

Rapport

Géothermie profonde : grille de sélection de sites géothermiques

IREQ-2016-0023 Niveau de confidentialité : Public

Mars 2016

Géothermie profonde : grille de sélection de sites géothermiques

IREQ-2016-0023 Niveau de confidentialité : Public

Auteurs : Marc-André Richard, Félix-Antoine Comeau, Karine Bédard, Michel Malo

Collaborateurs : Jasmin Raymond, James Kendall, Vasile Minea, Claude Laflamme, Bernard Giroux, François Mathieu-Potvin

Chargé de projet : Vasile Minea et James Kendall

Réalisé dans le cadre du projet : Intégration de la géothermie profonde dans le portefeuille énergétique canadien

No du projet : J-6993

Requérant : Plateforme Stratégique

Approuvé par :

Raouf Naggar

Chef – Développement stratégique

Institut de recherche d'Hydro-Québec

© INRS, Centre - Eau Terre Environnement, 2016
Tous droits réservés

ISBN : 978-2-925559-13-9 (version numérique)

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2025

Sommaire

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats d'une grille d'analyse qui a été construite afin d'identifier les sites qui sont les plus favorables à la production d'électricité géothermique au Québec. Ce travail a été effectué dans le cadre du projet *Géothermie profonde* de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec, qui est lié à l'initiative *ÉcoÉNERGIE Intégration de la géothermie profonde dans le portefeuille énergétique canadien*. Il a été réalisé de concert avec une équipe de l'INRS. La grille d'analyse regroupe 13 critères, dont cinq portent sur la qualité de la ressource et huit sur des aspects techniques, économiques ou sociaux. Ces critères sont analysés avec une méthodologie attribuant une cote à partir « d'éléments observables » avec les données disponibles.

Parmi les neuf sites analysés, les sites du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent se démarquent en raison de la qualité de la ressource et de la présence d'infrastructures et de marchés à proximité. Le site # 3 L'Érable, qui offre l'indice de priorisation le plus élevé, a l'avantage d'être l'emplacement dans le modèle du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent où la couche de sédiments moins conductrice est la plus épaisse. Le gradient de température le plus élevé du modèle du bassin est celui du site d'Arthabaska (#1). L'anomalie thermique située près de Gaspé (#7) offre également un bon potentiel en raison de la qualité de la ressource mais l'incertitude quant au niveau de température y est élevée. De façon générale, les sites identifiés sont peu favorables à la réalisation d'un projet pilote d'envergure pour la production d'électricité géothermique à court terme, notamment en raison des grandes profondeurs requises (gradients de température généralement sous les 25 °C/km), de l'incertitude au niveau de la température et du risque au niveau du développement de réservoirs. L'analyse et le constat présentés dans ce rapport s'appliquent à la production d'électricité géothermique et non à la production de chaleur.

Lorsque des conditions permettront d'envisager à plus court terme un projet de démonstration, telles que la diminution du coût des forages profonds, le développement d'expertise pour la création de réservoirs géothermiques dans le socle (à l'aide de la fracturation et de la stimulation), une évaluation plus poussée des critères sera requise. Dans l'attente, davantage de données sont nécessaires afin de réduire l'incertitude liée à la qualité des ressources en place et d'acquérir des informations stratégiques pour quantifier le potentiel géothermique du Québec. Les sites #1 et #3 au sud est des Basses-Terres-du-Saint-Laurent sont sans doute parmi les premiers endroits où la collecte de données supplémentaires devrait être priorisée. Ces données pourraient être recueillies d'abord à une profondeur intermédiaire à celle des réservoirs, puis elles devront l'être aux profondeurs envisagées pour la valorisation de la ressource.

Table des matières

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : MÉTHODOLOGIE.....	3
1.1 Cotes	3
1.2 Critères	3
1.2.1 Critères sur la qualité de la ressource.....	4
1.2.2 Autres critères techniques, à incidence économique ou à incidence sociale	9
CHAPITRE 2 : SÉLECTION DES SITES	17
Site # 1 : Arthabaska	19
Site # 2 : Lotbinière	19
Site # 3 : L'Érable	19
Site # 4 : Maskoutains	19
Site # 5 : Brossard	19
Site # 6 : La Mitis	20
Site # 7 : Gaspé	20
Site # 8 : Îles-de-la-Madeleine-Fatima	20
Site # 9 : Anticosti-Arco	20
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	21
CHAPITRE 4 : CONCLUSION	25
RÉFÉRENCES	27
ANNEXE A : ÉVALUATION DES SITES.....	29
Site # 1 : Arthabaska	29
Site # 2 : Lotbinière	34
Site # 3 : L'Érable	39
Site # 4 : Maskoutains	43
Site # 5 : Brossard	47
Site # 6 : La Mitis	51
Site # 7 : Gaspé	55
Site # 8 : Îles-de-la-Madeleine.....	59
Site # 9 : Anticosti-Arco	63

Liste des figures

Figure 2-1 : Sites jugés prometteurs	18
Figure A-1 : Arthabaska (site #1)	29
Figure A-2 : Lotbinière (site #2).....	34
Figure A-3 : L'Érable (site #3)	39
Figure A-4 : Maskoutains (site #4)	43
Figure A-5 : Brossard (site #5)	47
Figure A-6 : La Mitis (site #6)	51
Figure A-7 : Gaspé (site #7)	55
Figure A-8 : Îles-de-la-Madeleine (site #8).....	59
Figure A-9 : Anticosti-Arco (site #9)	63

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Signification des cotes utilisées dans la grille de sélection des sites	3
Tableau 3-1 : Grille de sélection des sites géothermiques	24

Introduction

Le développement de la géothermie profonde stimulée pour la production d'électricité (*Enhanced geothermal system*, EGS) permet d'envisager l'exploitation de la filière géothermique dans des environnements ne présentant pas naturellement tous les éléments nécessaires à la géothermie hydrothermale conventionnelle (chaleur, fluide et environnement géologique perméable) et de valoriser l'immense quantité d'énergie thermique accumulée dans le sous-sol. Aux États-Unis, on évalue le potentiel de développement de la géothermie profonde à 100 000 MW_é d'ici 2050 [TES06]. Bien que le Québec ne se situe pas dans une zone de « haute qualité », où le gradient géothermique est élevé, il devient malgré tout stratégique d'en évaluer le potentiel de production d'électricité géothermique et la faisabilité d'une telle centrale sur son territoire.

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du projet J-6993 *Géothermie profonde* de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec qui est lié à l'initiative *ÉcoÉNERGIE Intégration de la géothermie profonde dans le portefeuille énergétique canadien*. Ce projet a débuté le 1^{er} avril 2013 et se termine officiellement le 31 mars 2016. Il vise à développer les connaissances et les expertises préalables à la réalisation d'un projet expérimental en géothermie profonde au Québec. Les principaux objectifs sont les suivants :

- Caractériser le potentiel de la géothermie profonde pour la production d'électricité au Québec et dans l'est du Canada ;
- Identifier et caractériser les régions et les sites favorables à l'exploitation future de la géothermie profonde et étudier des sites potentiels pour un projet expérimental ;
- Développer des connaissances et des expertises dans le domaine de la géothermie profonde assurant le développement de cette filière énergétique en vue de la réalisation d'un projet expérimental ;
- Définir les bases scientifiques, techniques, économiques et réglementaires d'un projet expérimental.

Ce rapport présente une grille d'analyse de sites géothermiques potentiels qui a été développée pour identifier et pondérer les sites favorables à l'exploitation géothermique au Québec. Ce document détaille la nature des critères, les éléments observables ainsi que les échelles derrière les cotes attribuées dans la grille d'analyse de sites géothermiques. Les critères ont été élaborés en vue de positionner les sites pour un projet de démonstration ou d'exploitation commerciale pour la production d'électricité sur le territoire du Québec. Neuf sites ont été évalués, dont plusieurs font

l'objet d'une analyse pour différents niveaux de profondeur. Les objectifs dans la réalisation de cette grille à cette étape du projet sont les suivants :

- Établir une méthodologie basée sur une grille d'analyse dans une optique de recherche et de sélection de sites géothermiques, adaptée au Québec et à l'est du Canada, comprenant autant des critères sur la qualité de la ressource que des critères sociaux ou à incidence économique.
- Analyser divers sites d'intérêt afin de les comparer entre eux de façon relative, mais aussi de valider leur qualité pour un projet expérimental de démonstration ou d'exploitation commerciale de façon absolue.
- Identifier les informations manquantes pour une prise de décision éclairée.

Ce travail fait suite à la réalisation de la cartographie des ressources géothermiques du Québec effectuée par une équipe de l'INRS au travers d'un projet intitulé *Potentiel de la géothermie profonde au Québec*,¹ mené dans le cadre du programme Initiatives stratégiques pour l'innovation du Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FQRNT) qui a été menée dans le cadre de ce projet.

La réflexion sur le contenu de cette grille a été entamée lors d'une réunion de travail le 25 septembre 2015 entre des membres de l'INRS, l'IREQ et l'Université Laval.² Nous présentons ici la méthodologie, l'analyse des sites et les résultats des travaux.

¹ Début officiel le 13 avril 2013, fin prévue le 30 avril 2016

² Rencontre coordonnée par Marc-André Richard (IREQ) ; personnes présentes : Jasmin Raymond (INRS), Michel Malo (INRS), Bernard-Giroux (INRS), François Mathieu-Potvin (Université Laval), Vasile Minea (IREQ), Marc-André Richard (IREQ).

Chapitre 1 : Méthodologie

Cette section détaille la nature des critères évalués dans la grille de sélection ainsi que la méthode d'évaluation du pointage. C'est la somme des cotes qui permettra de déterminer l'indice de priorisation global.

1.1 Cotes

Le Tableau 1-1 présente le pointage attribué à chacune des cotes attribuées aux critères ainsi que leur signification. Cette approche est librement inspirée de travaux menés pour l'évaluation des ressources géothermiques en Colombie-Britannique [KER15]. Il est à noter que pour certains critères importants, un facteur multiplicatif a été utilisé.³

Tableau 1-1 : Signification des cotes utilisées dans la grille de sélection des sites

Cote	Pointage	Description
+ ou ++	+1 ou +2	Positif/bon ou très positif / très bon : prometteur, aucun impact négatif apparent sur le projet
	0	Neutre : enjeu résiduel existant pouvant être résolu ou mitigé
	-1	Négatif : enjeu important difficile à mitiger et risquant d'avoir un impact sur le projet
	Site éliminé	Barrière majeure : enjeu ne pouvant être résolu ou mitigé, site à exclure

1.2 Critères

Cette sous-section décrit chacun des critères et détaille la façon dont ils sont évalués dans la grille à partir d'un élément observable. L'évaluation est appelée à évoluer à mesure que l'information disponible augmente. Les critères ont été séparés en deux catégories : les critères sur la qualité de la ressource et les autres critères techniques, à incidence économique ou à incidence sociale.

³ Le pointage des critères #1 et #2 sont multipliés par un facteur 3 et le pointage du critère # 3 est multiplié par un facteur 2 dans le calcul de l'indice de priorisation.

1.2.1 Critères sur la qualité de la ressource

Critère	#1 - Niveau de température	
Description et justification	<p>Le niveau de température du réservoir est l'élément le plus critique dans la détermination de la puissance électrique produite. D'abord, elle dicte l'efficacité de conversion électrique atteinte par la centrale géothermique. Ensuite, pour un débit de fluide géothermique donné, la puissance thermique extractible sera directement proportionnelle à la différence entre la température du fluide produit et celle du fluide réinjecté.</p> <p>Bien que ce soit la température du fluide produit à la surface qui dictera les performances de la centrale, la température initiale du réservoir géothermique en question est l'élément observable le plus pratique à analyser. Selon les calculs effectués avec un outil de simulation de systèmes géothermiques améliorés [RIC16], la température initiale d'un réservoir géothermique EGS doit être supérieure à 120 °C pour espérer produire de l'électricité, et il est souhaitable qu'elle dépasse les 150 °C, voire 175 °C.</p> <p>Étant donné que la température des puits à l'équilibre est rarement disponible, la température du site sera basée sur les extrapolations faites à partir des valeurs de température corrigées par des méthodes reconnues [BLA10, JES90, HAR83, KEH70].</p> <p>Étant donné son importance, un facteur multiplicatif de 3 est appliqué au pointage de ce critère dans le calcul de l'indice de priorisation.</p>	
Élément observable	Température du réservoir (valeur corrigée)	
Cote	++	≥ 180 °C et plus
	+	≥ 160 °C à < 180 °C
	○	≥ 140 °C à < 160 °C
	-	≥ 120 °C à < 140 °C
	◆	< 120 °C

Critère	#2 - Niveau de profondeur
Description et justification	<p>Le coût de forage des puits géothermiques peut représenter plus de 60 % du coût en capital d'un projet de géothermie EGS [TES06]. Bien qu'il soit possible de forer à 7 km, voire bien davantage, le coût de forage augmente de façon exponentielle avec la profondeur. Bien que des forages de plus de 9000 m, voire davantage, aient déjà été réalisés pour l'exploration pétrolière et gazière, les forages géothermiques effectués jusqu'à maintenant se sont limités à environ 5000 m [LUK14].</p> <p>La profondeur du réservoir est donc un paramètre critique de la qualité de la ressource géothermique.</p> <p>Étant donné son importance, un facteur multiplicatif de 3 est appliqué au pointage de ce critère dans le calcul de l'indice de priorisation.</p>
Élément observable	Profondeur au bas du réservoir considéré
	+
	○
	-
	◆

Critère	#3 - Caractéristiques lithologiques			
Description et justification	<p>Les bassins sédimentaires du sud du Québec pourraient comporter des ressources géothermiques hydrothermales au sein des roches sédimentaires du bassin, mais également à des ressources liées à des systèmes stimulés par fracturation hydraulique de type « <i>Enhanced Geothermal System</i> » (EGS). Le socle cristallin sous-jacent se limite aux ressources de type EGS.</p> <p>Un système géothermique hydrothermal doit contenir un fluide chaud dans une roche perméable et poreuse, c'est à dire une roche ayant un potentiel réservoir (au sens d'un système pétrolier). Dans certains cas, une roche réservoir avec une perméabilité naturelle pourra fournir un bon débit sans recourir à la fracturation hydraulique afin d'alimenter un système binaire en surface pour la génération d'électricité. Dans le cas d'un système stimulé de type EGS, il faudra créer une perméabilité artificielle ou augmenter la perméabilité naturelle par fracturation hydraulique. Il est à noter que plus le réservoir est fracturé, plus la chaleur qui y est contenue est accessible.</p> <p>Les types de roches des sites analysés sont donc catégorisés en fonction de leur potentiel de roche réservoir naturel. Les grès, possédant une perméabilité naturelle, ont été établis comme étant les meilleures roches réservoirs, suivis ensuite des calcaires et des dolomies. Les roches silicoclastiques à grain fin (mudstones, shales, et siltstones), puis les roches métamorphiques et ignées du socle obtiennent la moins bonne cote.</p> <p>Étant donné son importance, un facteur multiplicatif de 2 est appliqué au pointage de ce critère dans le calcul de l'indice de priorisation.</p>			
Élément observable	Types de roches composant la formation			
Cote	+	Grès/conglomérats		
	○	Calcaires/dolomies		
	-	Mudstones/shales/siltstones, schistes, roches métamorphiques et ignées		
	✗	Non applicable		

Critère		#4 – Incertitude liée à la géologie du site
Description et justification		<p>Le niveau d'incertitude quant à la géologie (géométrie, structure, lithologie...) d'un site peut être très variable selon la qualité et le nombre de données qui ont été utilisées. Cela affectera le risque lié aux choix du site. Le niveau d'incertitude est relatif et vise à comparer les sites entre eux. À ce stade du projet, en aucun cas un projet pilote n'est envisageable sans une caractérisation plus approfondie des sites répertoriés.</p> <p>Les puits forés dans le passé servent de base à la cueillette de l'information qui a permis la création du modèle géologique et l'évaluation des propriétés géologiques du site. Plus les puits sont profonds et s'approchent des zones évaluées, plus l'incertitude liée à la géologie du site diminue.</p>
Élément observable		Nombre de puits forés dans un rayon de 25 km autour du site dont la profondeur est supérieure à 500 mètres.
Cote	+	> 3
	○	2-3
	-	1
	◆	Aucun

Critère		#5 – Incertitude liée à la température du site
Description et justification		<p>L'incertitude quant au niveau de la température pour un site peut être très variable selon la qualité et le nombre des données qui ont été utilisés. Cela affectera le risque lié au choix du site. Le niveau d'incertitude est relatif et vise à comparer les sites entre eux. À ce stade du projet, en aucun cas un projet pilote n'est envisageable sans une caractérisation plus approfondie des sites répertoriés.</p> <p>Les puits forés dans le passé servent de base à la cueillette de l'information qui a permis l'estimation de la température du site. Plus les données de température sont profondes et s'approchent des zones évaluées, plus l'incertitude diminue.</p>
Élément observable		Présence de données de température mesurée à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site (ou à l'intérieur de la zone d'anomalie s'il y a lieu) qui appuient la valeur extrapolée.
Cote	+	Oui
	-	Non

1.2.2 Autres critères techniques, à incidence économique ou à incidence sociale

Critère		#6 – Représentativité du site	
Description et justification		<p>Il est bon que le site choisi soit représentatif de ce qui peut être retrouvé ailleurs au Québec afin qu'un projet de démonstration mène vers la valorisation d'un potentiel important. Une anomalie thermique singulière peut être une ressource de grande qualité, mais si les résultats d'un projet de démonstration ne peuvent pas être réutilisés à plus grande échelle, le site a moins de valeur. Idéalement, la représentativité pourrait être calculée comme étant le potentiel de production d'électricité en MW de sites équivalents au Québec. Pour simplifier l'analyse, la représentativité du site équivaut ici à la superficie du bassin ayant des caractéristiques similaires au site évalué. Ainsi, nous avons calculé la superficie du bassin pour laquelle la cote pour les trois premiers critères était conservée, soit la température, la profondeur et les caractéristiques lithologiques.</p> <p>Note : en attribuant une valeur arbitraire de puissance $1 \text{ MW}_{\text{el}}/\text{km}^2$ de réservoir et un facteur selon lequel 10 % du territoire peut être valorisé, on arrive, par exemple, à environ 1 MW_{el} par 10 km^2.</p>	
Élément observable		Superficie du bassin ayant des caractéristiques comparables au site analysé	
Cote	+	$\geq 2000 \text{ km}^2$ et plus	
	○	≥ 200 à $< 2000 \text{ km}^2$	
	—	$< 200 \text{ km}^2$	
	◆	Non applicable	

Critère	#7 – Risques liés à la sismicité		
Description et justification	<p>La sismicité induite par la stimulation hydraulique du réservoir ou même par la circulation des fluides peut être critique si des failles sont traversées par les forages géothermiques. Le déclenchement d'événements pouvant générer des dommages aux bâtiments ou même porter atteinte à la sécurité de la population est hors de question dans un projet de géothermie. Un protocole a d'ailleurs été développé pour évaluer et gérer les effets de la sismicité induite relative à des projets de géothermie EGS [MAJ12].</p> <p>Les données historiques de sismicité pour le Québec [RNC16] ne permettent pas d'exclure un site actuellement visé par l'étude. Ce critère n'a donc pas été évalué à ce stade. Il faut toutefois mentionner qu'un site dans la zone sismique de Charlevoix (ou du Bas-Saint-Laurent [LAM03]) serait à exclure.</p>		
Élément observable	Non applicable pour le moment		
Cote	+	Non applicable pour le moment	
	○	Non applicable pour le moment	
	–	Non applicable pour le moment	
	◆	Non applicable pour le moment	

Critère		#8 – Disponibilité de ressources en eau
Description et justification		<p>Un système géothermique fera usage d'eau au moment du forage, de la stimulation hydraulique et de l'opération. La pointe d'utilisation d'eau se situe lors de la stimulation hydraulique et la demande peut monter à une valeur de l'ordre de 10 000 m³/jour pendant quelques jours [CLA11]. Pendant l'opération de la centrale, il est possible qu'un débit d'eau d'appoint soit nécessaire pour compenser des pertes en surface ou dans les formations géologiques de façon à maintenir la pression du réservoir (de 2 % à 4 % pour les centrales binaires EGS selon [CLA11]). Selon cette hypothèse, un système géothermique dans lequel circule 100 kg/s de fluide géothermique aurait donc besoin jusqu'à environ 350 m³/jour. Pour le refroidissement par une tour d'eau d'une centrale ayant une efficacité de conversion de 10 %, la consommation risque de monter à environ 18 m³/h par MW_{el} (2 m³/h par MW_{th}). Au total, l'opération d'un système géothermique d'un MW_{el} pourrait nécessiter jusqu'à environ 800 m³/jour. Il s'agit d'un maximum, car il est possible que l'apport en eau pour le maintien du réservoir soit beaucoup plus faible. Des technologies de refroidissement à l'air peuvent éliminer le besoin d'eau pour l'opération de la centrale.</p> <p>Selon le <i>Règlement sur les habitats fauniques, Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune</i>, un prélèvement ne doit pas dépasser 15 % du débit du cours d'eau à l'endroit où le prélèvement est effectué. En assumant que seulement 10 % de cette part de 15 % peut être utilisé pour une centrale géothermique, il serait possible de prélever jusqu'à 1300 m³/jour pour chaque portion de 1 m³/s du débit d'un cours d'eau.</p>
Élément observable		Débit de cours d'eau à proximité du site envisagé (à l'intérieur du périmètre analysé). Une partie de l'eau disponible peut, par exemple, être de l'eau salée. En cas de présence de lacs seulement, évaluer la quantité d'eau pouvant être prélevée.
Cote	+	≥ 10 m ³ /s
	○	Cours d'eau ayant un débit ≥ 1 m ³ /s à < 10 m ³ /s
	-	Absence de cours d'eau ayant un débit supérieur à 1 m ³ /s
	◆	Absence de cours d'eau sur le territoire concerné combiné à un manque d'eau dans la communauté environnante

Critère	#9 – Présence d'infrastructures			
Description et justification	<p>La présence d'infrastructures (routes, villes, réseau électrique de distribution, etc.) à proximité du site a un impact sur les coûts du projet ainsi que sur la facilité avec laquelle on pourra gérer certains risques. Par exemple, la présence d'une ville importante à proximité implique également une présence importante d'infrastructures de traitement des eaux.</p> <p>Voici une liste d'éléments à observer :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proximité avec une ville de plus de 50 000 habitants ou encore une « ville de services » importante (indiquer la distance ou le temps de transport). - Proximité avec une communauté. - Présence d'un réseau de distribution électrique : une centrale inférieure à 5 MW peut être reliée directement au réseau de distribution. La présence d'une ligne de transport d'électricité à proximité pourrait éventuellement constituer un avantage si on considère un grand site avec plusieurs puits exploités. - Présence d'autoroutes, de routes principales ou de routes secondaires dans la région. - Possibilité d'accéder au site, peu de restrictions à l'accès. - Présence d'un port, d'une ligne de chemin de fer ou d'un aéroport à proximité. 			
Élément observable	Présence ou absence d'infrastructures décrites ci-haut			
Cote	+	Site réunissant la plupart des éléments d'infrastructure mentionnés		
	○	Certains éléments d'infrastructure manquent, mais il s'agit d'une entrave ou un inconvénient qu'il est possible de mitiger lors d'un projet d'implantation		
	-	Plusieurs éléments d'infrastructure manquent et il s'agit d'une entrave importante et difficile à mitiger lors d'un projet d'implantation		
	✗	Non applicable		

Critère		#10 – Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »
Description et justification		La demande en électricité est un moteur de développement de sources renouvelables alternatives. Avec ses installations hydroélectriques, Hydro-Québec est en mesure de bien répondre au besoin actuel et à moyen terme en énergie dans son réseau intégré. La croissance des besoins dans les réseaux autonomes du nord du Québec est davantage soutenue et la production d'électricité y est habituellement faite par des combustibles fossiles. D'autre part, pour soutenir le développement du nord de la province (Plan Nord) dans des régions non reliées au réseau intégré, il pourrait être intéressant de développer de nouvelles sources d'approvisionnement en énergie renouvelable.
Élément observable		Présence d'un débouché pour l'électricité
Cote		À proximité d'un réseau autonome ou dans une zone à haut potentiel de développement hors du réseau intégré d'Hydro-Québec.
		Relié au réseau intégré d'Hydro-Québec.
		Non applicable
		Aucun réseau à proximité, aucun intérêt pour du développement

Critère		#11 – Marché pour l'utilisation de la chaleur
Description et justification		<p>Un système géothermique peut avantageusement combiner la production d'électricité et la production de chaleur. Après avoir permis de produire de l'électricité, le fluide géothermique pourrait passer dans un second réseau d'échangeurs de chaleur pour valoriser l'énergie thermique résiduelle avant d'être réinjecté dans le puits d'injection. Une centrale d'un mégawatt électrique pourrait produire, par exemple, quelques mégawatts thermiques. D'autre part, la production de chaleur peut constituer une utilisation de rechange advenant le cas où la qualité de la ressource n'est pas au rendez-vous pour la production d'électricité.</p> <p>Les principales utilisations directes de la chaleur géothermique sont le chauffage de bâtiments, le chauffage de serres, l'aquaculture, le chauffage de piscines ainsi que les applications industrielles [LUN15]. Les applications industrielles qui utilisent la chaleur géothermique (production de papier, séchage du bois ou de produits agroalimentaires, etc.) nécessitent généralement une température dépassant les 100 °C, mais l'aquaculture et le chauffage de piscine nécessitent une température beaucoup plus accessible (fluide réinjecté après utilisation à environ 40 °C) [OIT05].</p> <p>La présence actuelle ou potentielle des utilisateurs suivants pourrait constituer un avantage :</p> <ul style="list-style-type: none"> Grands bâtiments (utilisation jusqu'à quelques MW_{th}) Serres (utilisation jusqu'à quelques MW_{th}) Aquaculture (par exemple, 500 kW_{th}) Piscines publiques chauffées (de l'ordre de 350 kW_{th})
Élément observable		Présence actuelle ou potentielle d'utilisateurs de la chaleur (voir exemples mentionnés ci-haut) à proximité du site d'implantation
Cote	+	Présence de plusieurs utilisateurs potentiels identifiés (totalisant plusieurs MW _{th})
	○	Présence d'utilisateurs potentiels de chaleur envisageable
	–	Probabilité faible ou nulle de retrouver des utilisateurs de chaleur
	◆	Non applicable

Critère		#12 – Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité
Description et justification		<p>Le développement d'un projet de démonstration d'une centrale de géothermie profonde doit être compatible avec les usages existants du territoire.</p> <p>Entre autres, la présence des éléments suivants doit être analysée :</p> <ul style="list-style-type: none"> Parc, territoire protégé ou espèces en danger Zone densément peuplée Réserve indienne Région/paysage d'intérêt touristique ou culturel Un autre parti est titulaire de droits (claim, bail ou concession) Site à l'intérieur d'une zone d'alimentation d'installation de captage d'eau souterraine d'un système d'aqueduc municipal ou à moins de 200 m d'une installation de captage d'eau souterraine d'une municipalité, d'une institution d'enseignement, de santé et de services sociaux, d'un aqueduc privé (voir <i>Règlement sur le captage des eaux souterraines</i>) Toute autre activité en surface non compatible avec la géothermie profonde Spécificité du terrain rendant impossible la présence d'une centrale géothermique <p>L'importance du conflit d'usage doit être analysée au cas par cas.</p>
Élément observable		Liste des conflits d'usage potentiels dans le site concerné et analyse de l'importance de chacun
Cote	+	Aucun conflit d'usage apparent risquant d'avoir un impact négatif sur le projet
	○	Conflit d'usage représentant un enjeu pouvant être résolu ou mitigé
	-	Conflit d'usage représentant un enjeu important difficile à mitigé et risquant d'avoir un impact sur le projet
	◆	Conflit d'usage représentant un enjeu ne pouvant être résolu ou mitigé

Critère	#13 – Acceptabilité sociale	
Description et justification	<p>L'acceptabilité du projet par la communauté est une condition à tout projet de géothermie profonde.</p> <p>Dans le cadre du projet, l'INRS a commandé un sondage intitulé « Connaissance et perception des Québécois à l'égard de la géothermie profonde » et qui a été mené auprès de 1353 Québécois et Québécoises [MOU14, MAL15]). À la question « <i>Dans le cas où la fracturation hydraulique serait nécessaire, quelle serait votre opinion sur l'implantation d'un projet-pilote de géothermie profonde pour produire de l'électricité dans votre région ?</i> »</p> <p>Par région, le taux de gens qui se sont déclarés favorables a été de :</p> <ul style="list-style-type: none"> Région de Québec (région métropolitaine de recensement) : 71% Région de Montréal (région métropolitaine de recensement) : 53% Centre du Québec : 55 % Reste du Québec : 56 % <p>D'autre part, plus la population directement affectée par le projet est importante, plus le risque d'opposition est élevé. La présence locale de groupes d'opposition connus à ce type de projet (ex. : projets pétroliers, gaz de schiste) doit également être prise en compte.</p> <p>Bien que des indications soient disponibles quant à l'acceptabilité sociale d'un projet, une étude spécifique est nécessaire avant de fournir une cote pour ce critère.</p>	
Élément observable	Non disponible à cette étape	
Cote	+	Non disponible à cette étape
	○	Non disponible à cette étape
	—	Non disponible à cette étape
	◆	Non disponible à cette étape

Chapitre 2 : Sélection des sites

Cette section présente les sites jugés prometteurs et sélectionnés pour une analyse. Ces derniers ont été sélectionnés suite à la cartographie des ressources géothermiques du Québec [BED15, MAJ13]. Les coordonnées exactes réfèrent souvent à des forages ou des points d'intérêt pour les ressources géothermiques. En pratique, si un site est envisagé plus sérieusement, il pourra être repositionné légèrement pour correspondre à des contraintes quant à l'utilisation de la ressource, les infrastructures ou des conflits d'usage du territoire. La Figure 2-1 illustre la position de ces sites sur la carte qui montre les trois provinces géologiques du sud du Québec : le Grenville (Bouclier canadien), la plate-forme du Saint-Laurent, et les Appalaches. La plate-forme du Saint-Laurent se divise en deux bassins, celui cambro-ordovicien (C-O) des Basses-Terres du Saint-Laurent, entre Québec et Montréal, et celui ordovicien-silurien (O-S) d'Anticosti dans le golfe du Saint-Laurent (Figure 2-1). La province des Appalaches comprend les trois bassins suivants : cambro-ordovicien (C-O) des Appalaches, siluro-dévonien (S-D) de la Gaspésie et permo-carbonifère (P-C) de Madeleine (Figure 2-1). Malgré que les sites #1 et #3 se trouvent en surface dans le bassin des Appalaches (Figure 2-1), ils atteignent en profondeur le bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent (Figure 2-2). Le bassin des Appalaches se situe au-dessus de la Ligne Logan (Figure 2-2), une faille de chevauchement majeur dont le tracé en surface marque la frontière nord-ouest de la province géologique des Appalaches (Figure 2-1). Le bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent se poursuit donc en sous-surface au sud-est de la Ligne Logan (Figures 2-1 et 2-2). De la même manière, le bassin S-D de la Gaspésie repose sur les roches plus vieilles du bassin C-O des Appalaches et ce dernier bassin se poursuit en sous-surface au sud-est de la limite nord-ouest du bassin (Figure 2-1).

Pour plusieurs sites, nous avons analysé deux sites géothermiques potentiels en profondeur (Figure 2-2) : un premier site A, qui serait un réservoir dans les roches sédimentaires du bassin (probabilité plus élevée de présence de réservoir hydrothermal), et un deuxième B plus profond qui serait un réservoir stimulé dans le socle du bassin (voir site #1, #2, #4 et #5 ; Figure 2-2 et Tableau 3-1).

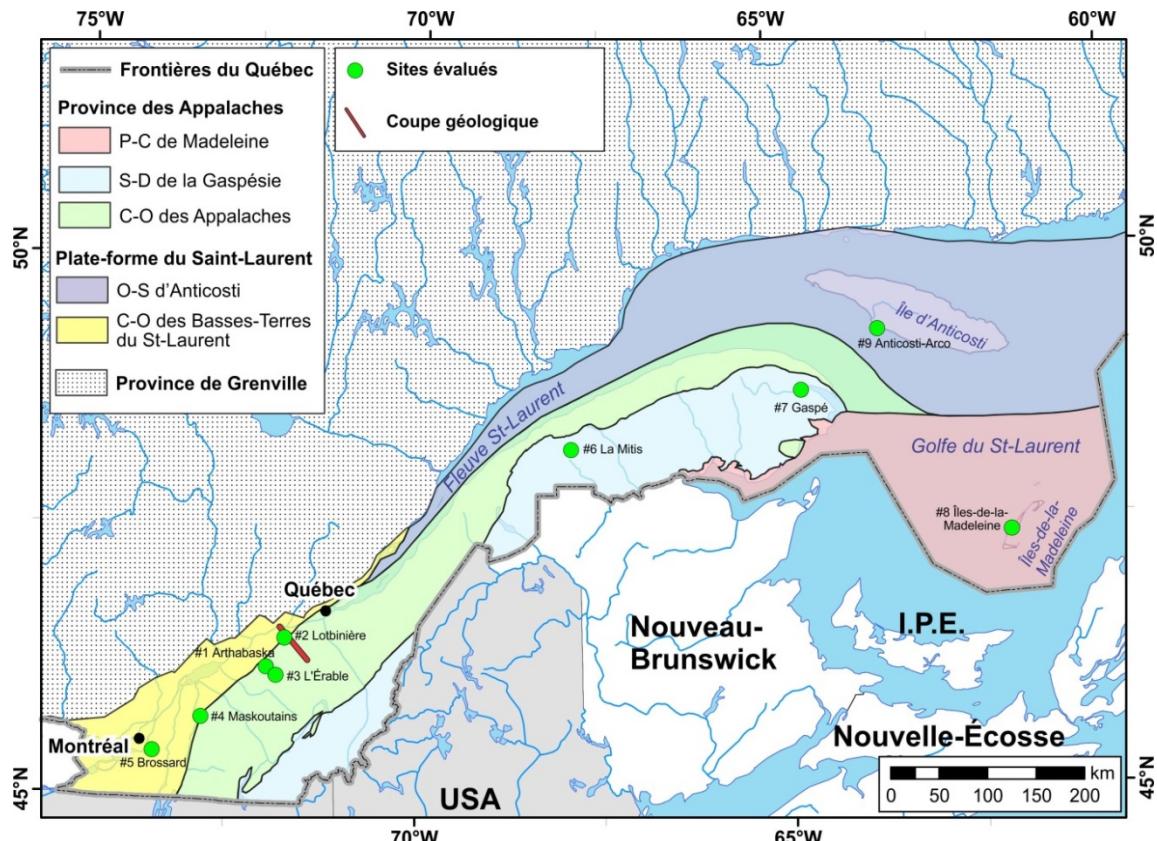


Figure 2-1 : Sites jugés prometteurs

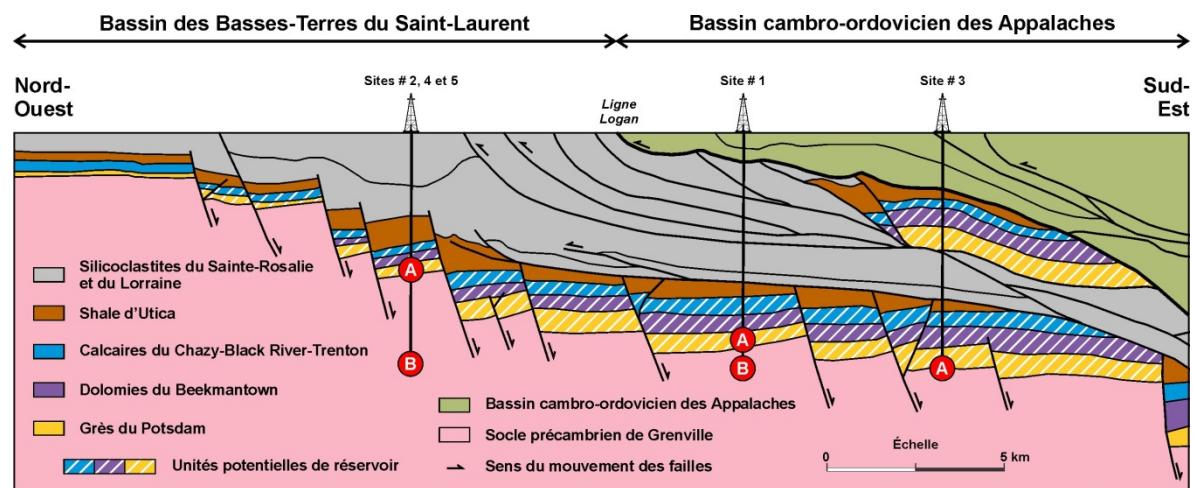


Figure 2-2 : Localisation schématique des sites dans le bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent et du socle de la province de Grenville. La position de la coupe en surface est localisée sur la figure 2-1.

Nous présentons ici brièvement les raisons qui ont justifié la sélection de ces sites. Le détail de l'analyse des critères est présenté dans l'annexe A.

Site # 1 : Arthabaska

Selon les données répertoriées dans le modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent [BED15], ce site se situe au centre de l'une des anomalies de température les plus importantes. En effet, c'est une zone où le gradient de température est le plus élevé dans le modèle du bassin. Toutefois, la présence de cette anomalie de température est appuyée par une seule donnée d'un puits à 1716 m de profondeur.

Site # 2 : Lotbinière

Ce site se situe en périphérie de la même anomalie de température que le site #1. Ainsi, le gradient de température est relativement plus faible que celui du site #1, mais le site #2 est toutefois appuyé par un plus grand nombre de données.

Site # 3 : L'Érable

Selon les données répertoriées dans le modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent [BED15], ce site est le point le plus profond de l'unité réservoir sédimentaire (6600 m). De plus le gradient de température y est relativement favorable, ce qui en fait le point dans le modèle où la température est la plus élevée au sein de l'unité réservoir sédimentaire. L'information relative au gradient de température se base sur un nombre limité de données.

Site # 4 : Maskoutains

Ce site se situe dans zone où la température est relativement élevée dans le bassin, ce qui est appuyé par un bon nombre de données. Ce site se trouve à proximité d'une ville relativement importante, la ville de Saint-Hyacinthe (50 000 habitants).

Site # 5 : Brossard

Ce site se situe dans une anomalie de température du modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent [BED15] (gradient de température élevé). Toutefois, la présence de cette anomalie est appuyée par une donnée de température d'un puits à 1448 m de profondeur. Ce site est situé à proximité d'un bassin de population important.

Site # 6 : La Mitis

D'après les données répertoriées dans [MAJ13] et dans [CHA15], ce site serait une anomalie thermique et comporterait un gradient de température parmi les plus élevés des sites analysés. La présence de cette anomalie est appuyée par une donnée de température d'un puits à 1889 m de profondeur.

Site # 7 : Gaspé

Ce site, situé dans le bassin siluro-dévonien de la Gaspésie à proximité de la ville de Gaspé, est dans une zone où il existe un grand nombre de données sur lesquelles s'appuyer. De plus, les données montrent à cet endroit une anomalie de température parmi les plus élevées des sites analysés (données répertoriées dans [MAJ13] et étudiées dans [CHA15]). La présence de cette anomalie n'est toutefois appuyée que par une seule donnée de température d'un puits à 1315 m de profondeur.

Site # 8 : Îles-de-la-Madeleine-Fatima

Ce site est situé dans un réseau autonome (en dehors du réseau intégré d'Hydro-Québec). Étant donné que la production d'électricité y est faite à partir de combustibles fossiles, ce site pourrait représenter un intérêt additionnel pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte ».

Site # 9 : Anticosti-Arco

Ce site, sur l'île d'Anticosti, est situé dans une zone où l'épaisseur de la couche sédimentaire y est la plus élevée (3800 m). De plus, c'est l'endroit où il existe des données profondes pour s'appuyer. Il est à noter que la géologie est relativement semblable à ce qui se retrouve à l'extrémité ouest de l'île, où se trouve le village de Port-Menier. Donc, le potentiel en géothermie de ce site peut être appliqué également à l'ouest de l'île.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

Le Tableau 3-1 contient la grille de sélection des sites avec le résultat de l'analyse des neuf sites sélectionnés. Le pointage maximal pour l'indice de priorisation total est de 19, dont 13 points relatifs à la qualité de la ressource.⁴ Le résultat de l'indice de priorisation doit être interprété avec prudence étant donnée la présence de seuils discrets de certains critères qui peuvent faire basculer le pointage. De plus, l'évaluation de certains autres critères demeure qualitative et résulte du jugement des auteurs, et ce, à un moment en amont d'un projet où les informations sont limitées.

Parmi les sites identifiés comme étant les plus favorables à la géothermie, l'indice de priorisation global le plus élevé est de 7. Si on considère les résultats d'un point de vue absolu, cet indice n'est pas favorable à la réalisation d'un projet pilote d'envergure à court terme. Outre les anomalies thermiques représentées par les sites #6 et #7, dont la présence présente un haut niveau d'incertitude, la combinaison des critères température/ profondeur des sites identifiés, donc le gradient moyen de température, n'est pas favorable. Les forages profonds étant rares, il ressort également une incertitude souvent élevée au niveau de la température, ce qui ajoute au risque d'un projet. La détermination des gradients de températures les plus favorables est soutenue par un nombre limité de données à une profondeur inférieure à 2000 m et qui ne sont pas mesurées à l'équilibre. Davantage de données seront nécessaires afin de réduire l'incertitude liée à la qualité des ressources en place. Outre pour les sites géographiquement isolés (#6 La Mitis, #8 Îles-de-la-Madeleine, et #9 Anticosti), les autres critères ne constituent pas une barrière majeure à un projet au stade actuel. Le site comportant un indice de priorisation global le plus élevé est le site #3 L'Érable, suivi du site # 7 Gaspé. Dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, le site #1 Arthabaska comporte également un indice de priorisation global au-dessus de la moyenne.

Le site de #7 Gaspé est l'endroit où le gradient géothermique est le plus élevé : on estime que la température atteint 186 °C à la base du bassin sédimentaire (4400 m). La lithologie y est toutefois peu favorable et il s'agit d'une anomalie dont l'existence est appuyée par peu de données et dont l'étendue est probablement limitée.

Le site # 3 L'Érable a l'avantage d'être l'emplacement dans le modèle du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent (BSTL) où la couche de sédiments moins conductrice est la plus épaisse : la base du Groupe de Potsdam se situe à 6600 m. Cela permet de combiner des caractéristiques

⁴ Le critère #1 peut atteindre la cote ++ qui vaut 2 points. Le pointage des critères #1 et #2 sont multipliés par un facteur 3 et le pointage du critère # 3 est multiplié par un facteur 2 dans le calcul de l'indice de priorisation. Aucune cote n'a été attribuée aux critères #7 et #13 pour le moment.

lithologiques favorables à une température plus élevée. Outre la qualité de la ressource, les sites des BSTL se distinguent également par la présence d'infrastructures et d'un marché potentiel pour la chaleur à proximité. Les sites # 2 - Lotbinière et # 4 - Maskoutains présentent des caractéristiques similaires au site # 1 Arthabaska, mais ces derniers ont une température moins favorable. Comme l'incertitude liée à la température du site # 1 est élevée, il est possible qu'en fait, ces sites soient équivalents ou même surclassés.

Quoique l'information de température soit appuyée que par une seule donnée, le site #5 Brossard est un endroit où le gradient géothermique est élevé : on estime qu'une température de 148 °C serait atteinte à environ 5500 m de profondeur, dans le socle précambrien. Une hypothèse quant à la présence de cette anomalie est sa proximité avec les collines Montérégiennes, qui sont des unités géologiques constituées de roches ignées plus jeunes que le bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent. À l'heure actuelle, aucune autre anomalie thermique dans le corridor des collines Montérégiennes n'a été détectée, possiblement en raison de l'absence de données de température en profondeur. Si cette anomalie se poursuit dans ce corridor, l'existence d'autres sites intéressants offrirait des cibles d'exploration géothermique. D'autre part, le site # 5 Brossard se situe en milieu urbain. Bien que cela favorise la présence d'infrastructures et de marchés pour la chaleur, cela pourrait constituer une contrainte importante au niveau des conflits d'usage du territoire.

Pour la majorité du territoire, la température à la base du bassin sédimentaire n'est pas suffisante pour y exploiter la géothermie à des fins de production d'électricité, ce qui mène à descendre dans le socle pour la plupart des sites. La création de réservoirs géothermiques performants dans les roches métamorphiques du socle pose un défi, car il est, a priori, moins favorable à la présence d'un nombre important de fractures. Ce sont ces fractures qui, après avoir été stimulées, sont actives thermiquement lors de l'exploitation du réservoir. Toutefois, comme la plupart des puits sur lesquels repose la collecte des données ayant servi aux modèles n'atteignent pas le socle, une incertitude demeure quant à son niveau de fracturation naturelle. Il pourrait être plus élevé qu'anticipé. D'autre part, même s'il est loin d'être homogène, le socle précambrien de la province de Grenville est présent partout au Québec, à une profondeur ou une autre. Les bassins des Basses-Terres-du-Saint-Laurent et d'Anticosti reposent directement sur ce socle précambrien constitué de roches métamorphiques et ignées. Toutefois le socle du bassin S-D de la Gaspésie est constitué des roches sédimentaires métamorphisées (schistes) du bassin C-O des Appalaches. Les schistes sous le bassin S-D de la Gaspésie sont des roches au potentiel réservoir faible pour constituer un réservoir hydrothermal. Les réservoirs géothermiques potentiels dans ces roches devraient éventuellement être stimulés. La nature et le degré de métamorphisme des roches du bassin S-D de la Gaspésie qui constituent le socle du bassin de Madeleine demeurent incertains.

Tableau 3-1 : Grille de sélection des sites géothermiques

Site		Qualité de la ressource géothermique														Autres critères techniques, à incidence économique, ou à incidence sociale		Indice de priorisation global (Maximum de 19 pts)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N			
Nom et coordonnées	Formation et profondeur considérée	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	13. Acceptabilité sociale	Indice de priorisation global (Maximum de 19 pts)	
1 Arthabaska Latitude : 46° 16' 44 " Longitude : -72° 02' 14 " Bassin : Basses-Terres-du-Saint-Laurent	A Formation géologique : Base du Groupe de Potsdam Profondeur : 4600 m	—	○	+												Nd	+2	
	B Formation géologique : Socle précambrien Profondeur : 5500 m	○	○	—												Nd	+1	
2 Lotbinière Latitude : 46° 31' 36 " Longitude : -71° 46' 38 " Bassin : Basses-Terres-du-Saint-Laurent	A Formation géologique : Base du Groupe de Potsdam Profondeur : 2900 m	●	+	+												Nd	●	
	B Formation géologique : Socle précambrien Profondeur : 5500 m	—	○	—												Nd	-1	
3 L'Érable Latitude : 46° 12' 15 " Longitude : -71° 54' 12 " Bassin : Basses-Terres-du-Saint-Laurent	A Formation géologique : Base du Groupe de Potsdam Profondeur : 6600 m	++	—	+	○	—	+	Nd	+	+	○	○	○	○	Nd	+7		
4 Maskoutains Latitude : 45° 45' 35 " Longitude : -72° 48' 12 " Bassin : Basses-Terres-du-Saint-Laurent	A Formation géologique : Base du Groupe de Potsdam Profondeur : 3800 m	●	+	+			○	+	○	Nd	+	+	○	+	Nd	●		
	B Formation géologique : Socle précambrien Profondeur : 5500 m	—	○	—												Nd	-1	
5 Brossard Latitude : 45° 26' 40 " Longitude : -73° 29' 26 " Bassin : Basses-Terres-du-Saint-Laurent	A Formation géologique : Base du Groupe de Potsdam Profondeur : 1600 m	●	+	+						Nd	+	+	○	+	Nd	●		
	B Formation géologique : Socle précambrien Profondeur : 5500 m	○	○	—												Nd	+1	
6 La Mitis Latitude : 48° 21' 26 " Longitude : -67° 55' 12 " Bassin : Gaspésie	A Formation géologique : Base du bassin Profondeur : 3700 m	○	+	—						Nd	+	○	○	—	Nd	-1		
	B Formation géologique : Socle bassin C-O des Appalaches sous-jacent Profondeur : 5500 m	++	○	—			○	—	—	Nd	+	○	○	—	Nd	+2		
7 Gaspé Latitude : 48° 51' 19 " Longitude : -64° 39' 35 " Bassin : Gaspésie	A Formation géologique : Base du bassin Profondeur : 4400 m	++	○	—						Nd	+	○	○	○	Nd	+5		
	B Formation géologique : Socle bassin C-O des Appalaches sous-jacent Profondeur : 5500 m	++	○	—												Nd	+5	
8 Îles-de-la-Madeleine Latitude : 47° 25' 35 " Longitude : -61° 52' 08 " Bassin : Madeleine	A Profondeur : 5500 m	○	○	+	+	+	—	—	—	Nd	○ *eau de mer	○	+	○	—	Nd	+1	
9 Anticosti-Arco Latitude : 49° 23' 18 " Longitude : -63° 31' 27 " Bassin : Anticosti	A Formation géologique : Base du bassin Anticosti Profondeur : 3800 m	●	+	○						Nd	—	●	—	○	Nd	●		
	B Formation géologique : Socle précambrien Profondeur : 5500 m	—	○	—												Nd		

+ ou ++ Positif/bon ou très positif/très bon (+1 ou +2) ; ○ = Neutre (+0) ; — = Négatif (-1) ; ● = Barrière majeure, site à exclure, Nd = non disponible

Chapitre 4 : Conclusion

Nature de la grille et méthodologie

La grille présentée dans ce document constitue une première analyse de sites identifiés comme étant favorables à l'exploitation géothermique au Québec. Elle regroupe des critères portant sur la qualité de la ressource ainsi que sur d'autres aspects techniques, économiques ou sociaux. Ces critères sont analysés avec une méthodologie attribuant une cote à partir « d'éléments observables » avec les données disponibles actuellement. Certains sites sont carrément exclus si le critère est jugé comme une barrière majeure.

Les paramètres liés à la qualité de la ressource (température, profondeur, caractéristiques lithologiques) ont été évalués à partir des résultats de modèles géologiques et de la cartographie effectués dans le cadre du projet [BED15, MAJ13, CHA15]. Des critères d'incertitude ont été évalués à partir de la quantité de données à proximité du site ayant servi à élaborer les modèles. Les autres critères sont généralement un peu plus qualitatifs. Le critère portant sur les risques reliés à la sismicité n'a pas été évalué, le Québec n'étant pas une zone à risque (à l'exclusion de la zone sismique de Charlevoix et du Bas-Saint-Laurent [LAM03]). Toutefois, le suivi et des mesures pour limiter localement la microsismicité sont importants lors de la réalisation d'un projet de géothermie profonde. De plus, étant donné le stade préliminaire du projet, aucune cote n'a été attribuée pour le critère de l'acceptabilité sociale. Des efforts concertant l'acceptabilité sociale d'un projet ont été effectués [MOU14, MAL15], mais cela ne permet pas d'attribuer une cote à un site en particulier. Il s'agit toutefois d'un enjeu important qui devra être évalué par des études spécifiques lors d'un projet expérimental d'envergure.

Résultats et recommandations

À l'étape actuelle, parmi les sites analysés, ce sont ceux du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent (BTSL) qui se démarquent avec les plus hauts indices de priorisation, en raison de la qualité de la ressource et de la présence d'infrastructures et de marchés à proximité. Le site #3 L'Érable obtient l'indice de priorisation le plus élevé est le point des BSTL où l'épaisseur de la couche sédimentaire est la plus importante. Le site # 1 Arthabaska, une des anomalies de température les plus importantes du bassin, obtient la seconde place dans le calcul de l'indice de priorisation des BTSL. Ailleurs dans les BSTL, les sites retenus se trouvent sous les unités de roche sédimentaire afin de retrouver de plus fortes températures.

Le site de #7 Gaspé est l'endroit où le gradient géothermique est le plus élevé : on estime que la température atteint 186 °C à la base du bassin sédimentaire (4400 m). Toutefois, il s'agit d'une anomalie dont l'existence est appuyée par peu de données et dont l'étendue est limitée.

À cette étape, l'incertitude liée à l'évaluation de la température en profondeur demeure importante. Chacun de ces sites mérite d'être étudié davantage pour comprendre le contexte géologique qui pourrait justifier la présence des anomalies de température et améliorer l'évaluation de leur potentiel géothermique.

De façon générale, les sites identifiés ne sont pas favorables à la réalisation d'un projet pilote d'envergure pour la production d'électricité géothermique à court terme, notamment en raison des grandes profondeurs requises, de l'incertitude au niveau de la température et du risque au niveau du développement des réservoirs profonds. Cela se reflète dans le pointage le plus élevé qui est de 7 sur un maximum de 19. Ce constat ne s'applique toutefois pas à l'utilisation directe de la chaleur, qui n'a pas été analysée ici.

Lorsque des conditions telles que la diminution des coûts de forages profonds et le développement d'expertise pour la création de réservoirs géothermiques dans le socle (fracturation et stimulation) permettront d'envisager à plus court terme un projet de démonstration de production d'électricité, une évaluation plus poussée des critères sera requise. Elle devra reposer sur davantage de données, notamment sur des mesures dans des forages profonds près des zones d'intérêt, une caractérisation plus poussée des sites, une étude des utilisateurs de chaleur potentiels et une évaluation plus approfondie de l'acceptabilité sociale. Dans l'attente, davantage de données sont nécessaires afin de réduire l'incertitude liée à la qualité des ressources en place et d'acquérir des informations stratégiques pour quantifier le potentiel géothermique du Québec. Des travaux d'exploration géologique peuvent être réalisés à faible coût pour réduire l'incertitude face à l'évaluation du potentiel géothermique. Les travaux devront reposer sur davantage de données, notamment des mesures de température à l'équilibre, dans des forages d'une profondeur intermédiaire à celle des réservoirs pour éventuellement forer à des profondeurs encore non atteintes au Québec. Les sites #1 et #3 des Basses-Terres-du-Saint-Laurent sont sans doute dans les premières zones où la collecte de données supplémentaires contribuera au développement de connaissances stratégiques face à l'éventuelle exploitation de ces ressources. L'exploration en vue de la production d'hydrocarbures dans la région de Gaspé constitue également une opportunité.

Références

[BED15] Bédard, K, Millet, F.-A. Comeau, J. Raymond, M. Nasr et M. Malo (2015) Caractéristiques géothermiques et évaluation des ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent. INRS, Québec. Rapport de recherche.

[BLA10] Blackwell, D., M. Richards, et P. Stepp (2010) Texas Geothermal Assessment for the I35 Corridor East - Final report. SMU Geothermal Laboratory, Southern Methodist University. 78 pages.

[CHA15] Chabot Bergeron, A., M. Malo, J. Raymond et F-A Comeau (2015) Évaluation préliminaire du potentiel de génération d'électricité géothermique de la vallée de la Matapedia et de la région de Gaspé, Poster présenté au congrès Québec Mine 2015,. Québec, Novembre 2015

[CLA11] Clark, C.E., C.B. Harto, J.L. Sullivan, M.Q. Wang, (2011) Water Use in the Development and Operation of Geothermal Power Plants, Argonne National Laboratory, report ANL/EVS/R-10/5, Janvier 2011, disponible sur le site Web suivant : www.ipd.anl.gov/anlpubs/2010/09/67934.pdf

[HAR83] Harrison, W.E., K.V. Luza, , M.L. Prater, et R.J. Reddr (1983) Geothermal resource assessment in Oklahoma. Oklahoma Geological Survey. Special Paper 83-1. 42 pages.

[JES90] Jessop, A.M. [ed.] (1990) Thermal geophysics. Developments in solid Earth geophysics, Volume 17. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 306 pages.

[KEH70] Kehle, R.O., R.J. Schoeppe, et R.K. Deford, (1970) The AAPG geothermal survey of North America. Geothermics, 2 (1), 358-367.

[KER15] Kerr Wood Leidal et GeothermEX, 2015, Geoscience BC, An Assessment of the Economic Viability of Selected Geothermal Resources in British Columbia Geoscience BC, Final Report, Report June 29, 2015

[LAM03] Lamontagne, M., P. Keating, et S. Perreault (2003) Seismotectonic characteristics of the Lower St. Lawrence Seismic Zone, Quebec: insights from geology, magnetics, gravity, and seismics, Canadian Journal of Earth Sciences, 40 (2), 317-336.

[LUN15] Lund, J. W. (2015) Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015

[LUK14] Lukawski, M.Z., B. J. Anderson, C. Augustine, L.E. Capunao Jr., K.F. Beckeres, B. Livesay, J.W. Tester, Cost analysis of oil, gas, and geothermal well drilling, *Journal of Petroleum Science and Engineering* 118 (2014) 1-14

[MAL15] Malo, M., J.P. Moutenet, K. Bédard, J. Raymond, (2015) Public awareness and opinion on deep geothermal energy in the context of shale gas exploration in the province of Québec, Canada. World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australie. <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/02026.pdf>

[MAJ12] Majer, E, J. Nelson, A. Robertson-Tait, J. Savy, I. Wong, (2012) Protocol for Addressing Induced Seismicity Associated with Enhanced Geothermal Systems, U. S. Department of Energy, Geothermal Technologies Program, DOE/EE-0662, Janvier 2012

[MAJ13] Majorowicz, J., V. Minea, (2013), Geothermal anomalies in the Gaspésie Peninsula and Madeleine Islands, Québec, *GRC Transactions*, Vol. 37, 2013

[MOU14] Moutenet, J.-P., K. Bédard, M. Malo, (2014), Connaissance et perception des Québécois à l'égard de la géothermie profonde, Colloque du réseau DIVEX et de l'INRS sur le potentiel de la géothermie au Québec, Jeudi le 1^{er} mai 2014, INRS, Québec

[OIT05] Oregon Institute of Technology, (2005), *Geothermal direct-use case studies*, prepared for U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratories, Golden, CO, prepared by Geo-Heat Center (Oregon Institute of Technology), October 2005, 95 pages, Disponible sur le site Web suivant: <http://www.oit.edu/docs/default-source/geoheat-center-documents/geothermal-direct-use.pdf?sfvrsn=0>

[RIC16] Richard, M-A, (2016) *Production d'électricité avec des systèmes géothermiques stimulés au Québec : analyse des résultats d'un outil de simulation*, Hydro-Québec, rapport IREQ-2016-0001

[RNC16] Ressources naturelles Canada, (2016) *Les zones sismiques dans l'Est du Canada*, site Web du gouvernement de Canada : <http://www.seismescanada.rncan.gc.ca/zones/eastcan-fr.php>

[TES06] Tester, J.W., et al., 2006, The future of geothermal energy, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 372 p.

Annexe A : Évaluation des sites

Site # 1 : Arthabaska



Figure A-1 : Arthabaska (site #1)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : **46° 16' 44"**

Longitude : **-72° 02' 13"**

Municipalité :

Saint-Louis-de-Blandford

Bassin :

Basses-Terres-du-Saint-Laurent de la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent

Formation géologique et profondeur analysée :

Site # 1 a) Base du Groupe de Potsdam à 4600 m

Site # 1 b) Socle précambrien du Grenville à 5500 m

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

Selon les données répertoriées dans le modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent [BED15], on soupçonne que ce site se situe dans une anomalie de température plus élevée que la région environnante. Cette information se base toutefois sur un nombre limité de données (voir critère numéro 4)

a) la température pour ce site à la base du Groupe de Potsdam (4600 m) est de 135 °C.

Cote : —

b) la température pour ce site dans le socle précambrien du Grenville à 5500 m est de 148 °C

Cote : ○

Critère # 2 : Niveau de profondeur

a) La première profondeur considérée pour ce site, soit la base du Groupe de Potsdam, est de 4600 m.

Cote : ○

b) La seconde profondeur considérée pour ce site est de 5500 m, dans le socle précambrien.

Cote : ○

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

La base du Groupe de Potsdam, composée de grès et de conglomérats, comporte des caractéristiques lithographiques favorables, une cote positif/bon lui est attribuée. À l'autre niveau de profondeur (dans le socle), les roches sont métamorphiques (gneiss), une cote inférieure est attribuée.

a) Site à une profondeur de 4500 m (base du Groupe de Potsdam) : grès

Cote : +

b) Site à une profondeur de 5500 m, dans le socle précambrien : roches ignées et/ou métamorphiques

Cote : —

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 12 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance élevé (> 3) et la cote positif/bon peut lui être attribuée.

Cote : +

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il existe n'existe pas de données de température mesurées à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : —

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site situé dans une section des Basses-Terres-du-Saint-Laurent dont la superficie comparable est d'environ 2500 km². Ce site présente donc une bonne représentativité.

Cote : +

Critère # 7 : Risques liés à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

La rivière Bécancour⁵ se situe à environ 3 km du site évalué. La surface comprise dans un rayon de 25 km comporte également un bon nombre de ruisseaux de plus faible débit et de petits lacs. Le fleuve Saint-Laurent (plus de 12 000 m/s) se trouve également à un rayon d'un peu moins de 25 km du site Arthabaska. La cote du site est positive.

⁵ Station 02PL016 (6 km en aval du pont de l'autoroute 20) : débit mensuel moyen de 10 m³/s à 190 m³/s entre 1999 et 2004, bassin versant de 2171 km², (www.eau.ec.gc.ca)

Cote : +

Critère #9 : Présence d'infrastructures

Le site est situé à moins de 3 km du centre de la municipalité de Saint-Louis-de-Blandford (environ 1000 habitants), à proximité de la route 263 et de l'Autoroute 20. La ville de Victoriaville (population de 45 000 habitants en 2014)⁶ est située dans un rayon de 25 km du site. Le site est également situé à environ 70 km de Trois-Rivières (plus de 120 000 habitants) et à 100 km de Québec (plus de 500 000 habitants). Ce site bénéficie donc de toutes les infrastructures souhaitables pour un projet de centrale géothermique.

Cote : +

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans le réseau intégré d'Hydro-Québec.

Cote : ○

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Étant donnée la proximité avec de nombreux villages et même de la ville de Victoriaville, il est probable qu'il existe un marché pour la chaleur. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : ○

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région agricole à quelques centaines de mètres de plusieurs puits. L'emplacement exact du forage pourrait toutefois être choisi pour éviter les conflits d'usage.

Le site est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

⁶ www.victoriaville.ca/content/fr-CA/s1_portrait.aspx

Le site est en un milieu humide (marécage résineux riche), à proximité d'habitats fauniques (Daveluyville-Manseau).

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

Site # 2 : Lotbinière

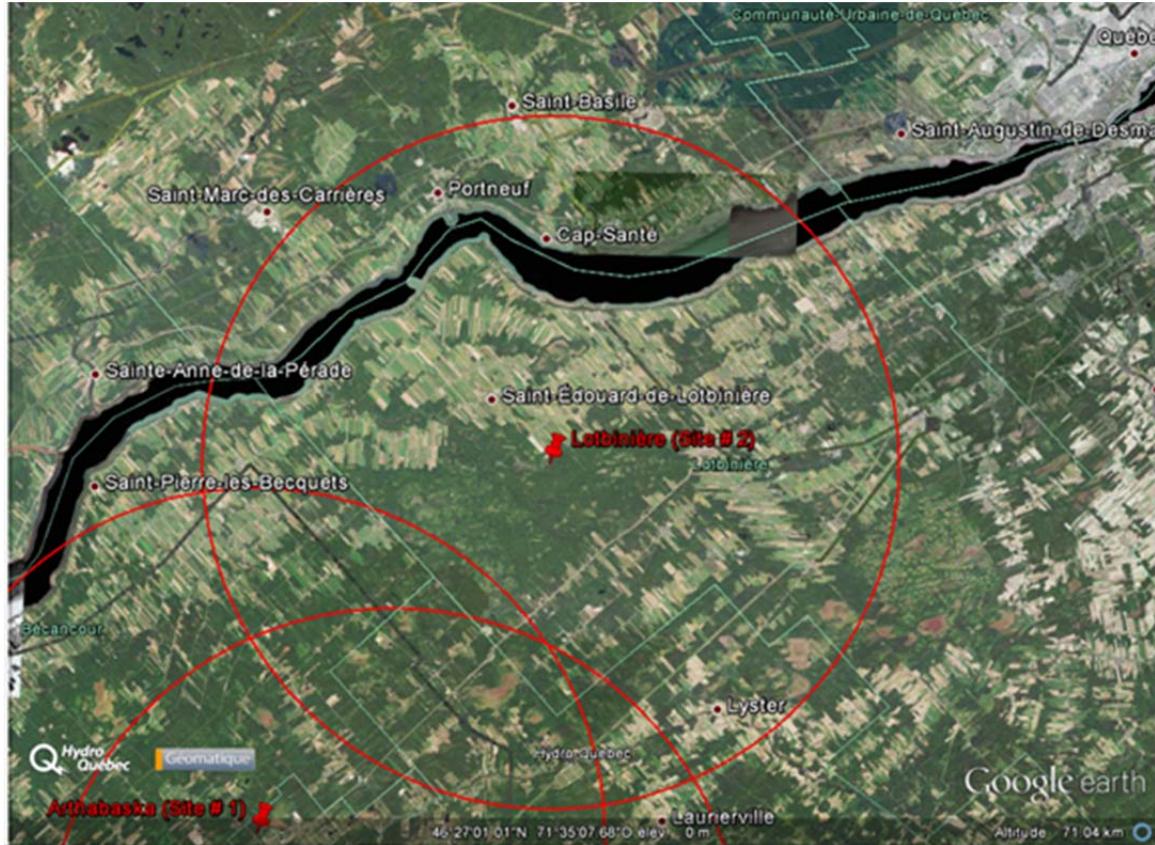


Figure A-2 : Lotbinière (site #2)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : $46^{\circ} 31' 36''$

Longitude : $-71^{\circ} 46' 38''$

Municipalité :

Saint-Édouard-de-Lotbinière

Bassin :

Basses-Terres-du-Saint-Laurent de la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent

Formation géologique et profondeur analysée :

Site # 2 a) Base du Groupe de Potsdam à 2900 m

Site # 2 b) Socle précambrien du Grenville à 5500 m

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

La température a été déterminée à partir du modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent [BED15]. Ce site se situe dans une zone où la température est relativement élevée dans le bassin, ce qui est appuyé par un bon nombre de données.

a) La température pour ce site à la base du Groupe de Potsdam (2900 m) est de 80 °C.

Cote : 

b) La température pour ce site dans le socle précambrien à 5500 m est de 125 °C.

Cote : 

Critère # 2 : Niveau de profondeur

a) La première profondeur considérée pour ce site est à la base du Groupe de Potsdam, soit 2900 m.

Cote : 

b) La seconde profondeur considérée pour ce site est de 5500 m, dans le socle précambrien.

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

La base du Groupe de Potsdam, composée de grès et de conglomérats, comporte des caractéristiques lithographiques favorables, une cote positif/bon lui est attribuée. À la seconde profondeur considérée, les roches sont métamorphiques (gneiss) et une cote inférieure est attribuée.

a) Site à une profondeur de 2900 m (base du Groupe de Potsdam) : grès

Cote : +

b) Site à une profondeur de 5500 m, dans le socle précambrien : roches ignées et/ou métamorphiques.

Cote : —

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 42 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance élevé (> 3) et la cote positif/bon peut lui être attribuée.

Cote : +

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il existe des données de température mesurée à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : +

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site situé dans un secteur des Basses-Terres-du-Saint-Laurent dont la superficie comparable est d'environ 1400 km². Ce site présente donc une représentativité moyenne.

Cote : ○

Critère # 7 : Risques liées à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

La rivière du Chêne se situe à environ 3 km du site évalué. La surface comprise dans un rayon de 25 km comporte également un bon nombre de ruisseaux de plus faible débit et de petits lacs. Le fleuve Saint-Laurent (plus de 12 000 m/s) se trouve également à un rayon d'un peu moins de 15 km du site Lotbinière. La cote du site est positive.

Cote : 

Critère #9 : Présence d'infrastructures

Le site est situé à 6 km du centre de la municipalité de Saint-Édouard-de-Lotbinière (environ 1200 habitants), à proximité de la route 226 et de l'Autoroute 20 (via Laurier Station). Les villes de Lévis et de Bécancour se trouvent à une soixantaine de km du site. La ville de Québec se trouve à environ 70 km du site (plus de 500 000 habitants). Ce site bénéficie donc de toutes les infrastructures souhaitables pour un projet de centrale géothermique.

Cote : 

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans le réseau intégré d'Hydro-Québec.

Cote : 

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Étant donnée la proximité avec des villages (Saint-Édouard-de-Lotbinière, Laurier-Station, Val-Alain, etc.), il est possible qu'il existe un marché pour la chaleur. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : 

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région agricole.

Le site est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Le site est en un milieu humide (marécages), juste à l'extérieur de la Réserve écologique Lionel-Cinq-Mars.

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

Site # 3 : L'Érable

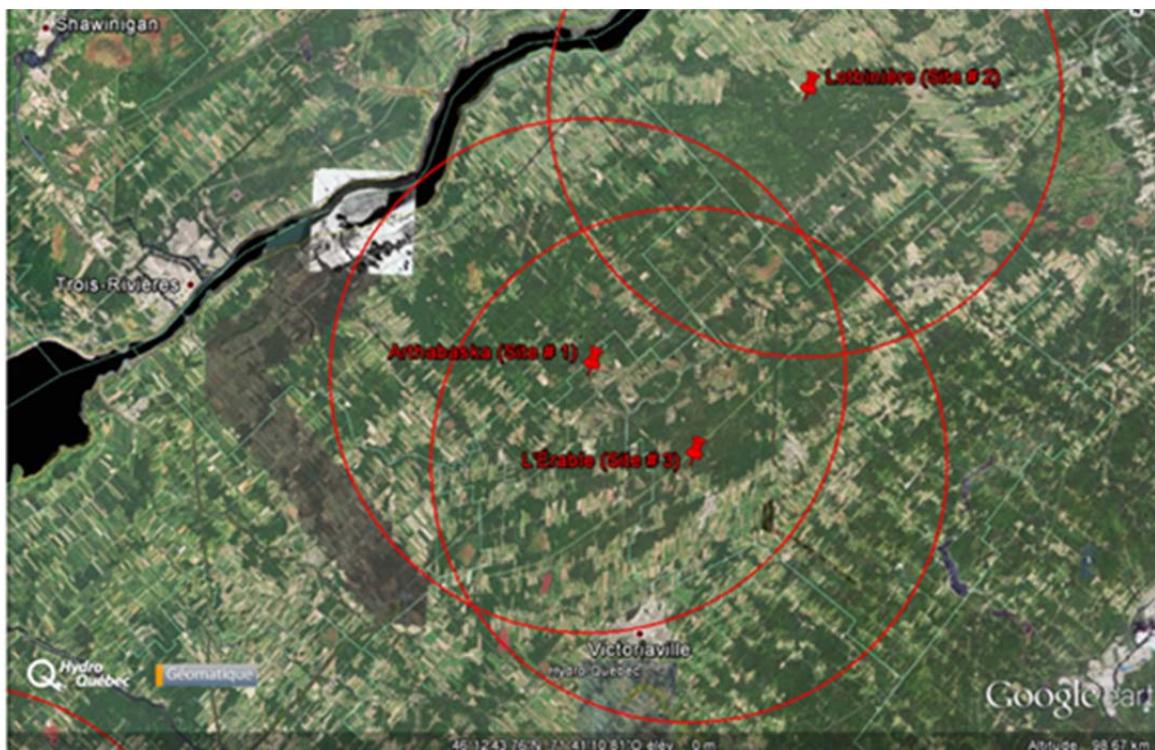


Figure A-3 : L'Érable (site #3)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : **46° 12' 15"**

Longitude : **-71° 54' 13"**

Municipalité :

Princeville

Bassin:

Basses-Terres-du-Saint-Laurent de la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent

Formation géologique et profondeur analysée :

Site # 3) Base du Groupe de Potsdam à 6600 m

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

Selon les données répertoriées dans le modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent [BED15], ce site est le point le plus profond de la couche sédimentaire basale dans tout le bassin. De plus le gradient de température y est relativement favorable. Toutefois, cette information se base toutefois sur un nombre limité de données (voir critère numéro 4). La température issue du modèle pour ce site à la base du Groupe de Potsdam (6600 m) est de 180 °C.

Cote : 

Critère # 2 : Niveau de profondeur

La première profondeur considérée pour ce site est de 6600 m (base du Groupe de Potsdam).

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

La base du Groupe de Potsdam, composée de grès et de conglomérats, comporte des caractéristiques lithographiques favorables, une cote positif/bon lui est attribuée.

Cote : 

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 3 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance moyen (2-3).

Cote : 

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il n'existe aucune donnée de température mesurée à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : -

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site situé dans une section des Basses-Terres-du-Saint-Laurent dont la superficie comparable est d'environ 2500 km². Ce site présente donc une bonne représentativité.

Cote : +

Critère # 7 : Risques liés à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

La rivière Bécancour⁷ se situe à environ 7 km du site évalué. La surface comprise dans un rayon de 25 km comporte également un bon nombre de ruisseaux de plus faible débit et de petits lacs. Le fleuve Saint-Laurent (plus de 12 000 m/s) se trouve également à un rayon d'environ 35 km du site. La cote du site est positive.

Cote : +

Critère #9 : Présence d'infrastructures

Le site est situé à moins de 3 km du centre de la municipalité de Princeville (entre 5 000 et 6 000 habitants), à proximité de la route 165 et de l'Autoroute 20. La ville de Victoriaville (population de 45 000 habitants en 2014)⁸ est située à moins de 20 km du site. Le site est également situé à environ 65 km de Trois-Rivières (plus de 120 000 habitants) et à moins de 100 km de Québec (plus de 500 000 habitants). Ce site bénéficie donc de toutes les infrastructures souhaitables pour un projet de centrale géothermique.

Cote : +

⁷ Station 02PL016 (6 km en aval du pont de l'autoroute 20) : débit mensuel moyen de 10 m³/s à 190 m³/s entre 1999 et 2004, bassin versant de 2171 km², (www.eau.ec.gc.ca)

⁸ www.victoriaville.ca/content/fr-CA/s1_portrait.aspx

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans le réseau intégré d'Hydro-Québec.

Cote : 

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Étant donnée la proximité avec de nombreuses petites villes et même de la ville de Victoriaville, il est probable qu'il existe un marché pour la chaleur. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : 

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région agricole. L'emplacement exact du forage pourrait toutefois être choisi pour éviter les conflits d'usage.

Le site est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Le site est en un milieu humide, à proximité d'habitats fauniques (Rivière Bourbon).

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

Site # 4 : Maskoutains



Figure A-4 : Maskoutains (site #4)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : 45° 45' 35"

Longitude : -72° 48' 12"

Municipalité :

Saint-Hugues

Bassin :

Basses-Terres-du-Saint-Laurent de la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent

Formation géologique et profondeur analysée :

Site # 4 a) Base du Groupe de Potsdam à 3800 m

Site # 4 b) Socle précambrien du Grenville à 5500 m

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

La température a été déterminée à partir du modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des Basses-Terres-du-Saint-Laurent [BED15]. Ce site se situe dans zone où la température est relativement élevée dans le bassin, ce qui est appuyé par un bon nombre de données.

Site 4a) La température pour ce site à la base du Groupe de Potsdam (3800 m) est de 100 °C.

Cote : 

Site 4b) La température pour ce site dans le socle précambrien d à 5500 m est de 128 °C.

Cote : 

Critère # 2 : Niveau de profondeur

a) La première profondeur considérée pour ce site est à la base du Groupe de Potsdam, soit 3800 m.

Cote : 

b) La seconde profondeur considérée pour ce site est de 5500 m, dans le socle précambrien.

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

a) La base du Groupe de Potsdam, composée de grès et de conglomérats, comporte des caractéristiques lithographiques favorables, une cote positif/bon lui est attribuée.

Cote : 

b) Site à une profondeur de 5500 m, dans le socle précambrien : roches ignées et/ou métamorphiques.

Cote : 

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 3 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance moyen (2-3).

Cote : 

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il n'existe aucune donnée de température mesurée à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : 

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site situé dans un secteur des Basses-Terres-du-Saint-Laurent dont la superficie comparable est d'environ 1500 km². Ce site présente donc une représentativité moyenne.

Cote : 

Critère # 7 : Risques liés à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

La rivière du Yamaska se situe à environ 6 km du site évalué. La surface comprise dans un rayon de 25 km comporte également un bon nombre de ruisseaux de plus faible débit et de petits lacs. Le fleuve Saint-Laurent (plus de 12 000 m/s) se trouve également à un rayon d'un peu moins de 15 km du site Lotbinière. La cote du site est positive.

Cote : 

Critère #9 : Présence d'infrastructures

Le site est situé à 6 km du centre de la municipalité de Saint-Hugues (environ 1200 habitants) et Sainte-Hélène-de-Bagot (1600 habitants), à 5 km de l'Autoroute 20. La ville de Saint-Hyacinthe (50 000 habitants) se trouve à moins de 20 km du site et la ville de Drummondville à environ 30 km.

Enfin, la ville de Montréal se situe à moins de 65 km du site. Ce site bénéficie donc de toutes les infrastructures souhaitables pour un projet de centrale géothermique.

Cote : 

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans le réseau intégré d'Hydro-Québec.

Cote : 

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Étant donnée la proximité avec des villes (Saint-Hugues, Sainte-Hélène-de-Bagot et Saint-Hyacinthe), il est très probable qu'il existe un marché pour la chaleur. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : 

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région agricole et à proximité de nombreux puits.

Le site est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

Site # 5 : Brossard

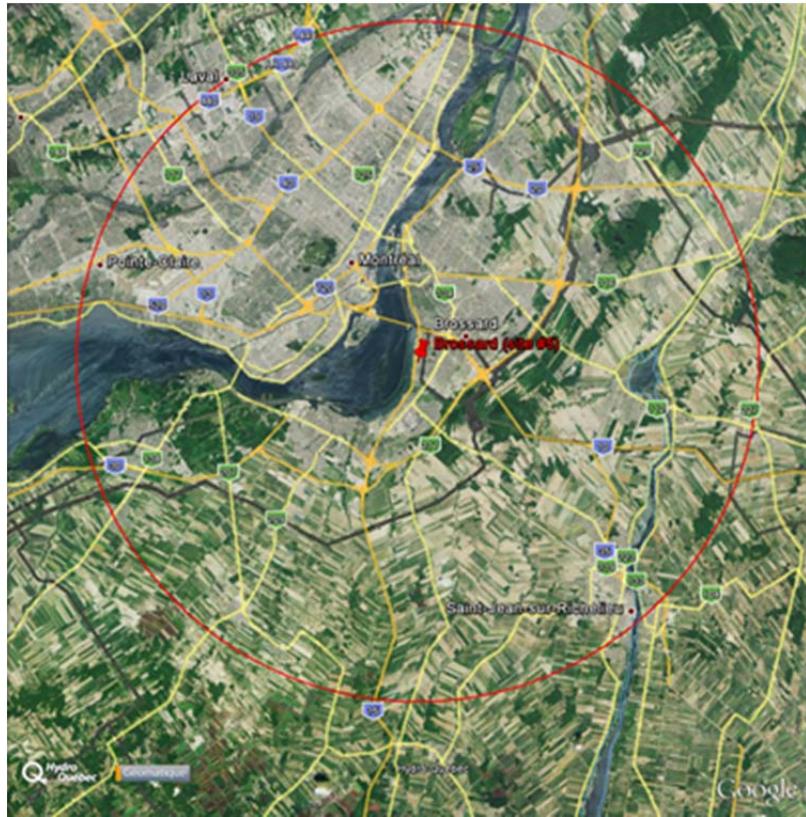


Figure A-5 : Brossard (site #5)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : 45° 26' 40"

Longitude : -73° 29' 26"

Municipalité :

Brossard

Bassin :

Basses-Terres-du-Saint-Laurent de la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent

Formation géologique et profondeur analysée :

Site # 5 a) Base du Groupe de Potsdam à 1600 m

Site # 5 b) Socle précambrien du Grenville à 5500 m

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

La température a été déterminée à partir du modèle représentant les ressources géothermiques du bassin des BSTL [BED15]. Ce site se situe dans un anomalie de température. Toutefois, cette information se base sur un nombre limité de données.

a) La température pour ce site à la base du Groupe de Potsdam (1600 m) est de 50 °C.

Cote : 

b) La température pour ce site dans le socle précambrien à 5500 m est de 148 °C.

Cote : 

Critère # 2 : Niveau de profondeur

a) La première profondeur considérée est à la base du Groupe de Potsdam, soit 1600 m.

Cote : 

b) La seconde profondeur considérée est de 5500 m, dans le socle précambrien.

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

La base du Groupe de Potsdam, composée de grès et de conglomérats, comporte des caractéristiques lithographiques favorables, une cote positif/bon lui est attribuée. À la seconde profondeur considérée, les roches sont métamorphiques (gneiss) et une cote inférieure est attribuée.

a) À une profondeur de 2900 m (base du Groupe de Potsdam) : grès

Cote : 

b) À une profondeur de 5500 m, dans le socle précambrien : roches ignées et/ou métamorphiques

Cote : 

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 4 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance élevé (> 3) et la cote positif/bon peut lui être attribuée.

Cote : 

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il n'existe pas de données de température mesurée à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site. La donnée la plus profonde se retrouve à 1400 m.

Cote : 

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site situé dans une section des Basses-Terres-du-Saint-Laurent dont la superficie comparable est d'environ 1800 km². Ce site présente donc une représentativité moyenne.

Cote : 

Critère # 7 : Risques liées à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

Le site se situe à proximité du fleuve St-Laurent (moins d'un kilomètre) (plus de 12 000 m/s). La cote du site est positive.

Cote : 

Critère #9 : Présence d'infrastructures

Le site est situé dans la municipalité de Brossard (environ 80 000 habitants), à proximité des autoroutes 132, 15, 20 et 10. La ville de Montréal se trouve à proximité du site. Ce site bénéficie donc de toutes les infrastructures souhaitables pour un projet de centrale géothermique.

Cote : 

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans le réseau intégré d'Hydro-Québec.

Cote : 

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Étant en milieu urbain relativement dense, il est très probable qu'il existe un marché pour la chaleur. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : 

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région urbaine. La position exacte du forage devra alors être sélectionnée avec soin. Elle devra probablement être déplacée de quelques kilomètres. La micoséismicité potentiellement induite par la stimulation du site devra absolument être très bien gérée et un programme de communication est essentiel. Des conflits d'usage sont à prévoir, mais aucun enjeu insurmontable n'est identifié pour le moment. Ce critère devra être réévalué avec soin lors de l'exploration ou de la réalisation d'un projet.

Le site est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

Site # 6 : La Mitis



Figure A-6 : La Mitis (site #6)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : **48° 21' 26"**

Longitude : **-67° 55' 12"**

Municipalité :

Lac-à-la-Croix (territoire non organisé, MRC de la Mitis)

Bassin :

S-D de la Gaspésie dans la province géologique des Appalaches.

Formation géologique et profondeur analysée :

Site # 6 a) Base du bassin à 3700 m.

Site # 6 b) Socle du bassin S-D de la Gaspésie à 5500 m, dans le bassin C-O des Appalaches sous-jacent.

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

Selon les données répertoriées dans [MAJ13] :

a) La température pour ce site à la base du bassin S-D de la Gaspésie (3700 m) est de 142 °C.

Cote : 

b) La température à 5500 m dans le socle sous-jacent (i.e. le bassin C-O des Appalaches) est estimée à 218°C.

Cote :  

Critère # 2 : Niveau de profondeur

a) La première profondeur considérée pour ce site est à la base du bassin est de 3700 m.

Cote : 

b) La seconde profondeur considérée pour ce site est de 5500 m, dans le socle sous-jacent (i.e. le bassin C-O des Appalaches).

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

La base du bassin, composée majoritairement de mudstones, comporte des caractéristiques lithographiques faibles, une cote négative lui est donc attribuée. À la seconde profondeur, les roches sont métamorphiques et une cote également faible lui est attribuée.

a) Site à une profondeur de 3700 m : mudstone.

Cote : 

b) Site à une profondeur de 5500 m, dans le socle : roches métamorphiques.

Cote : 

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 2 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance moyen (2 ou 3).

Cote : 

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il existe des données de température mesurées à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : 

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site est relativement typique du sud-est des Basses-Terres-du-Saint-Laurent. Environ 40 km² montrent des caractéristiques comparables. Ce site présente donc une représentativité moyenne.

Cote : 

Critère # 7 : Risques liés à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

La rivière Mitis se situe à quelques centaines de mètres du site évalué (bassin versant de 1800 km², débit moyen entre 10 et 130 m/s à l'embouchure de la rivière)⁹. Le site se situe à environ 4km du Lac-Mitis (Lac Inférieur) et à moins de 40 km de l'Estuaire du Saint-Laurent. La cote est positive.

Cote : 

Critère #9 : Présence d'infrastructures

Le site est situé à 10 km du centre de la municipalité de Saint-Charles-Garnier (environ 300 habitants), environ 15 km de La Rédemption (500 habitants) et un peu plus de 20 km de Saint-

⁹ Station 02QA003, données de 1921 à 1994 (www.eau.ec.gc.ca)

Gabriel-de-Rimouski (1100 habitants). La route régionale la plus proche se trouve à 20 km, la 234. Le site se trouve à environ 75 km de Rimouski (environ 48 000 habitants)¹⁰ et 50 km de Mont-Joli (6000 habitants). Le site est situé à environ 5 km du réseau de distribution d'Hydro-Québec.

Cote : ○

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans le réseau intégré d'Hydro-Québec.

Cote : ○

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Le site ne se trouve pas à proximité de villes ou de villages importants. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : —

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région plutôt forestière, à proximité de régions agricoles.

Il est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Le site est situé juste à l'extérieur de la l'habitat faunique du Lac Grassy.

Cote : ○

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

¹⁰ <http://www.ville.rimouski.qc.ca/fr/decouvrezRimouski/>

Site # 7 : Gaspé



Figure A-7 : Gaspé (site #7)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : 48° 51' 19 "

Longitude : -64° 39' 35 "

Municipalité :

Gaspé

Bassin :

S-D de la Gaspésie dans la province géologique des Appalaches.

Formation géologique et profondeur analysée :

Site #7 a) Base du bassin à 4400 m

Site #7 b) Socle du bassin S-D de la Gaspésie à 5500 m, dans le bassin C-O des Appalaches sous-jacent.

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

Selon les données répertoriées dans [MAJ13] :

a) La température pour ce site à la base du bassin (4400 m) est de 186 °C.

Cote : 

b) La température pour ce site dans le socle à 5500 m est de 228 °C.

Cote : 

Critère # 2 : Niveau de profondeur

a) La première profondeur considérée pour ce site à la base du bassin est de 4400 m.

Cote : 

b) La seconde profondeur considérée pour ce site est de 5500 m, dans le socle (i.e. le bassin C-O des Appalaches sous-jacent).

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

La base du bassin, composé de mudstones, comporte des caractéristiques lithographiques faibles, une cote négative lui est donc attribuée. Dans le socle, les roches sont métamorphiques et une cote également faible lui est attribuée.

a) Site à une profondeur de 4400 m (base du bassin) : mudstones et conglomérat

Cote : 

b) Site à une profondeur de 5500 m, dans le socle du bassin S-D de la Gaspésie (i.e. le bassin C-O des Appalaches sous-jacent): roches métamorphiques.

Cote : 

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de plus de 50 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance élevé (> 3) et la cote positif/bon peut lui être attribuée.

Cote : +

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il existe des données de température mesurée à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : -

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site a une superficie comparable d'environ 10 km². Il présente donc une représentativité moyenne.

Cote : -

Critère # 7 : Risques liés à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet. **Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau**

La rivière York (débit moyen de 5 à 200 m³/s, bassin versant de 1010 km²)¹¹ se trouve à 2 km du site et la rivière Darmouth (débit moyen jusqu'à 100 m³/s, bassin versant de 645 km²)¹², à 7 km. Le site se situe à de 12 km de la baie de Gaspé dans le golfe du Saint-Laurent. La cote du site est positive.

Cote : +

Critère #9 : Présence d'infrastructures

¹¹ Station 01BH002, données jusqu'en 1981 (www.eau.ec.gc.ca)

¹² Station 01BH005, données jusqu'en 2004 (www.eau.ec.gc.ca)

Le site est situé à moins de 2 km de la route 198 qui relie la municipalité de Murdochville à Gaspé. Le site est à environ 15 km du centre de la municipalité de Gaspé (environ 15 000 habitants). Il est situé à environ 2 km du réseau de distribution d'Hydro-Québec.

Cote : 

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans le réseau intégré d'Hydro-Québec.

Cote : 

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Le site se trouve à proximité d'une ville importante pour la région, où il y a un marché potentiel pour la chaleur. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : 

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région plutôt forestière.

Le site est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Le site est situé juste à moins de 2 km d'aires protégées (Écosystème forestier du Ruisseau Waterings, habitat faunique de la rivière York-Canton Baillargeon). Il est également situé à proximité du parc Forillon (moins de 10 km) et d'aires protégées dans la baie de Gaspé.

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

Site # 8 : Îles-de-la-Madeleine



Figure A-8 : Îles-de-la-Madeleine (site #8)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : 47° 25' 35 "

Longitude : -61° 52' 08 "

Municipalité :

Les Îles-de-la-Madeleine (Fatima)

Bassin:

Bassin de Madeleine de la province géologique des Appalaches

Formation géologique et profondeur analysée :

Base du bassin à 5500 m

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

Selon les données répertoriées dans [MAJ13], la température pour ce site à la base du bassin (5500 m) est de 150 °C.

Cote : 

Critère # 2 : Niveau de profondeur

5500 m correspond à une cote neutre.

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

La base du bassin, composée de grès, comporte des caractéristiques lithographiques favorables, une cote positif/bon lui est attribuée.

Cote : 

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 5 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour un niveau de confiance élevé (> 3) et la cote positif/bon peut lui être attribuée.

Cote : 

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il n'existe pas de donnée de température mesurée à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : 

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site situé dans le bassin de Madeleine. La superficie des îles-la-Madeleine est de 205,6 km², mais la surface « constructible » n'est que de 160 km².¹³

Cote : —

Critère # 7 : Risques liés à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

Le site est situé à proximité du golfe du Saint-Laurent et de quelques ruisseaux de petite dimension. Sur tout le territoire des îles-de-la-Madeleine, l'eau souterraine est la seule source d'approvisionnement en eau potable. L'utilisation d'eau douce pour, par exemple, le refroidissement de la centrale pourrait être problématique. La cote positive peut être attribuée, mais une attention spéciale doit être apportée pour faire l'utilisation d'eau de mer seulement.

Cote : ○ * eau de mer seulement

Critère #9 : Présence d'infrastructures

L'agglomération des îles-de-la-Madeleine compte environ 12 500 habitants. Le site évalué est situé à moins de 4 km de la localité de Fatima (environ 2000 habitants) et moins de 6 km de Cap-aux-Meules (environ 1600 habitants).

Cote : ○

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site se situe dans un réseau autonome d'Hydro-Québec.

Cote : +

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

¹³ Agglomération des îles-de-la-Madeleine, Schéma d'aménagement et de développement révisé, disponible au www.muniles.ca/wp-content/uploads/schema_d_amenagement_et_de_developpement_revise_a-2010-07.pdf

Le site se trouve à proximité de villages, où il y a un marché potentiel pour la chaleur. Si le site est envisagé plus sérieusement, une identification formelle d'utilisateurs potentiels pourrait être effectuée.

Cote : 

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé dans une région dominée par la pêche et le tourisme.

Le site est situé dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Le site est situé dans un habitat faunique (Pluvier SIF, PS-007 Plage de l'Hôpital). Divers habitats fauniques (oiseaux) se trouvent sur le territoire des îles-de-la-Madeleine.

Sur tout le territoire, l'eau souterraine constitue la seule source d'approvisionnement en eau potable. La très grande perméabilité de la formation géologique rend tout le territoire des îles vulnérable aux contaminations.¹⁴

L'emplacement exact du site devra être sélectionné avec soin.

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée

¹⁴ Source : MDDELCC, [www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/regions/region11/11-gaspesie\(suite\).htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/regions/region11/11-gaspesie(suite).htm)

Site # 9 : Anticosti-Arco

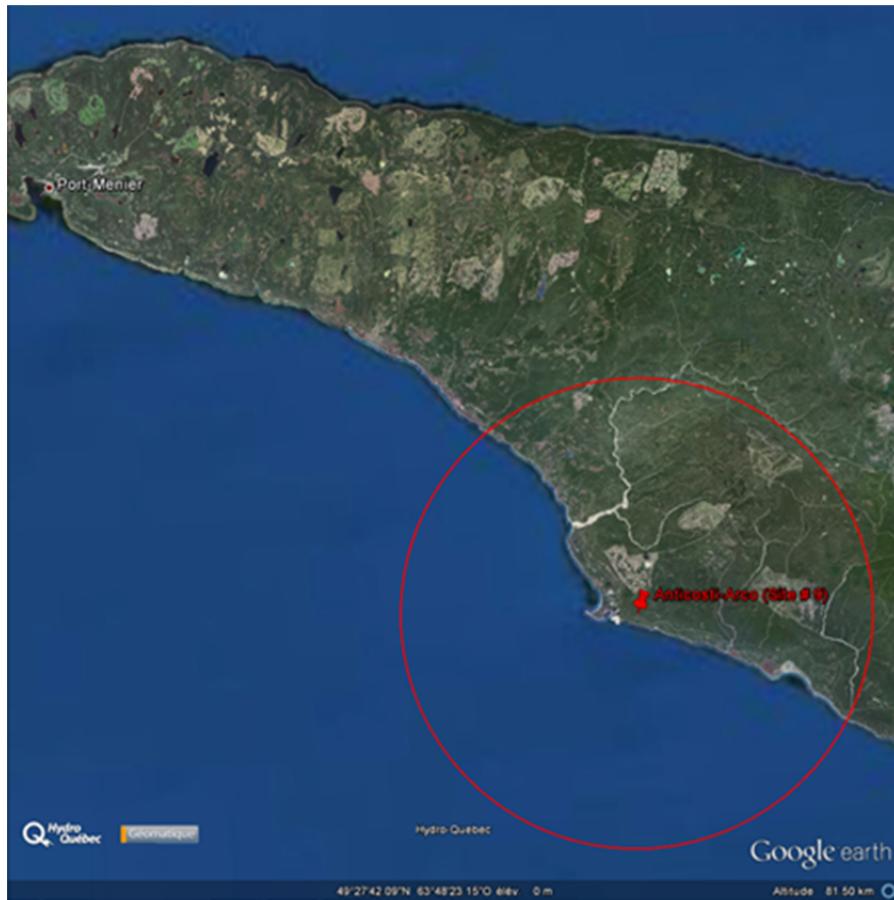


Figure A-9 : Anticosti-Arco (site #9)

Données de base

Coordonnées (NAD 83) :

Latitude : 49° 23' 18"

Longitude : -63° 31' 26"

Municipalité :

Municipalité de l'Île-d'Anticosti

Bassin :

Anticosti de la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent

Formation géologique et profondeur analysée :

Site 9 a) Base du bassin à 3800 m

Site 9 b) Socle à 5500 m dans la province de Grenville

Évaluation des critères

Critère # 1 : Niveau de température

Site 9 a) La température pour ce site à la base du bassin (3800 m) est de 90 °C.

Cote : 

Site 9 b) La température pour ce site à la base du bassin (5 500 m) est de 126 °C.

Cote : 

Critère # 2 : Niveau de profondeur

Site 9 a) La première profondeur considérée est celle à la base du bassin, soit 3800 m.

Cote : 

Site 9 a) La seconde profondeur considérée est dans le socle précambrien à 5500 m.

Cote : 

Critère # 3 : Caractéristiques lithologiques

Site 9 a) La base du bassin Anticosti est composée de dolomies, une cote neutre lui est attribuée.

Cote : 

Site 9 b) Le socle, à 5500 m, est constitué de roches ignées et/ou métamorphiques.

Cote : 

Critère # 4 : Incertitude liée à la géologie du site

L'évaluation de la géologie du site en question a été basée sur les données en provenance de 5 puits d'une profondeur de plus de 500 m dans un rayon de 25 km. Ce site répond donc au seuil pour une confiance élevée (> 3) et la cote positif/bon lui peut être attribuée.

Cote : +

Critère # 5 : Incertitude liée à la température du site

Il existe des données de température mesurées à une profondeur de plus de 2000 mètres dans un rayon de 10 km autour du site.

Cote : +

Critère # 6 : Représentativité du site

Ce site situé dans un secteur du bassin Anticosti dont la dimension représente environ 2500 km².

Ce site présente donc une bonne représentativité.

Cote : +

Critère # 7 : Risques liés à la sismicité

Aucune cote attribuée à ce stade du projet.

Critère #8 : Disponibilité de ressources en eau

Le site est situé à moins de 10 km de la rivière Jupiter qui a un bassin versant d'environ 600 km rivière et dont le débit moyen varie de quelques m³/s à plus de 80 m³/s.¹⁵ Un nombre élevé de ruisseaux de plus petites dimensions sont à proximité du site. Enfin, le site est situé à 1 km du golfe du Saint-Laurent qui peut alimenter le site en eau salée. La cote du site est positive.

Cote : +

Critère #9 : Présence d'infrastructures

Le site est situé sur la côte sud-ouest de l'Île d'Anticosti à environ 6 km de l'Anse des Pope. La seule infrastructure notable à proximité est la présence d'une route secondaire (aucun réseau de distribution d'Hydro-Québec).

Cote : —

¹⁵ Station 02WD003, données de 1980 à 1993 (www.eau.ec.gc.ca)

Critère # 10 : Débouché pour un nouvel approvisionnement en électricité renouvelable ou « verte »

Ce site ne se situe ni près du réseau intégré d'Hydro-Québec ni près d'un réseau autonome. À moins qu'un projet de développement se matérialise, ce site est à exclure.

Cote : 

Critère # 11 : Marché pour l'utilisation de la chaleur

Aucun marché pour la chaleur significatif n'existe pour le moment.

Cote : 

Critère # 12 : Conflit d'usage du territoire, enjeux environnementaux ou de sécurité

Le site est situé au sud du Saint-Laurent dans une région où un autre parti est titulaire de droits pour le sous-sol (pétrole et gaz).

Cote : 

Critère # 13 : Acceptabilité sociale

Aucune cote attribuée