##### *Formation de Forillon*

Il est possible de séparer cette formation, datant du Praguien inférieur, dans le secteur de Gaspé, en deux membres, soit à la base celui de Chemin du Roy et celui de Gaspé au sommet (Lavoie, 1992b). Le premier est composé de mudstone calcaire et dolomitique. Le second contient des calcaires argileux et siliceux (Brisebois et Morin, 2004).

##### *Formation de Shiphead*

Il s'agit d'un assemblage contenant des calcaires siliceux, chertoux, dolomitiques, des calcarénites glauconitiques et des mudstones dolomitiques (Brisebois et Morin, 2003). Datant du Praguien moyen, elle suit à la Formation Forillon en concordance. Certaines intercalations avec des lits de grès et des volcanoclastites peuvent aussi être observées (Lespérance, 1980a et b).

##### *Formation d'Indian Cove*

On y retrouve des calcaires siliceux et chertoux. En effet, il est possible d'observer des nodules de chert pluridécimétriques (Brisebois et Morin, 2003). De plus, cette formation contient des grès quartzeux et un peu de mudstone siliceux. Comparativement à la Formation d'Indian Cove, qui affleure à la péninsule de Gaspé, celle-ci contient moins de silicoclastites (Brisebois et Morin, 2004).

#### 5.2.6. Groupe des Grès de Gaspé

##### *Formation de York River*

Encore une fois, elle est composée de grès gris verdâtre à grains fins à moyens, feldspathiques et interlités avec des shales verts datés de l'Emsien inférieur à moyen. Par contre, à sa base, le mudstone domine et décroît vers le haut indiquant une progradation du milieu deltaïque (Brisebois et Morin, 2004).

##### *Formation de Battery Point*

De manière générale, il n'y a pas de grande variation entre les secteurs dans la composition de cette formation. En effet, dans la région de Gaspé, il y a seulement une plus grande proportion de conglomérat à grains fins (Brisebois et Morin, 2004).

### Annexe B – Détermination de vraie valeur verticale (true vertical depth)

La vraie valeur verticale d'un forage doit être calculée afin d'appliquer la correction de Harrison. En effet, les forages ont tendance à dévier en profondeur et ainsi former une courbe. Ainsi, l'utilisation de la valeur mesurée dans les calculs surestimera la correction. Les profondeurs auxquelles les angles de déviation varient sont notées dans les rapports de forage (<http://sigpeg.mrn.gouv.qc.ca>). Avec ces données, il est possible de retrouver la vraie valeur verticale du forage en tout point. La formule suivante a été utilisée pour le calcul et elle est aussi schématisée (Figure B.0.1):

$$z_i = z_{i-1} + ((MD_i - MD_{i-1}) \times \cos\theta_{i-1})$$

où  $z_i$  est la vraie valeur verticale de la profondeur

mesurée ( $MD_i$ ) (m)

$z_{i-1}$  est la vraie valeur verticale précédente de la profondeur mesurée précédente ( $MD_{i-1}$ ) (m)

$MD_i$  est la profondeur mesurée du forage à la limite d'un changement d'angle de déviation (m)

$MD_{i-1}$  est la profondeur mesurée du forage à la limite d'un changement d'angle de déviation précédent (m)

$\theta_{i-1}$  est l'angle de déviation précédent ( $^\circ$ )

Une fois la valeur de TVD obtenue, la hauteur entre le niveau du sol et la table de rotation (KB) doit être soustraite. Toutes les mesures de profondeur d'un forage sont faites à partir de la table de rotation qui est surélevée de quelques mètres par rapport au sol. Cette valeur est soustraite après le calcul de la valeur verticale du puits puisqu'il n'y a aucune déviation dans le forage et qu'il s'agit d'une vraie hauteur verticale.

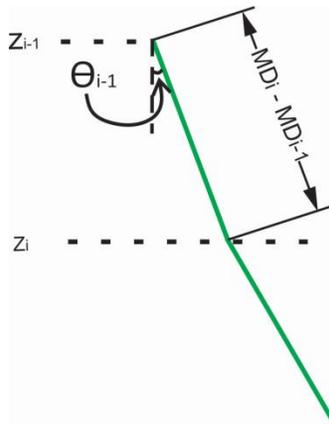


Figure 33 – Description lithologique détaillée de la Formation de West Point au bord de la route 197.

### Annexe C – Correction des mesures de conductivité thermique pour l'utilisation de la sonde à aiguille

Avant de démarrer l'appareil sur les échantillons, il est recommandé de prendre une mesure de conductivité thermique d'un étalon fourni par la compagnie Decagon Devices. Ce dernier a une conductivité connue qui pourra être comparée avec celle prise. De plus, une seconde mesure de l'étalon devra être effectuée à la fin du test afin de calculer l'erreur. La formule suivante montre le calcul de l'erreur sur l'étalon :

$$E = \left( \frac{K_{\text{moy}} - K_{\text{theo}}}{K_{\text{theo}}} \right) \times 100$$

- où  $K_{\text{theo}}$  est la conductivité thermique de l'étalon RK-1 (0,369 W/m·K)  
 $K_{\text{moy}}$  est la conductivité thermique moyenne mesurée de l'étalon (W/m·K)  
 E est l'erreur de l'étalon (%)

Les mesures prises devront être corrigées en fonction de cette erreur. Si l'erreur est supérieure à 10% avant de débiter la prise de mesure, il est préférable d'attendre une heure avant de reprendre une mesure

sur l'échantillon et de continuer le test. De plus, si cette dernière est positive, indiquant une surestimation de la conductivité thermique, cette erreur sera soustraite aux mesures afin d'avoir une valeur plus juste. Le contraire est aussi applicable. La formule suivante calcule la valeur de l'erreur à ajouter ou à soustraire à la valeur moyenne d'un échantillon :

$$E_{\text{ech}} = \left( \frac{E \times K_e}{100} \right)$$

- où  $E_{\text{ech}}$  est l'erreur à soustraire ou à ajouter à conductivité thermique moyenne d'un échantillon (W/m·K)  
 $K_e$  est la conductivité thermique moyenne d'un échantillon (W/m·K)

Suite à la première mesure de l'étalon, il est possible de débiter la prise de mesure sur l'échantillon. Avant d'y insérer la sonde, une pâte à conductivité thermique élevée doit être mise sur la sonde afin d'assurer un bon contact entre l'échantillon et la sonde. Cinq séries de mesures ont été effectuées sur chaque échantillon avec une heure entre chaque mesure. L'appareil prend 10 minutes pour chauffer l'échantillon et ainsi prendre sa mesure, l'enregistre et laisse 50 minutes pour évacuer la chaleur de l'échantillon.

**Annexe D – Résultats de conductivité thermique détaillés**
**Tableau 22 - Résultats détaillés des mesures de conductivité thermique pour le secteur de Gaspé.**

| Formation ou Groupe    | Conductivité (W/mK) | Échantillon  | Moyenne (W/m·K) | Source                        |
|------------------------|---------------------|--------------|-----------------|-------------------------------|
| Fm. Battery Point      | 2,601               | 15-AC-08-A-1 | 2,610           | Sonde à aiguille              |
|                        | 2,618               | 15-AC-08-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. York River         | 2,856               | ----         | 3,275           | Profil C087                   |
|                        | 3,218               | 15-AC-07-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 3,751               | 15-AC-07-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Indian Cove        | 3,142               | 15-AC-06-B-1 | 3,193           | Sonde à aiguille              |
|                        | 3,164               | 15-AC-06-B-3 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 3,081               | 15-AC-06-B-4 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Shiphead           | 2,813               | ----         | 2,805           | Profil C087                   |
|                        | 2,970               | 15-AC-06-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 2,632               | 15-AC-06-A-2 |                 | Plaque chauffante transitoire |
| Fm. Forillon           | 3,127               | ----         | 3,258           | Profil C087                   |
|                        | 3,567               | 15-AC-05-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 3,081               | 15-AC-05-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Indian Point       | 2,769               | ----         | 2,871           | Profil C087                   |
|                        | 2,972               | 15-AC-04-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Roncelles          | 2,171               | 15-AC-03-A-2 | 2,171           | Plaque chauffante transitoire |
| Fm. West Point         | 2,636               | 15-AC-02-A-1 | 3,047           | Plaque chauffante transitoire |
|                        | 3,337               | 15-AC-02-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 3,173               | 15-AC-02-B-1 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 3,044               | 15-AC-02-B-2 |                 | Sonde à aiguille              |
| Mb. Griffon Cove River | 3,183               | 15-AC-01-A-2 | 3,183           | Sonde à aiguille              |
| Fm. Pabos              | 3,160               | 15-AC-11-A-1 | 3,072           | Sonde à aiguille              |
|                        | 2,984               | 15-AC-11-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Rivière Ouelle     | 3,681               | 15-AC-32-A-1 | 3,294           | Plaque chauffante transitoire |
|                        | 3,261               | 15-AC-32-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 2,393               | 15-AC-32-A-3 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 3,053               | 15-AC-33-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
|                        | 4,081               | 15-AC-33-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
| Gr. Shickshock         | 2,595               | 15-AC-28-A-2 | 3,026           | Plaque chauffante transitoire |
|                        | 3,338               | 15-AC-29-A-2 |                 | Plaque chauffante transitoire |
|                        | 2,818               | 15-AC-30-A-1 |                 | Plaque chauffante transitoire |
|                        | 2,546               | 15-AC-31-A-1 |                 | Plaque chauffante transitoire |
|                        | 3,835               | 15-AC-28-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |

**Tableau 23 - Résultats détaillés des mesures de conductivité thermique pour la vallée de la Matapédia.**

| Formation ou Groupe | Conductivité (W/mk) | Échantillon  | Moyenne (W/m·K) | Source                        |
|---------------------|---------------------|--------------|-----------------|-------------------------------|
| Fm. Battery Point   | 4,531               | 15-AC-34-A-1 | 4,118           | Sonde à aiguille              |
|                     | 4,254               | 15-AC-34-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
|                     | 3,569               | 15-AC-34-A-3 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. York River      | 3,923               | 15-AC-26-A-1 | 3,923           | Sonde à aiguille              |
| Fm. York Lake       | 3,897               | 15-AC-21-A-1 | 3,259           | Sonde à aiguille              |
|                     | 3,395               | 15-AC-22-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
|                     | 2,486               | 15-AC-25-A-1 |                 | Plaque chauffante transitoire |
| Fm. Indian Cove     | 3,588               | 15-AC-14-A-1 | 3,578           | Sonde à aiguille              |
|                     | 3,344               | 15-AC-14-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
|                     | 3,801               | 15-AC-23-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Shiphead        | 4,154               | 15-AC-15-A-1 | 3,416           | Sonde à aiguille              |
|                     | 2,679               | 15-AC-15-B-1 |                 | Plaque chauffante transitoire |
| Fm. Forillon        | 2,932               | 15-AC-17-A-2 | 2,932           | Plaque chauffante transitoire |
| Fm. Saint-Léon      | 3,528               | 15-AC-20-A-1 | 3,897           | Sonde à aiguille              |
|                     | 4,452               | 15-AC-20-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
|                     | 4,027               | 15-AC-24-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
|                     | 3,582               | 15-AC-35-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Sayabec         | 4,622               | 15-AC-19-A-2 | 4,652           | Sonde à aiguille              |
|                     | 4,682               | 15-AC-19-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |
| Fm. Val-Brillant    | 7,670               | 15-AC-27-B-1 | 7,670           | Sonde à aiguille              |
| Fm. Cabano          | 4,910               | 15-AC-36-A-1 | 3,869           | Sonde à aiguille              |
|                     | 4,740               | 15-AC-36-A-2 |                 | Sonde à aiguille              |
|                     | 1,957               | 15-AC-37-A-1 |                 | Plaque chauffante transitoire |
| Gr. Shickshock      | 2,595               | 15-AC-28-A-2 | 3,026           | Plaque chauffante transitoire |
|                     | 3,338               | 15-AC-29-A-2 |                 | Plaque chauffante transitoire |
|                     | 2,818               | 15-AC-30-A-1 |                 | Plaque chauffante transitoire |
|                     | 2,546               | 15-AC-31-A-1 |                 | Plaque chauffante transitoire |
|                     | 3,835               | 15-AC-28-A-1 |                 | Sonde à aiguille              |

## Annexe E – Résultats des descriptions pétrographiques

Tableau 24 - Résultats de l'évaluation de la composition minéralogique en lames minces permettant le calcul de la capacité thermique.

| # Échantillon | Nom           | Porosité | Minéralogie |         |          |            |        |         |         |                        |         |           |         |                        |
|---------------|---------------|----------|-------------|---------|----------|------------|--------|---------|---------|------------------------|---------|-----------|---------|------------------------|
|               |               |          | Trémolite   | Épidote | Chlorite | Hornblende | Quartz | Dolomie | Calcite | Argile/<br>plagioclase | Biotite | Muscovite | Orthose | Total<br>minéralogique |
| 15-AC-03-A-2  | wackestone    | 0,01     | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,09   | 0,3     | 0,2     | 0,35                   | 0,05    | 0         | 0       | 0,99                   |
| 15-AC-04-A-1  | mudstone      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,1    | 0,35    | 0,15    | 0,3                    | 0,1     | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-05-A-1  | wackestone    | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,1    | 0       | 0,4     | 0,5                    | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-06-A-2  | wackestone    | 0,02     | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,15   | 0       | 0,5     | 0,33                   | 0       | 0         | 0       | 0,98                   |
| 15-AC-06-B-1  | wackestone    | 0,02     | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,05   | 0       | 0,23    | 0,7                    | 0       | 0         | 0       | 0,98                   |
| 15-AC-06-B-4  | wackestone    | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,1    | 0       | 0,4     | 0,5                    | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-07-A-2  | grès grossier | 0,08     | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,4    | 0       | 0,05    | 0,27                   | 0,05    | 0         | 0,15    | 0,92                   |
| 15-AC-08-A-2  | grès moyen    | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,3    | 0       | 0       | 0,4                    | 0,1     | 0         | 0,2     | 1                      |
| 15-AC-10-A-1  | calcaire      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0      | 0       | 1       | 0                      | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-11-A-2  | mudstone      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,8    | 0       | 0       | 0,2                    | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-14-A-2  | mudstone      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,1    | 0       | 0       | 0,9                    | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-15-A-1  | mudstone      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,05   | 0,3     | 0,2     | 0,4                    | 0,05    | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-17-A-1  | siltstone     | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,1    | 0       | 0,3     | 0,6                    | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-19-A-1  | calcaire      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,02   | 0       | 0,95    | 0                      | 0,03    | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-20-A-2  | grès fin      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,5    | 0,15    | 0,15    | 0,15                   | 0       | 0,05      | 0       | 1                      |
| 15-AC-21-A-1  | grès fin      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,49   | 0       | 0,1     | 0,3                    | 0,1     | 0,01      | 0       | 1                      |
| 15-AC-26-A-1  | grès fin      | 0,03     | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,3    | 0       | 0,05    | 0,32                   | 0,15    | 0         | 0,15    | 0,97                   |
| 15-AC-27-B-1  | quartzite     | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 1      | 0       | 0       | 0                      | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-28-A-2  | métabasalte   | 0        | 0,2         | 0,15    | 0,5      | 0          | 0,1    | 0       | 0,05    | 0                      | 0       | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-29-A-2  | métabasalte   | 0        | 0           | 0,15    | 0,1      | 0,2        | 0,4    | 0,1     | 0       | 0                      | 0,05    | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-32-A-1  | calcaire      | 0,01     | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,3    | 0,24    | 0,3     | 0,05                   | 0       | 0         | 0,1     | 0,99                   |
| 15-AC-33-A-2  | calcaire      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,15   | 0,3     | 0,5     | 0                      | 0,05    | 0         | 0       | 1                      |
| 15-AC-34-A-2  | grès moyen    | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,6    | 0       | 0       | 0,2                    | 0       | 0         | 0,2     | 1                      |
| 15-AC-36-A-2  | grès fin      | 0        | 0           | 0       | 0        | 0          | 0,4    | 0       | 0,1     | 0,25                   | 0,1     | 0         | 0,15    | 1                      |

**Annexe F – Résultats du calcul de la capacité thermique****Tableau 25 - Résultats détaillés du calcul de la capacité thermique calculée.**

| # Échantillon | Gr./Fm.        | Nom           | Conductivité thermique mesurée | Capacité thermique massique de la matrice | Capacité thermique massique de la roche | Masse volumique   | Capacité thermique calculée |
|---------------|----------------|---------------|--------------------------------|---|---|-------------------|-----------------------------|
|               |                |               | W/m.K                          | J/kg.K                                    | J/kg.K                                  | kg/m <sup>3</sup> | J/m <sup>3</sup> .K         |
| 15-AC-03-A-2  | Roncelles      | wackestone    | 2,171                          | 823,1                                     | 835,4                                   | 2736              | 2 285 992                   |
| 15-AC-04-A-1  | Indian Point   | mudstone      | 2,972                          | 829,8                                     | 829,8                                   | 2801              | 2 324 130                   |
| 15-AC-05-A-1  | Forillon       | wackestone    | 3,567                          | 820,0                                     | 820,0                                   | 2724              | 2 233 680                   |
| 15-AC-06-A-2  | Shiphead       | wackestone    | 2,632                          | 795,7                                     | 821,5                                   | 2627              | 2 157 997                   |
| 15-AC-06-B-1  | Indian Cove    | wackestone    | 2,632                          | 812,5                                     | 837,8                                   | 2647              | 2 217 772                   |
| 15-AC-06-B-4  | Indian Cove    | wackestone    | 3,142                          | 820,0                                     | 820,0                                   | 2724              | 2 233 680                   |
| 15-AC-07-A-2  | York River     | grès grossier | 3,751                          | 696,3                                     | 814,7                                   | 2360              | 1 922 547                   |
| 15-AC-08-A-2  | Battery Point  | grès moyen    | 2,618                          | 760,6                                     | 760,6                                   | 2715              | 2 065 029                   |
| 15-AC-10-A-1  | White Head     | calcaire      | 5,070                          | 815,0                                     | 815,0                                   | 2710              | 2 208 650                   |
| 15-AC-11-A-2  | Pabos          | mudstone      | 2,984                          | 760,0                                     | 760,0                                   | 2670              | 2 029 200                   |
| 15-AC-14-A-2  | Indian Cove    | mudstone      | 3,344                          | 830,0                                     | 830,0                                   | 2740              | 2 274 200                   |
| 15-AC-15-A-1  | Shiphead       | mudstone      | 4,154                          | 835,5                                     | 835,5                                   | 2786              | 2 327 285                   |
| 15-AC-17-A-1  | Forillon       | siltstone     | ----                           | 822,5                                     | 822,5                                   | 2728              | 2 243 780                   |
| 15-AC-19-A-1  | Sayabec        | calcaire      | 4,682                          | 812,2                                     | 812,2                                   | 2718              | 2 207 018                   |
| 15-AC-20-A-2  | Saint-Léon     | grès fin      | 4,452                          | 786,8                                     | 786,8                                   | 2717              | 2 137 600                   |
| 15-AC-21-A-1  | York Lake      | grès fin      | 3,897                          | 780,7                                     | 780,7                                   | 2723              | 2 125 846                   |
| 15-AC-26-A-1  | York River     | grès fin      | 3,923                          | 741,3                                     | 781,0                                   | 2601              | 2 031 399                   |
| 15-AC-27-B-1  | Val-Brillant   | quartzite     | 7,670                          | 740,0                                     | 740,0                                   | 2650              | 1 961 000                   |
| 15-AC-28-A-2  | Shickshock     | métabasalte   | 2,595                          | 690,0                                     | 690,0                                   | 2911              | 2 008 099                   |
| 15-AC-29-A-2  | Shickshock     | métabasalte   | 3,338                          | 740,5                                     | 740,5                                   | 2903              | 2 149 672                   |
| 15-AC-32-A-1  | Rivière Ouelle | calcaire      | 3,682                          | 780,1                                     | 792,9                                   | 2677              | 2 122 835                   |
| 15-AC-33-A-2  | Rivière Ouelle | calcaire      | 4,081                          | 818,0                                     | 818,0                                   | 2764              | 2 260 543                   |
| 15-AC-34-A-2  | Battery Point  | grès moyen    | 4,254                          | 737,6                                     | 737,6                                   | 2660              | 1 962 016                   |
| 15-AC-36-A-2  | Cabano         | grès fin      | 4,739                          | 758,7                                     | 758,7                                   | 2709              | 2 054 939                   |

## Annexe G – Résultats détaillés du calcul de ressource

**Tableau 26 - Résultats détaillés du calcul de ressource pour la vallée de la Matapédia.**

| Zone        | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | surface couverte (%)           |                      |       | Capacité thermique (J/m <sup>3</sup> )*K |                      |           |                  | $\Delta T$ (°C) | $q_{tot}$ (J/m) | Largeur du profil (m) | $Q_{rec}$ (MJ) | $P_e$ (MWe) | $n_{th}$ (%) |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------|--|----------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|-------------|--------------|
|             |                               | Cambo-ordovicien indifférencié | Groupe de Shickshock | Socle | Cambo-ordovicien indifférencié           | Groupe de Shickshock | Socle     | Moyenne pondérée |                 |                 |                       |                |             |              |
| 150°C-170°C | 43 238 788                    | 78,2                           | 21,8                 | ----  | 2 099 820                                | 2 037 920            | 2 000 000 | 2 086 326        | 157             | 1,42E+16        | 20 000                | 3,61E+12       | 481,51      | 12,6         |
| 170°C-190°C | 38 738 424                    | 74,6                           | 13,6                 | 11,8  |  |                      |           | 2 079 623        | 177             | 1,43E+16        |                       | 3,22E+12       | 493,66      | 14,5         |
| Anomalie    | 18 394 286                    | 76,4                           | 17,7                 | 5,9   |  |                      |           | 2 082 975        | 167             | 6,39E+15        |                       | 1,53E+12       | 219,65      | 13,6         |

**Tableau 27 - Résultats détaillés du calcul de ressource pour la région de Gaspé.**

| Zone        | Aire totale (m <sup>2</sup> ) | surface couverte (%)           |       | Capacité thermique (J/m <sup>3</sup> )*K |           |                  | $\Delta T$ (°C) | $q_{tot}$ (J/m) | Largeur du profil (m) | $Q_{rec}$ (MJ) | $P_e$ (MWe) | $n_{th}$ (%) |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|--|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|-------------|--------------|
|             |                               | Cambo-ordovicien indifférencié | Socle | Cambo-ordovicien indifférencié           | Socle     | Moyenne pondérée |                 |                 |                       |                |             |              |
| 150°C-170°C | 24 318 666                    | 73,5                           | 26,5  | 2 099 820                                | 2 000 000 | 2 073 368        | 157             | 7,91E+15        | 20 000                | 2,02E+12       | 269,13      | 12,6         |
| 170°C-190°C | 23 085 111                    | 7,8                            | 92,2  |  |           | 2 007 786        | 177             | 8,20E+15        |                       | 1,85E+12       | 284,02      | 14,5         |
| Anomalie    | 7 215 000                     | 69,4                           | 30,6  |  |           | 2 069 275        | 167             | 2,49E+15        |                       | 5,97E+11       | 85,59       | 13,6         |