

JASMIN RAYMOND

LOW-TEMPERATURE GEOTHERMAL POTENTIAL OF THE GASPÉ MINES, MURDOCHVILLE

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise interuniversitaire en sciences de la Terre
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DE GÉOLOGIE ET DE GÉNIE GÉOLOGIQUE
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2006

Résumé

Évaluer le potentiel géothermique d'une mine inondée est une tâche complexe qui nécessite la réalisation d'un test hydraulique et la modélisation de l'écoulement de l'eau souterraine à travers un réservoir non conventionnel. Cette tâche peut être efficacement complétée en réutilisant les anciennes infrastructures minières. Lors de cette étude, un puits de ventilation débouchant dans les galeries souterraines a été converti en ouvrage de captage d'eau profond. L'ancien puits de ventilation 1100 des Mines Gaspé à Murdochville au Canada a été utilisé pour effectuer un essai de pompage durant 3 semaines à un débit moyen de $0.062 \text{ m}^3/\text{s}$. L'objectif principal des travaux encourus était d'évaluer le potentiel géothermique du site minier. Lors de l'essai, moins de 3,65 m de rabattement ont été observés et la température moyenne de l'eau pompée a été de $6,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Le comportement de la nappe souterraine durant l'essai a été reproduit à l'aide d'un modèle d'éléments finis tridimensionnel simulant l'écoulement de l'eau à travers les galeries. Les prédictions du modèle ainsi qu'un bilan énergétique simplifié suggèrent que le taux d'extraction d'énergie durable est atteint à un débit de pompage de $0.049 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui indique un potentiel géothermique de 765 kW. Cette énergie pourrait être extraite à l'aide de pompes à chaleur géothermiques afin de chauffer les bâtiments du parc industriel de Murdochville.

Mots-clés : énergie, géothermie, pompe à chaleur, essai de pompage, mine, Mines Gaspé, Murdochville, Canada.

Abstract

Assessing the low-temperature geothermal potential of a flooded mine site is a complex task involving hydraulic testing and modelling of an unusual man-made reservoir. It can be achieved efficiently taking advantages of the former mine infrastructures such as mining shaft that provided here a deep well directly connected to the mine workings. The former mining shaft P1100 of the flooded Gaspé Mines near Murdochville, Canada, was used to perform a pumping test during a study with the objective of assessing the geothermal potential of the mine site. Water was pumped during 3 weeks at a rate averaging $0.062 \text{ m}^3/\text{s}$ with a mean recovery temperature equal to $6.7 \text{ }^\circ\text{C}$ and less than 3.65 m drawdown was observed. The hydraulic response of the pumping test was reproduced with a three-dimensional finite element model that simulates groundwater flow through the mine workings. Model predictions and a simplified energy balance calculation suggested that the sustainable energy extraction rate is attained at a pumping rate of $0.049 \text{ m}^3/\text{s}$ which yield a geothermal potential of 765 kW. This energy could be extracted with geothermal heat pumps used for space heating at Murdochville industrial park.

Key words: energy, geothermal, heat pumps, pumping test, mine, Gaspé Mines, Murdochville, Canada.

Avant-propos

Depuis la fermeture des Mines Gaspés en 1999, la ville de Murdochville mise sur le développement durable et les énergies renouvelables pour relancer ses activités économiques. La ville s'est d'abord concentrée sur le développement d'importants parcs éoliens aménagés sur les montagnes avoisinantes. La mise en chantier des éoliennes a fourni plusieurs emplois techniques dans un délai rapide aux habitants de la région. À moyen terme, la ville compte en partie sur la valorisation du potentiel géothermique des Mines Gaspés afin d'attirer de nouvelles entreprises à son parc industriel. L'eau qui inonde les Mines Gaspés peut-être utilisée pour chauffer des bâtiments à l'aide de thermopompes géothermiques. Un réseau de distribution d'eau souterraine provenant de la mine pourrait être installé au parc industriel afin d'approvisionner les entreprises qui désirent se chauffer avec un système de thermopompes géothermiques. Ces dernières bénéficieraient d'importantes économies d'énergie atteignant au moins le deux tiers de leurs frais de chauffage. L'accessibilité à cette énergie peu coûteuse devrait attirer de nouvelles entreprises énergivores au parc industriel de Murdochville.

Ce projet de maîtrise, ayant comme principal objectif d'évaluer le potentiel d'extraction d'énergie géothermique des Mines Gaspé, a été entamé dans le but de valoriser les ressources géothermiques à Murdochville. Les travaux ont débuté par une caractérisation du site à l'étude, laquelle a permis d'évaluer le volume d'eau et la quantité d'énergie contenue dans les galeries souterraines. Une importante campagne de terrain comportant un essai de pompage a ensuite permis d'estimer les propriétés hydrauliques du milieu souterrain et la quantité d'énergie extractible. L'essai à débit élevé a été effectué dans un ancien puits de ventilation durant une période de trois semaines. La nature du puits de pompage et la complexité de l'essai ont nécessité la mobilisation de machinerie lourde, comme une foreuse, un marteau-piqueur et une grue, durant environ deux semaines afin d'installer la pompe et les divers dispositifs de mesure. Des sondes de température et pression ont été installées pour suivre la température et le débit de l'eau pompée ainsi que

le niveau de la nappe durant l'essai. L'eau pompée a également été échantillonnée afin d'évaluer sa composition chimique. Tous ces travaux de terrain ont été réalisés grâce au support financier du Comité de relance de la ville de Murdochville. Les résultats de la caractérisation du site et de l'essai de pompage ont été documentés dans deux rapports techniques adressés au Comité de relance de la ville de Murdochville. Le lecteur peut consulter ces deux rapports annexés à ce mémoire s'il désire obtenir plus de précisions sur les travaux de terrain réalisés.

À la dernière étape de ce projet, des travaux de modélisation de l'écoulement de l'eau souterraine ont été réalisés avec le logiciel HydroGeoSphere. Un maillage tridimensionnel a été créé afin de reproduire le réservoir d'eau des Mines Gaspé. Les propriétés hydrauliques du modèle ont été calibrées selon les données enregistrées lors de l'essai de pompage. Des simulations de pompage ont par la suite permis d'estimer la quantité d'énergie qui peut être captée dans l'ancien puits de ventilation. Finalement, un bilan énergétique simplifié a été utilisé pour évaluer le potentiel d'extraction d'énergie géothermique des Mines Gaspés. La totalité des travaux est documenté sous la forme d'un article rédigé en anglais qui sera soumis à une revue spécialisée. Il importe de noter que l'interprétation des données de terrain diffère légèrement entre l'article et les rapports techniques puisque ces rapports présentaient des résultats préliminaires alors que des travaux de modélisation plus détaillés ont apportés de nouveaux éléments à l'article.

Bonne lecture !

Remerciements

Ce projet de maîtrise origine de mon initiative et a pris une ampleur inattendue lors de la dernière année. Les travaux de terrain réalisés n'auraient pu avoir lieu sans la participation financière du Comité de relance de la ville de Murdochville et l'appui de certains individus. Francine Roy, directrice de la Chambre de commerce et de tourisme de Murdochville, a permis d'obtenir les fonds pour une visite initiale sur le terrain. André Lemieux, commissaire à la relance au Comité de relance de la ville de Murdochville, a également joué un rôle clé dans ce projet en apportant le financement nécessaire afin de réaliser les activités de terrain. De chaleureux remerciements sont dédiés aux gens de Murdochville qui ont cru à mes idées et se sont appropriés ce projet.

Mon superviseur, René Therrien, se distingue par son ouverture d'esprit puisqu'il m'a encouragé à orienter mes travaux de recherche selon mes intérêts. Peu de professeur aurait accepté dès le début d'investir autant de temps dans un projet de recherche qui émane d'une idée développée par un étudiant. Pierre Gélinas, professeur retraité, est également remercié pour l'aide apportée lors de la planification des travaux de terrain. Le contenu de ce mémoire a été amélioré grâce aux commentaires de Philippe Chevrier. Finalement, un remerciement spécial est dédié à Émie Labrecque qui, par sa rigueur soutenue, continue de m'accompagner et m'aider à performer dans tous les défis que j'entreprends.

Une bourse du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), accordée à Jasmin Raymond, et des subventions de recherche du Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG), octroyés à René Therrien, ont apporté un soutien financier additionnel. La collaboration de la ville de Murdochville, J.M. Massé et fils ainsi que de Falconbridge a contribué à la réussite de ce projet.

*Murdochville, une force de la nature,
un vent nouveau !*

Contents

Résumé	ii
Abstract	iii
Avant-propos	iv
Remerciements	vi
Nomenclature	xii
Introduction	1
1 Site location	3
2 Methodology	5
2.1 Site characterisation	5
2.2 Pumping test	7
2.3 Groundwater flow modelling	10
3 Conceptual model	12
3.1 Hydrogeological context	12
3.2 Mine workings	13
3.3 Geothermal gradient and heat flux	15
3.4 Resource assessment	16
4 Pumping test results	18
4.1 Pump set up	18
4.2 Water analyses	18
4.3 Drawdown	19
4.4 Temperature and geothermal energy extraction	21
5 Modelling results	22

5.1	Model mesh, properties and boundary conditions	22
5.2	Model Calibration	25
5.3	Captured energy	26
5.4	Energy balance calculation	28
6	Discussion	30
6.1	Geothermal potential	30
6.2	Modelling strategies	32
	Conclusion	32
	References	33
	Annexe	37

List of tables

Table 1. Water volume and energy contained in underground sections.	17
Table 2. Pumped water chemistry and calcium carbonate saturation indexes.....	19
Table 3. Constant head boundary values.....	25
Table 4. Captured and extractable energy at various pumping rates.	27

List of figures

Figure 1. Simplified topographical map of the Gaspé Mines area..	4
Figure 2. Gaspé Mines schematic cross-section showing hydrostratigraphy and mine workings.....	13
Figure 3. Surface map showing the area covered by underground mine workings, water table elevation and boundaries used for groundwater flow modelling.....	15
Figure 4. Temperature profiles measured in explorations holes.....	16
Figure 5. Drawdown during the pumping test.....	20
Figure 6. Pumped water temperature measured at 42 m depth in P1100.....	21
Figure 7. Model mesh and simulation results obtained during model calibration.....	24
Figure 8. Modelled hydraulic head, drawdown and capture zones shown in plan view after 6 months of pumping at 0.049 m ³ /s.....	28

Nomenclature

Cp_b	Bulk specific heat capacity [$L^2 t^{-2} T^{-1}$]
Cp_s	Solids specific heat capacity [$L^2 t^{-2} T^{-1}$]
Cp_w	Water specific heat capacity [$L^2 t^{-2} T^{-1}$]
E_c	Captured energy [$L^2 M t^{-3}$]
E_{hp}	Extractable energy with heat pumps [$L^2 M t^{-3}$]
E_r	Energy resources [$L^2 M t^{-2}$]
g	Gravitational acceleration [$L t^{-2}$]
g_g	Geothermal gradient [$T L^{-1}$]
h	Hydraulic head [L]
h_{we}	Hydraulic head in well screen [L]
H	Saturated thickness of the aquifer [L]
k	Permeability tensor [L^2]
K	Hydraulic conductivity [$L t^{-1}$]
K_r	Radial hydraulic conductivity [$L t^{-1}$]
K_z	Vertical hydraulic conductivity [$L t^{-1}$]
K_{we}	Hydraulic conductivity of a well [$L t^{-1}$]
L_s	Total length of the well screen [L]
n	Porosity [$L^3 L^{-3}$]
pH_s	Saturation pH for calcium carbonate
P_{we}	Wetted perimeter of the well [L]
q	Fluid flux [$L t^{-1}$]
q_{we}	Well fluid flux [$L t^{-1}$]
Q	Pumping rate [$L^3 t^{-1}$]
r	Distance from a piezometer to the pumping well [L]
r_c	Well casing radius [L]
r_f	Fracture radius [L]

r_s	Well screen radius [L]
s	Drawdown in a piezometer [L]
S_s	Specific storage coefficient [L^{-1}]
T_h	Heat pump reference temperature [T]
T_p	Pumped water temperature [T]
V	Volume [L^3]
z	Depth [L]
z_f	Distance from the fracture to the base of the aquifer [L]
z_p	Distance from the base of a piezometer to the base of the aquifer [L]
ρ_b	Bulk density [$M L^{-3}$]
ρ_s	Solids density [$M L^{-3}$]
ρ_w	Water density [$M L^{-3}$]
τ	Integration variable
ν	Integration variable
μ_w	Water viscosity [$M L^{-1} t^{-1}$]
λ_b	Bulk thermal conductivity [$L M t^{-3} T^{-1}$]
λ_s	Solids thermal conductivity [$L M t^{-3} T^{-1}$]
λ_w	Water thermal conductivity [$L M t^{-3} T^{-1}$]
Γ_{bo}	Fluid exchange rate between subsurface domain and boundaries [$L^3 L^{-3} t^{-1}$]
Γ_{we}	Fluid exchange rate between subsurface domain and wells [$L^3 L^{-3} t^{-1}$]

where, L; length, M; mass T; temperature and t; time.

Introduction

Flooded underground mines are recognized for their enhanced low-temperature geothermal energy extraction potential since a deep underground mine has the essential elements to form an effective low-grade geothermal reservoir. These elements are water, heat and permeability, with the latter being enhanced by man-made excavations. Groundwater rebound following mine dewatering (Adams and Younger, 2001) supplies water to flood workings and transports the energy released by earth's natural heat flux and mineral oxidation (Ghomshei and Meech, 2003). Former mine conduits can be used to recover mine water at elevated pumping rates (Raymond and Therrien, 2006) to extract the energy stored in the mine with heat pump technology (Huttrer, 1997). Mine water is therefore a source of renewable energy that can contribute to the reduction of green-house gases emissions, in contrast with the negative environmental impacts associated with mine water chemistry (Banks et al., 1997).

Slightly increased temperatures found in coal mines resulting from coal oxidation brought the initial interest to develop techniques that can be used to extract energy from mine water. Springhill, Nova-Scotia, has been the host of successful thermal energy extraction from mine water since 1989. Groundwater is recovered at 18 °C from Springhill's coal mine and used to heat and cool industrial buildings with heat pumps (Jessop et al., 1995). Energy extraction from coal mine water has also been undertaken at Shettleston and Lumphinnans in Scotland, United Kingdom (John Gilbert Architects, 2006a and 2006b). Other potential coal mines located in Europe and the United States were studied by Malolepszy et al. (2005) and Watzlaf and Ackman (2006), respectively. Energy extraction from water flooding a base-metal mine was successively developed at Park Hills, Missouri, United States in 1995 to heat and cool a municipal building with a heat pump system fed by lead mine water (Geothermal Heat Pump Consortium, 1997). One hundred and sixty-five inactive underground base-metal mines were inventoried in Québec alone (Arkay, 1992). Groundwater contained in most of these mine geothermal reservoirs can provide heat to

local communities. Additional studies are required at flooded mines to promote the use of their abundant geothermal energy resources.

Recent closures of the mines and smelter in Murdochville have provided the opportunity for this municipality to explore its geothermal resources. This manuscript describes a study conducted at Murdochville with the objective of assessing the geothermal energy extraction potential of the flooded Gaspé Mines reservoir. A groundwater flow numerical model was used to estimate the energy that can be capture from mine water and to determine the site geothermal potential with a simplified energy balance calculation. This study went to a deeper level than previous case studies (Jessop et al., 1995; Watzlaf and Ackman 2006) that focused on general concepts and resource estimate from mine water volume. The work realised at Murdochville also provided an occasion to evaluate the mine workings hydraulic properties with the response of a pumping test performed in a former mining shaft. The nature and complexity of testing a reservoir formed by mine workings made this task challenging. Unique results were obtained to fully characterize the studied site. Methodology and results of the site characterisation, the pumping test and the groundwater flow modelling are reported here to provide guidelines for further studies. The finite element model used in this work is discussed to provide additional strategies to simulate groundwater flow in mine geothermal reservoirs.

1 Site location

The Gaspé Mines are located at a latitude of about 49° in the middle of the Gaspé Peninsula near the town of Murdochville, Québec, Canada (**Figure 1**). The former mine infrastructures sit in a mountainous region near the Copper, Needle and Porphyry creeks that drain the area toward the southeast. The mean atmospheric temperature near surface is 1.6 °C and precipitations average 1118 mm per year (Environment Canada, 2000). Copper porphyry and skarn mineral deposits were exploited from 1951 to 1999. Two large open pits, the Needle Mountain and the Copper Mountain, and three main underground zones, B, C and E, were excavated in the Early Paleozoic Gaspé Superior Limestones Group. A total of 47 388 836 tons of rock were mined from the underground zones at a depth ranging from 100 to 700 m making the Gaspé Mines a promising low-temperature geothermal reservoir (Raymond and Therrien, 2005a).

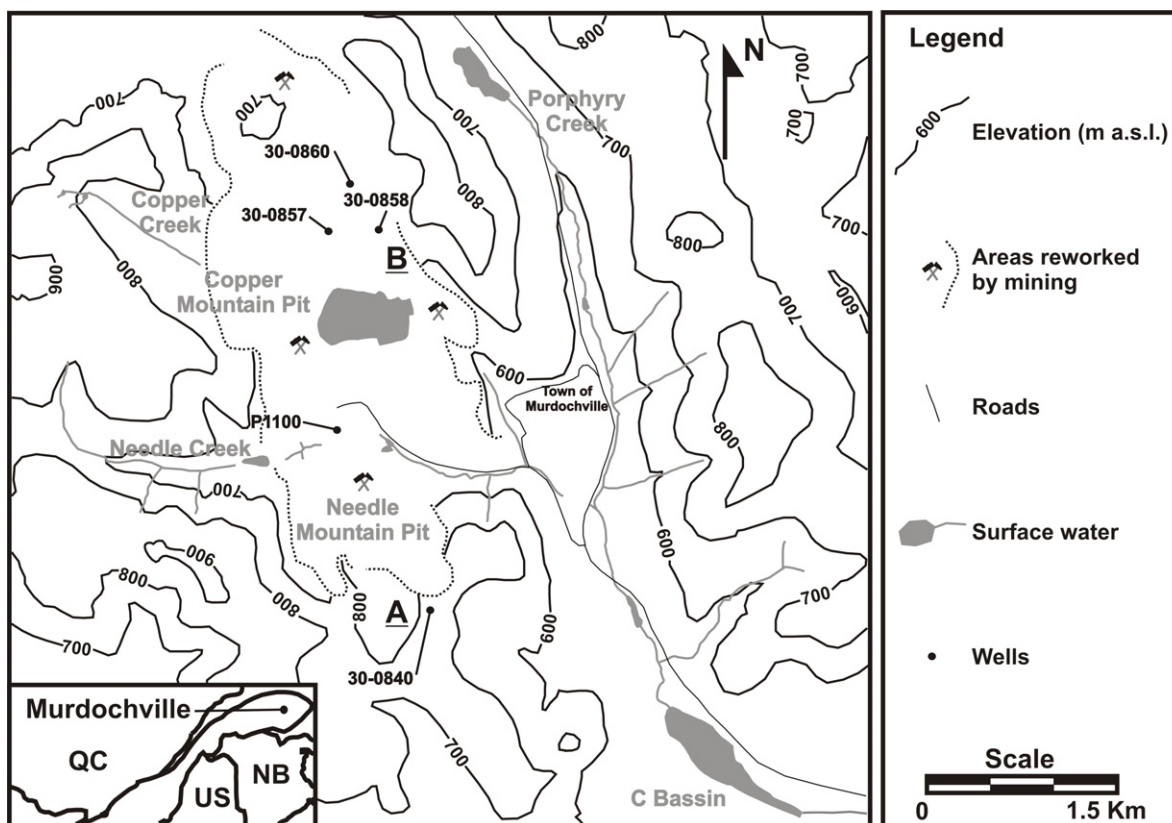


Figure 1. Simplified topographical map of the Gaspé Mines area. Murdochville location is shown in the lower left corner. A and B denote the approximate location of the schematic cross section in Figure 2. Abbreviations: NB; New-Brunswick, QC; Québec, US; United States.

2 Methodology

2.1 Site characterisation

Site characterisation has been primarily conducted to assess the geothermal resources of the reservoir formed by the old underground mine. Geological mine reports and archived maps of the workings were consulted to build a hydrogeological conceptual model. Rock units with similar hydraulic and thermal properties were grouped into hydrostratigraphic units. The weight percent of the main mineral phases (Quartz, Calcite and Albite-Microcline) was inferred for each unit using geochemical data.

Thermal properties of the hydrostratigraphic units were estimated from inferred mineral contents and porosities assigned to each unit based on the rock type classification proposed by Freeze and Cherry (1979). The bulk thermal conductivity λ_b of each unit was calculated using (Brailsford and Major, 1964):

$$\lambda_b = \lambda_s \cdot \frac{(X - 2 \cdot n \cdot Y)}{(X + n \cdot Y)} \quad \text{eq. 1}$$

where:

$$X = 2a + 1 \quad \text{eq. 2}$$

$$Y = a - 1 \quad \text{eq. 3}$$

and

$$a = \frac{\lambda_s}{\lambda_w} \quad \text{eq. 4}$$

The geometric average of mineral thermal conductivities was calculated from the main mineral phases to determine the thermal conductivity of the solids λ_s . Water and mineral thermal conductivities were obtained in Chemical Rubber Company (2006) and in Clauser and Huenges (1995). The estimated porosity values were used for n . The bulk specific heat capacity Cp_b of each unit was calculated with (Waples and Waples, 2004b):

$$Cp_b = \frac{\rho_s \cdot Cp_s \cdot (1 - n) + \rho_w \cdot Cp_w \cdot n}{\rho_b} \quad \text{eq. 5}$$

The solids specific heat capacity Cp_s was calculated as the weighted average of the specific heat capacity of the main mineral phases. Water and mineral specific heat capacities were obtained from Somerton (1992) and Waples and Waples (2004a). The solid density ρ_s of each unit was estimated from the inferred mineralogy and the water density ρ_w was assumed equal to 1 000 kg/m³. The bulk density ρ_b was calculated from the former densities and the estimated porosities n .

The few exploration holes drilled during mine exploitation that remained on site (**Figure 1**) were located and used to measure water level. These holes were drilled with a diamond bit and have a 60 mm diameter. Additional water level measurements were collected in the Copper Mountain pit and the former mining shaft P1100 to map the elevation of the water table. Four temperature profiles were also measured in the exploration holes to a depth of 300 m with an ACR Nautilus 85 temperature probe having a precision of 0.4 °C. Heat flux on site was estimated by multiplying the measured geothermal gradient to the calculated thermal conductivity.

The volume of water flooding the mine was estimated by multiplying the area occupied by each excavated section by its average thickness and a correction factor of 0.25 to account for subsidence and backfill (Jessop et al., 1995). The geothermal energy E_r contained in the mine water was then calculated for all flooded underground sections using:

$$E_r = V \cdot z \cdot g_g \cdot \rho_w \cdot Cp_w \quad \text{eq. 6}$$

where the calculated water volumes in mine sections and their average depths are used for V and z , respectively. This equation assumes that the heat pump reference temperature (i.e. water temperature at the exit of the heat pump) is equal to the mean surface temperature because the measured geothermal gradient g_g is used to establish temperature difference between the surface and the mine workings.

2.2 Pumping test

A pumping test was performed at Murdochville industrial park to estimate the energy that could be extracted with heat pumps. The test was also used to determine water chemistry and hydraulic properties of the host rock. The old mining shaft, well P1100 (**Figure 1**), was used to pump water at an average rate of 0.062 m³/s during 3 weeks.

Four water samples were collected at a low-pressure valve near surface and analysed for alkalinity, hardness, total dissolved solids (TDS) and pH. Total alkalinity was analyzed by titration. Total hardness was calculated from Ca and Mg values obtained with chromatographic analyses. TDS was determined by gravimetric analyses with drying at 180 °C. Results were used to evaluate calcium carbonate scaling potential with the Langelier (1936) and Ryznar (1944) saturation indexes (LSI and RSI). The saturation pH for calcium carbonate was initially calculated using the following method described in Rafferty (2000):

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad \text{eq. 7}$$

$$A = (\log_{10}(TDS) - 1) / 10 \quad \text{eq. 8}$$

$$B = -13.12 \cdot \log_{10}(T_{(K)}) + 34.55 \quad \text{eq. 9}$$

$$C = \log_{10}(\text{hardness}) - 0.4 \quad \text{eq. 10}$$

$$D = \log_{10}(\text{alkalinity}) \quad \text{eq. 11}$$

where $T_{(K)}$ is the temperature in Kelvin at which the saturation pH is calculated. The pH_s was then compared to the actual pH to evaluate calcium carbonate saturation at a given temperature.

Drawdown was measured in the pumping well and piezometers with Solinst Levellogger pressure transducers having precisions of 0.02 m in P1100, 0.01 m in PO115 and 0.005 in PO216. Water level recovery was followed after the pumping test. The measured drawdown was used to determine the hydraulic conductivity and specific storage coefficient with the Gringarten and Ramey (1974) analytical solution for a pumping well that intercepts a horizontal fracture. This solution expresses the drawdown s as:

$$s = \frac{Q}{4\pi\sqrt{K_r K_z}} \frac{2}{H_D} \int_0^{t_D} P \cdot Z \frac{d\tau}{\tau} \quad \text{eq. 12}$$

where:

$$H_D = \frac{H}{r_f} \sqrt{K_r / K_z} \quad \text{eq. 13}$$

$$t_D = \frac{K_r t}{S_s r_f^2} \quad \text{eq. 14}$$

$$P = e^{-\frac{r_D^2}{4\tau}} \int_0^1 I_0\left(\frac{r_D v}{2\tau}\right) \cdot e^{-\frac{v^2}{4\tau}} v dv \quad \text{eq. 15}$$

$$Z = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{n^2 \pi^2 \tau}{H_D^2}} \cos n\pi \frac{z_f}{H} \cos n\pi \frac{z_p}{H} \quad \text{eq. 16}$$

and

$$r_D = \frac{r}{r_f} \quad \text{eq. 17}$$

According to this equation the calculated drawdown at a specific time t varies with the pumping rate Q , the radial and vertical hydraulic conductivity K_r and K_z , the specific storage coefficient S_s , the saturated thickness of the aquifer H , the fracture radius r_f , the distance from the fracture to the base of the aquifer z_f , the distance from the piezometer to the pumping well r and the distance from the base of the piezometer to the base of the aquifer z_p . This solution is derived for a small diameter well and does not account for well bore storage effects that can be observed when the pumping well has a large diameter. However, it can be used here to match late time data of the pumping test when well bore storage effects are negligible, if underground workings are assumed to behave like a long fracture or equivalently a preferred path for groundwater flow due to their strong hydraulic conductivity contrast with the host rock.

Pumped water temperature was measured at a depth of 42 m in P1100 using Solinst Levellogger thermistor having a precision of 0.1 °C. The flow rate was measured with a pitot flow meter. The geothermal energy E_{hp} that could have been extracted during the pumping test was calculated with:

$$E_{hp} = Q \cdot (T_p - T_h) \cdot \rho_w \cdot Cp_w \quad \text{eq. 18}$$

where the average flow rate and pumped water temperature were used for Q and T_p . The heat pump reference temperature was arbitrary assumed to 3 °C.

2.3 Groundwater flow modelling

A groundwater flow model was constructed over the studied area to run sort term flow simulations used to estimate the energy that can be extracted as function of the pumping rate. The three-dimensional finite element model HydroGeoSphere (Therrien et al., 2004), which can simulate groundwater flow in porous media with wells, was used to initially reproduce the hydraulic response of the pumping test. The model uses the following equation to describe transient flow in saturated porous medium:

$$-\nabla \cdot (q) + \sum \Gamma_{we} \pm \Gamma_{bo} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{eq. 19}$$

where the fluid flux q is given by :

$$q = -K \cdot \nabla(h) = -\frac{\rho_w g}{\mu_w} k \cdot \nabla(h) \quad \text{eq. 20}$$

The parameter Γ_{we} refers to the volumetric fluid exchange rate between the subsurface domain and wells. Fluid exchange between the subsurface domain and the model boundaries is denoted with Γ_{bo} . The storage term forming the right hand side of the equation 19 depends on the specific storage coefficient S_s and the hydraulic head h .

One-dimensional free-surface flow along the axis of a well with a finite storage capacity is described by (Therrien and Sudicky, 2001):

$$-\bar{\nabla} \cdot (\pi r_s^2 q_{we}) \pm Q \delta(l-l') - P_{we} \Gamma_{we} = \pi \frac{\partial}{\partial t} [(r_c^2 / L_s + r_s^2) h_{we}] \quad \text{eq. 21}$$

where the well fluid flux q_{we} , which depends on the hydraulic conductivity of the well K_{we} obtained from the Hagen-Poiseuille formula (Sudicky et al., 1995), is given by:

$$q_{we} = -K_{we} \cdot \bar{\nabla}(h_{we}) = -\frac{r_c^2 \rho_w g}{8\mu_w} \cdot \bar{\nabla}(h_{we}) \quad \text{eq. 22}$$

The one-dimensional gradient operator along the length direction l is denoted by $\bar{\nabla}$. The pumping rate Q is applied at a location l' in the well screen and the $\delta(l-l')$ is the Dirac delta function. The wetted perimeter of the well is denoted by P_{we} . The storage coefficient of the well bore forming the right hand side of the equation 21 depends on the radius of the well screen r_s and casing r_c , the total length of the screen L_s and the hydraulic head in the well screen h_{we} .

A three-dimensional mesh composed of 123 000 nodes was generated over the study area. Simulations of the pumping test and groundwater flow before pumping were used to calibrate the model hydraulic properties and adjust the boundary conditions. Multiple simulations at various pumping rates were subsequently performed to determine the area affected by the pumping well. This affected area was multiplied by the previously calculated heat flux to estimate the energy captured while pumping in the old mining shaft. A simplified energy balance calculation was finally used to determine the sustainable energy extraction rate and quantify the site geothermal potential.

3 Conceptual model

3.1 Hydrogeological context

The Gaspé Mines workings are located on the north flank of a NE-SW anticline dipping 15 to 35° N (Wares and Berger, 1995). The stratigraphy of the mine site is described in Allcock (1982), Bernard and Procyshyn (1992), Wares and Berger (1993) and Wares and Brisebois (1998). Rock formations consist of calcareous mudstones and argillaceous limestones. Indian Cove mudstones of thickness greater than 150 m overly a 110 to 160 m sequence of mudstone and 30 to 45 m of limestone from the Ship Head Formation. A 170 to 205 m thick mudstone unit followed by 10 to 20 m of limestone and more than 490 m of mudstone from the Forillon Formation underlie the Ship Head Formation. Porphyritic granodiorite intrusions cross-cuts the stratigraphic sequence to the north of the mine site. The host rock was metamorphosed by a felsic intrusion and altered by hydrothermal fluids. The five hydrostratigraphic units, U1 to U5 established from the stratigraphy, are presented with their properties in **Figure 2**. The thermal properties of each unit are estimated with the equations presented above using the mineralogy inferred from the geochemical data reported by Wares and Berger (1993).

The underground workings form a deep and extremely permeable reservoir surrounded by moderate permeability fractured rock. The measured water table elevation is shown in **Figure 3**. Groundwater flows from elevated areas toward the Copper Mountain Pit where the water level is approximately 539 m above sea level (m a.s.l.) and which has kept filling since the mine closed. Extensive pumping during almost 50 years of mining has lowered the water table that has not yet recovered to its original elevation. Groundwater was pumped out of the mine at a rate averaging 0.219 m³/s during the last years of exploitation, with the rate tripling during the spring season (Morin, 1992).

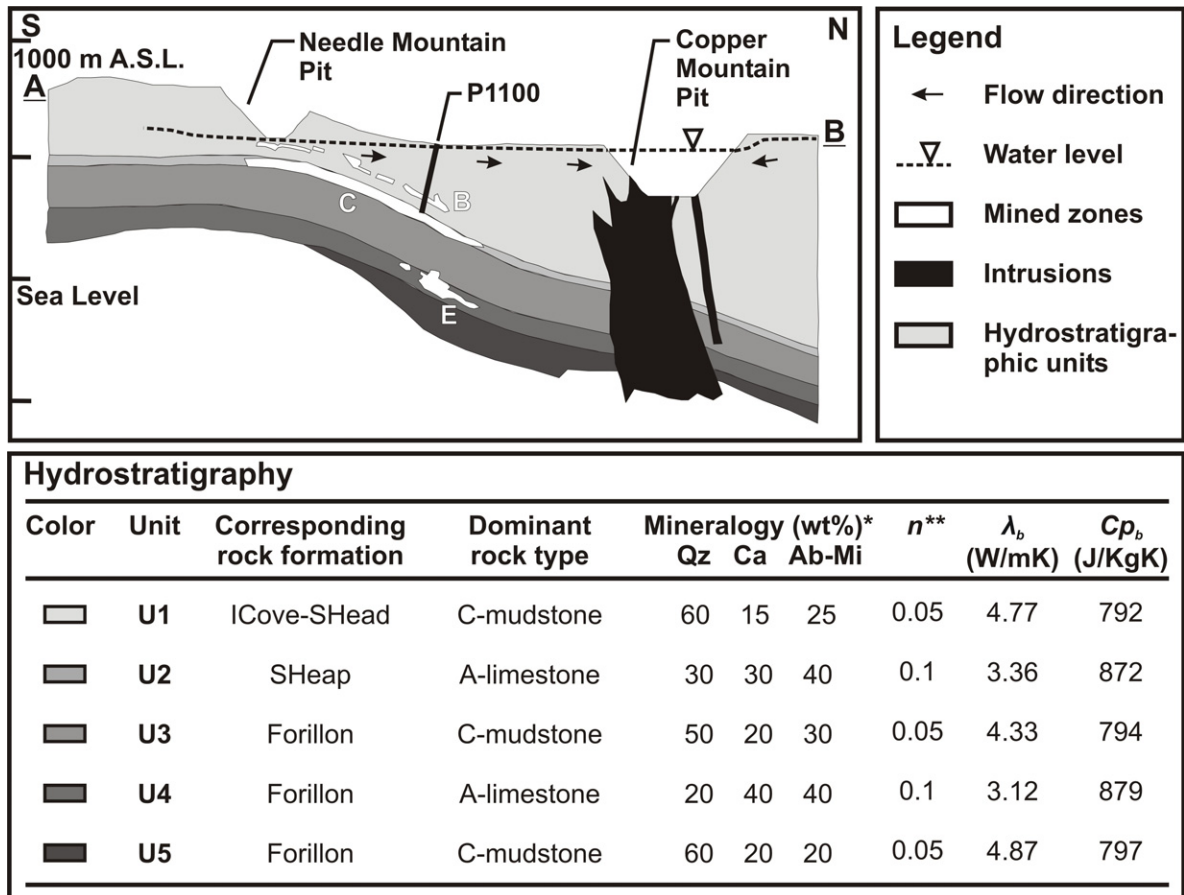


Figure 2. Gaspé Mines schematic cross-section showing hydrostratigraphy and mine workings (section redrawn from Bernard and Procyshyn, 1992). Approximate location of A and B is shown in Figure 1. Abbreviations: ICove; Indian Cove, SHead; Ship Head, A-limestone; argillaceous limestone, C-mudstone; calcareous mudstone, Qz; quartz, Ca; Calcite, Ab-Mi; Albite-Microcline. * Average mineralogy inferred from geochemical data (Wares and Berger, 1993). ** Porosity inferred from rock type using Freeze and Cherry (1979).

3.2 Mine workings

Underground mine workings (**Figure 3**) are described in Morin (1992) and Geocon (1994). The B Zone has been mined by the room and pillar method in Indian Cove mudstones and is divided in two sections: B-East and B-Central. The latter is located at a depth of about 50 m below ground surface under the Needle Mountain Pit and the former is located at

depths of 80 to 120 m below surface to the east. The B-Central section is not flooded since its elevation (650 m a.s.l.) is above the water table elevation in this area.

The C Zone workings have been excavated in Ship Head limestones by the room and pillar method and the longhole method with backfill. They are divided in the C-central and C-Northwest sections that are located at depths of 180 to 500 m below surface (between 520 to 100 m a.s.l.) under the B Zone and toward the Copper Mountain Pit. The C-central section is large, continuous, has a tabular form and dips at about 23°. Both sections of the C zone are totally flooded.

The E Zone has been mined in Forillon limestones by the longhole method with backfill and is divided in four sections: E-29, E-32, E-34 and E-38. These sections are located at more than 580 m depth below surface (less than 20 m a.s.l.) under the town of Murdochville. Each section has been mined from a distinct deposit. All of the E Zone sections are interconnected and connect to the C Zone by underground roads. The E zone is totally flooded.

All the mining shafts and roads that used to connect B and C zone workings to surface have been blocked with backfill and/or cement caps during closure of the mine. Some of these shafts and roads can however be re-opened and used as a traditional well to pump mine water at high rates.

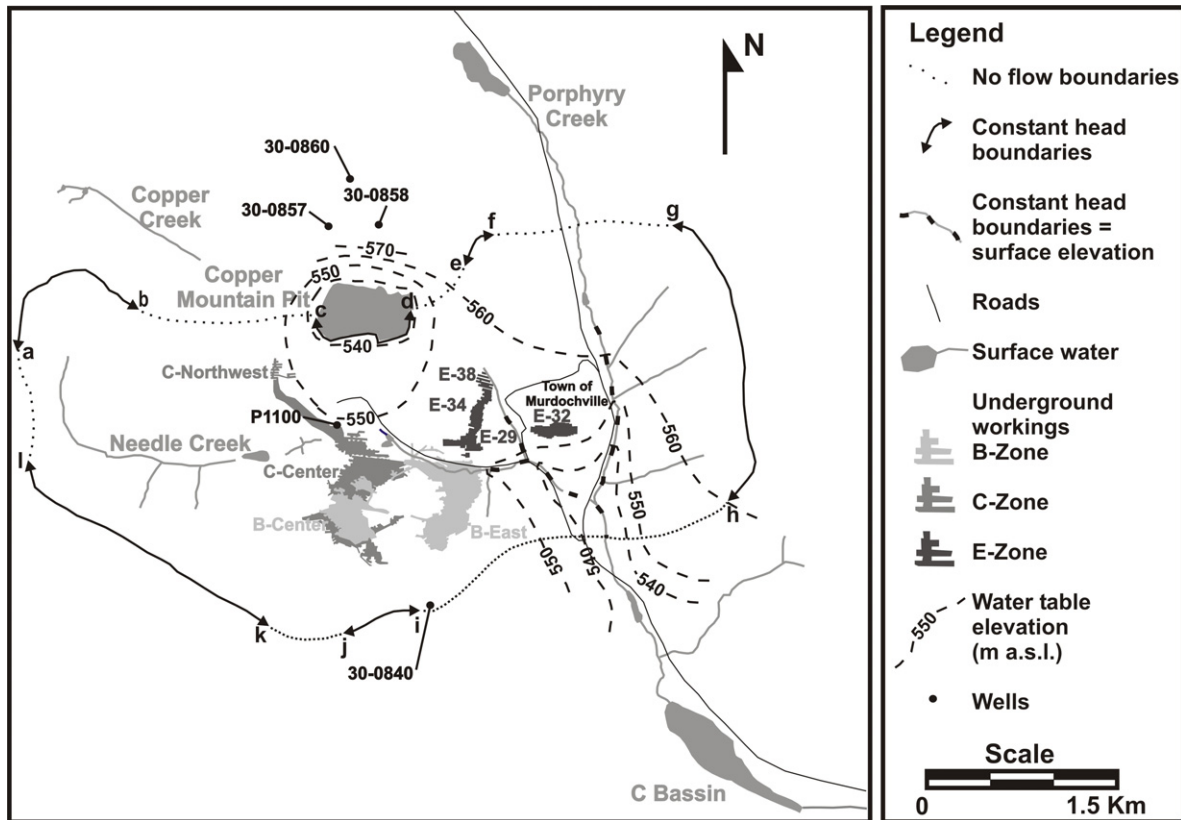


Figure 3. Surface map showing the area covered by underground mine workings, water table elevation and boundaries used for groundwater flow modelling. Letters denote boundary extremities.

3.3 Geothermal gradient and heat flux

The four temperature profiles measured in the exploration holes indicates an average geothermal gradient of $0.011\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ (**Figure 4**). The global thermal conductivity is assumed equal to 4.67 W/mK , which is the geometric average of the thermal conductivities of all hydrostratigraphic units. The surface heat flux is therefore estimated to 51 mW/m^2 with these previous values. Drury et al. (1987) performed heat flux measurements in a deep borehole near Murdochville and reported similar geothermal gradient and heat flux values, equal to $0.0131\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ and 50 mW/m^2 , respectively.

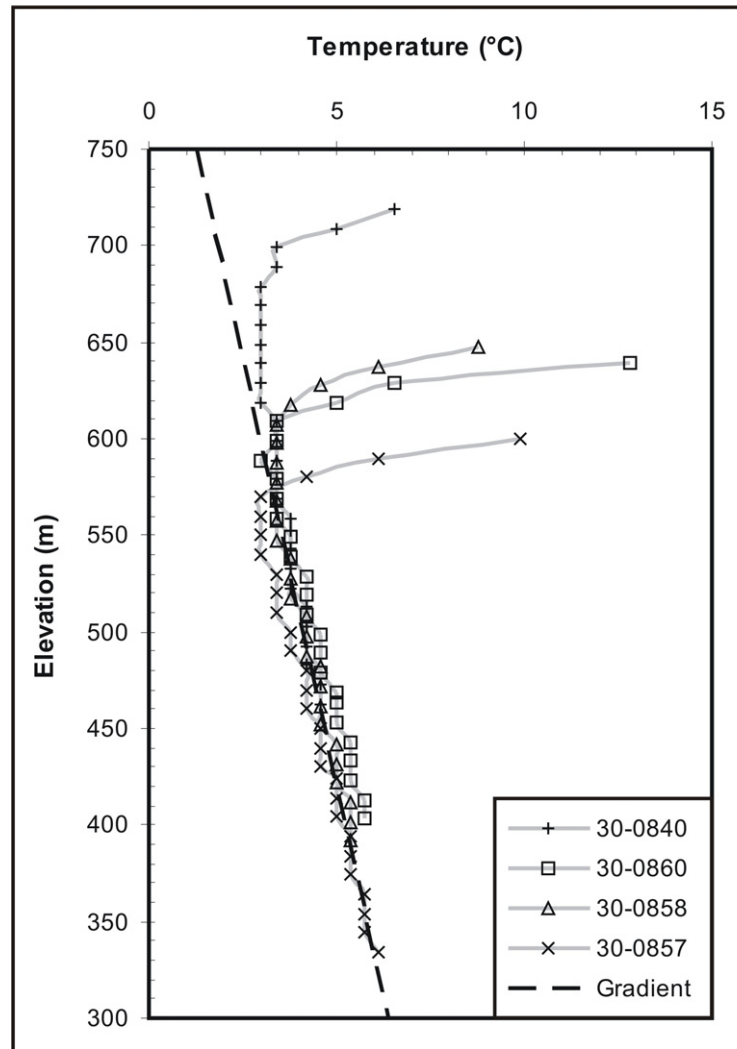


Figure 4. Temperature profiles measured in explorations holes. The location of the boreholes is shown in **Figure 3**.

3.4 Resource assessment

The water volume flooding the mine and energy contained in the water (**Table 1**) are estimated for each flooded section. The total volume of water flooding the mine is on the order of 3.7 million m^3 and the energy contained in this water calculated with equation 6 is approximately 6.2×10^{13} J. Sixty percent of this water is enclosed in the C Zone alone,

which also contains about fifty percent of the available energy. The depth of a mine section has a great influence on its energy resources. For example, the deep E-32 section and the shallow B-East section have similar water volumes but the former contains about seven times more energy.

Table 1. Water volume and energy contained in underground sections.

Underground Section	Average Thickness* (m)	Area (m²)	Water volume (m³) <i>V</i>	Average depth (m) <i>z</i>	Energy (J) <i>E_r</i>
B-East	10	221 252	553 130	100	2.6×10^{12}
C-Center	30	297 622	2 232 165	300	3.1×10^{13}
C-Northwest	30	8 086	60 645	518	1.5×10^{12}
E-29	34	20 453	173 851	580	4.7×10^{12}
E-32	68	31 339	532 763	670	1.7×10^{13}
E-34	20	21 251	106 255	600	3.0×10^{12}
E-38	20	14 373	71 865	600	2.0×10^{12}
Total		614 376	3 739 674		6.2×10^{13}
$g_g = 0.011 \text{ K/m}$		$\rho_w = 1\,000 \text{ kg/m}^3$		$Cp_w = 4225 \text{ J/kg K}$	
* Average thickness from Morin (1992) and Bernard and Procyshyn (1992). Mine working porosity is assumed to 0.25 to account for subsidence and backfill.					

4 Pumping test results

4.1 Pump set up

Converting the mining shaft P1100 into a well and installing a 56 kW pump in this more than 330 m long conduit was a real technical challenge because P1100 has a diameter of 4.57 m and is inclined at 75° with respect to the horizontal. The shaft had to be re-opened with a jackhammer since a cement cap was installed to block the shaft entry after closure of the mine. The pump was lowered at a depth of 49 m along a steel beam installed in the shaft with a crane. Using an old mining shaft to perform a pumping test instead of drilling a new well turned out to be quite successful because the risk of drilling outside the mine was avoided. Water was pumped at an average rate of 0.062 m³/s during three weeks. The shaft offered a high capacity well at a low price. Two piezometers, PO115 and PO216, were drilled at distances of 22 m east and 43 m south-southeast of P1100, respectively. Construction details and location of the pumping well and the piezometers are shown in **Figure 5**. Additional details about the pumping test can be found in Raymond and Therrien (2005b).

4.2 Water analyses

The pumped groundwater (**Table 2**) is very hard and moderately alkaline. Its pH is slightly higher than the saturation pH of calcium carbonate at the pumped water temperature except for the first sample that was collected. LSI calculations suggest that the groundwater is slightly oversaturated with respect to calcium carbonate whereas the RSI values suggest that it is slightly undersaturated. Solubility decreases with rising water temperature. Therefore, scaling precipitation may occur during cooling cycles of the heat pumps.

Table 2. Pumped water chemistry and calcium carbonate saturation indexes.

Saturation index calculation and interpretation		Scaling		Corrosion	
$LSI = pH - pH_s$	Langelier (1936)	>0		<0	
$RSI = 2pH_s - pH$	Rynzar (1944)	<6		>7	
Sample Number	P1100-06102005	P1100-12102005	P1100-19102995	P1100-26102005	
Pumping day	1	7	14	21	
Total alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	81	87	98	98	
Total hardness (mg/L as CaCO ₃)	500	420	400	460	
Total dissolved solids (mg/L)	680	710	680	710	
pH	7.6	8.0	7.9	7.7	
T (°C)	6.6	6.7	6.7	6.8	
LSI	-0.13	0.23	0.16	0.02	
RSI	7.85	7.54	7.58	7.66	

4.3 Drawdown

Measured drawdown (**Figure 5**) in the mining shaft P1100 was less than 1 m during the first day of pumping (8.64×10^4 s) because most water came from well bore storage. Drawdown kept increasing until it reached a maximum of 3.63 m in P1100 on the twelfth day of pumping (1.08×10^6 s). Heavy precipitations (36.7 mm of rain) on the eleventh, twelfth and thirteenth days caused a subsequent water level rise. Pumping was stopped after 21 days (1.81×10^6 s) and the water level recovered to its original elevation after 7.7 additional days (6.66×10^5 s). Significant snowfall (equivalent to 25.0 mm of rain) occurred during the first and second days of the recovery. All the snow melted within 4 to 5 days. Calculated drawdown (**Figure 5**) with the Gringarten and Ramey (1974) analytical solution was matched to measured drawdown in pumping and observation wells from the second to the twelfth day of pumping, where it is assumed that there are no storage and boundary effects. The pumping test analysis estimates a host rock hydraulic conductivity equal to 5.91×10^{-6} m/s and a specific storage coefficient equal to 1.76×10^{-5} m⁻¹. Other

analytical solutions like those of Theis (1935), Copper and Jacob (1946) and Neuman (1974) were used to match measured drawdown but did not give significant results. Recovery data could not be interpreted since recovery rate was accelerated by precipitations.

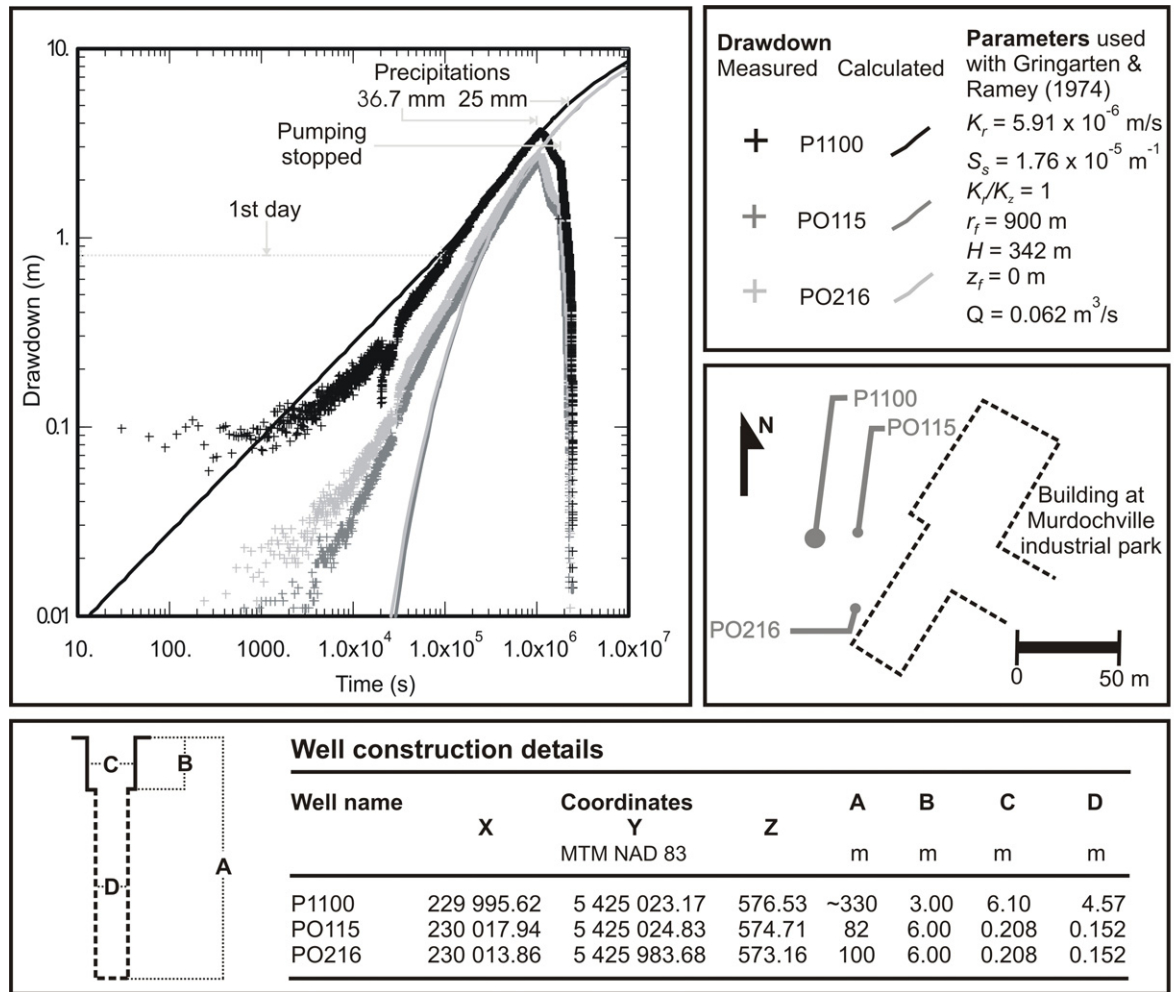


Figure 5. Drawdown during the pumping test. A map of the pumping well and piezometers is shown in the middle right and the construction details of these wells is listed in the lower table.

4.4 Temperature and geothermal energy extraction

The water had a temperature of 6.6 °C at the beginning of the test and it slowly increased to 6.9 °C near the end of pumping (**Figure 6**) with a mean value of 6.7 °C, well above the mean atmospheric temperature (1.6 °C). The average water temperature and the average flow rate measured during the pumping test were used to calculate the extractible geothermal energy with equation 18. The energy that could have been extracted with heat pumps during the test period is estimated to be 969 kW.

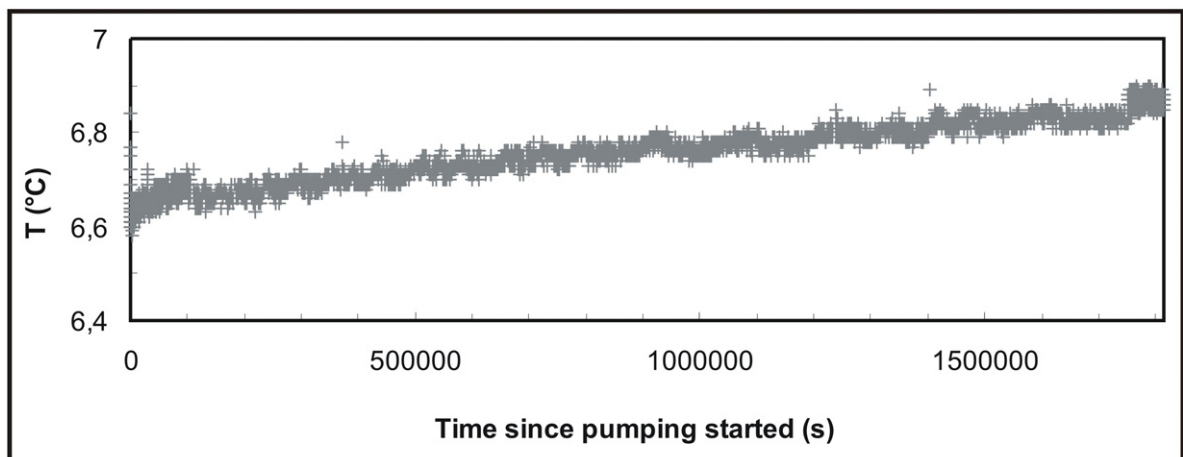


Figure 6. Pumped water temperature measured at 42 m depth in P1100.

5 Modelling results

5.1 Boundary conditions, mesh, and model properties

The model boundaries (**Figure 3**) were distributed around the mine workings according to the site topographical elevation. Mountain highs were assumed to represent recharge areas and were prescribed constant head values. No-flow boundaries, perpendicular to equipotentials, were distributed between constant head boundaries. Values of the constant head boundaries were adjusted during model calibration. This approach is justified since little information is known about the water table elevation at the studied site. The few exploration wells remaining over the area could only be used to interpolate the water table elevation around P1100 and the Copper Mountain Pit. The constant head boundaries were consequently adjusted until the model flow conditions near P1100 matched the observed conditions. A constant head boundary, equivalent to the water elevation in the Copper Mountain Pit, was assigned around the pit because it is assumed that pumping at a moderate rate in P1100 will have little influence on the pit water level. All the boundaries describe above were assumed to be uniform with depth such that their values were extended from the surface to the bottom layers. Nodes of the surface layer corresponding to the streams located in valleys were assigned a constant head value equal to elevation. The higher parts of the streams were not considered in the model because they are assumed to be out of contact with the host rock aquifer. A positive water flux was assigned to all of the surface nodes to reproduce infiltration due to precipitation. The constant head boundaries at topographic highs and this infiltration flux are the sources of water in the system. Sinks are represented by the Copper Mountain Pit and valley streams.

A three-dimensional mesh (**Figure 7**) was created inside the boundaries by stacking 40 layers of two dimension triangular elements along the vertical axis. The mesh covers an

area of about 12.8 km² and was refined over the area covered by the mine workings and around P1100. The surface layer has an elevation equal to the site topography. The base layer elevation was set at 350 m below the U2-U3 contact since the location of this stratigraphic marker has been well established with numerous diamond drilled holes during mineral exploration of the Gaspé Mines. The contacts between the hydrostratigraphic units do not form significant impermeable boundaries. The base layer, an impermeable boundary, was consequently located at a significant depth in order to minimize its influence on groundwater flow in the mine workings.

Two model sub-domains constrained by the spatial distribution of the host rock and the workings were created. The nodes covering the area occupied by the underground zones at the layers which have an elevation corresponding to that of the underground zones were selected to form the mine working sub-domain. The remaining nodes formed the host rock domain. The elements contained in each sub-domain were assigned respective, homogeneous and isotropic values for the hydraulic conductivity, the porosity and the specific storage coefficient. This simplified approach appears sufficient to model groundwater flow in the mine workings which is govern by the hydraulic conductivity contrast with the host rock. A significantly higher hydraulic conductivity was assigned to the mine working elements to create such a contrast with the host rock elements.

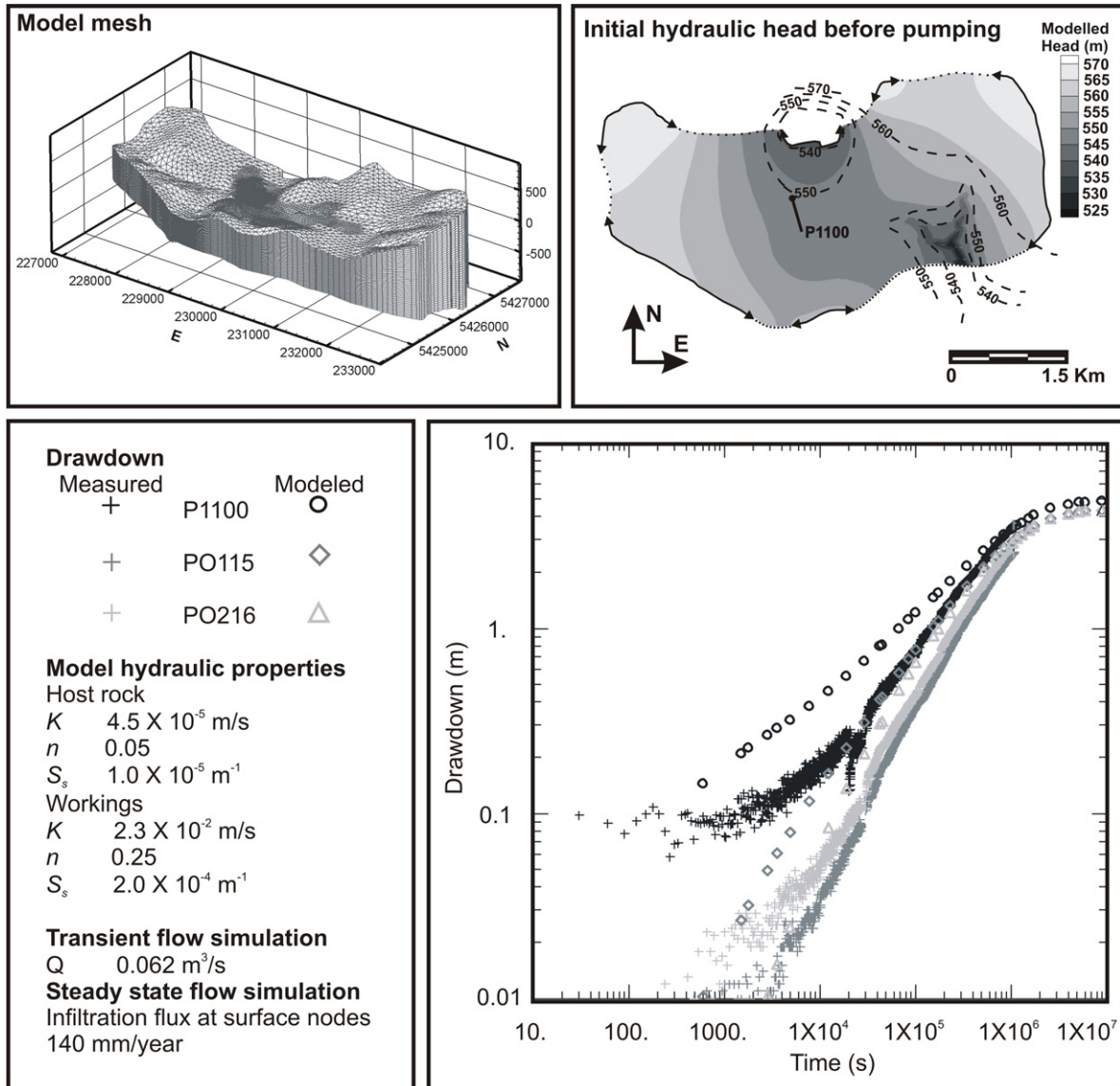


Figure 7. Model mesh and simulation results obtained during model calibration. The coordinate system used to generate the model mesh is MTM NAD83. The initial hydraulic head before pumping shown in plan view is obtained with a steady state flow simulation. The boundaries and the measured water table elevation (dash lines) are shown with simulation results. The modelled drawdown is obtained with a transient flow simulation. Model hydraulic properties are listed in the lower left corner.

5.2 Model Calibration

The model hydraulic properties were initially assigned from the values determined with the pumping test analysis and then calibrated with transient flow simulations that reproduced measured drawdown. These simulations were performed for a six month period at a pumping rate of $0.062 \text{ m}^3/\text{s}$ with no infiltration flux at the surface nodes until the modelled drawdown matched the measured drawdown recorded during the test period that had no or little precipitation (**Figure 7**). Steady state groundwater flow simulations with an infiltration flux at the surface nodes and no pumping rate were subsequently run with the obtained hydraulic properties to adjust boundary conditions. The steady state simulations were performed until modelled drawdown near P1100 matched the measured water table elevation before the pumping test (**Figure 7**). The resulting hydraulic heads obtained with the steady state simulation were used as a starting point for further transient pumping test simulations. Simulations of the pumping test and groundwater flow before pumping were alternatively and repetitively performed to calibrate the hydraulic properties and adjust the boundary conditions until both simulation results matched field data.

The final boundary conditions are shown in **Figure 3** and the obtained values at constant head boundaries are listed in **Table 3**. The infiltration flux specified at the surface nodes for steady state simulations was 140 mm/year , which is about 13 % of the mean precipitation recorded over Murdochville (Environment Canada, 2000). The obtained hydraulic conductivities and specific storage coefficients for the host rock and the workings are $4.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ and $2.3 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ and $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ and $2.0 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$, respectively.

Table 3. Constant head boundary values.

Boundary extremities	ab	cd	ef	gh	ij	kl
Hydraulic head (m)	570	539.1	570	570 to 560	556	557 to 565

Simulated hydraulic heads are close to hydraulic heads measured in the field. Drawdown in the pumping well is reproduced with a maximum error of about 0.4 m. Drawdown in piezometer PO115 is higher than observed. Drawdown in PO115 should be smaller than drawdown in PO216 even though PO115 is closer to P1100 because the host rock hydraulic conductivity is anisotropic. The model isotropy introduced a maximum error of 0.4 m in the early drawdown measured at PO115. The host rock anisotropy was not considered by the model because the error caused by the model isotropy is minimized for a pumping period greater than 15 days since drawdown in PO115 and PO216 tend toward a similar value. The groundwater rebound caused by dewatering that occurred during mining is not considered in the simulations since the model is used to predict the area affected by pumping in P1000 at various rates during a 6 months period only. The affected area will not be significantly influenced by groundwater rebound during this laps of time because similar drawdown is expected even though the hydraulic head globally increases by a few meters.

5.3 Captured energy

The calibrated model was used to perform pumping simulations at various rates to determine the area affected by pumping in P1100, which was defined as the area where the surface projection of drawdown is greater than 1 m. This limits the affected area to a conservative estimate that will not over quantify the capture energy. It gives confident results since drawdown during the pumping test simulation was reproduced with a maximum error of 0.4 m. Pumping simulations were conducted for transient flow conditions with no infiltration flux specified at the surface nodes to simulate pumping during a winter season when groundwater is used for heating. The affected area was determined after a period of 6 month which roughly corresponds to the length of a heating season in Murdochville. The modelled flow conditions after this lap of time tend toward steady state because no significant change in hydraulic head is observed near the end of the simulations. Groundwater is consequently flowing from the constant head boundaries representing recharge areas toward the pumping well. The affected area was multiplied by

the surface heat flux to estimate the energy that can be captured by pumping in P1100 (**Table 4**). The captured energy is compared with the energy that could have been extracted using heat pumps, which was calculated with equation 18. Results of a simulation with a pumping rate of $0.049 \text{ m}^3/\text{s}$ are shown in **Figure 8**. Calculation of the capture energy assumes that groundwater entering the affected area contributes to heat exchange in this area which can provide thermal energy to the pumping well. The capture zones of the pumping well established with particle tracking at elevations of 527 and 227 m a.s.l. is also shown in **Figure 8**. It suggests that most of the pumped water is tapped from the mine workings because the capture zone is larger at the depth corresponding to the intersection of the pumping well and the C Zone (227 m a.s.l.) than near surface at the pumping node elevation (527 m a.s.l.).

Table 4. Captured and extractable energy at various pumping rates.

Pumping rate (m^3/s) Q	Affected area (m^2)	Captured energy (kW) E_c	Extractable energy (kW) E_{hp}
0.016	5 720 877	292	250
0.031	6 690 931	342	484
0.049	7 494 620	382	766
0.062	7 904 583	403	969
Heat flux = $51 \text{ mW}/\text{m}^2$	$(T_p - T_h) = 3.7 \text{ K}$	$\rho_w = 1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3$	$Cp_w = 4\,225 \text{ J}/\text{kgK}$

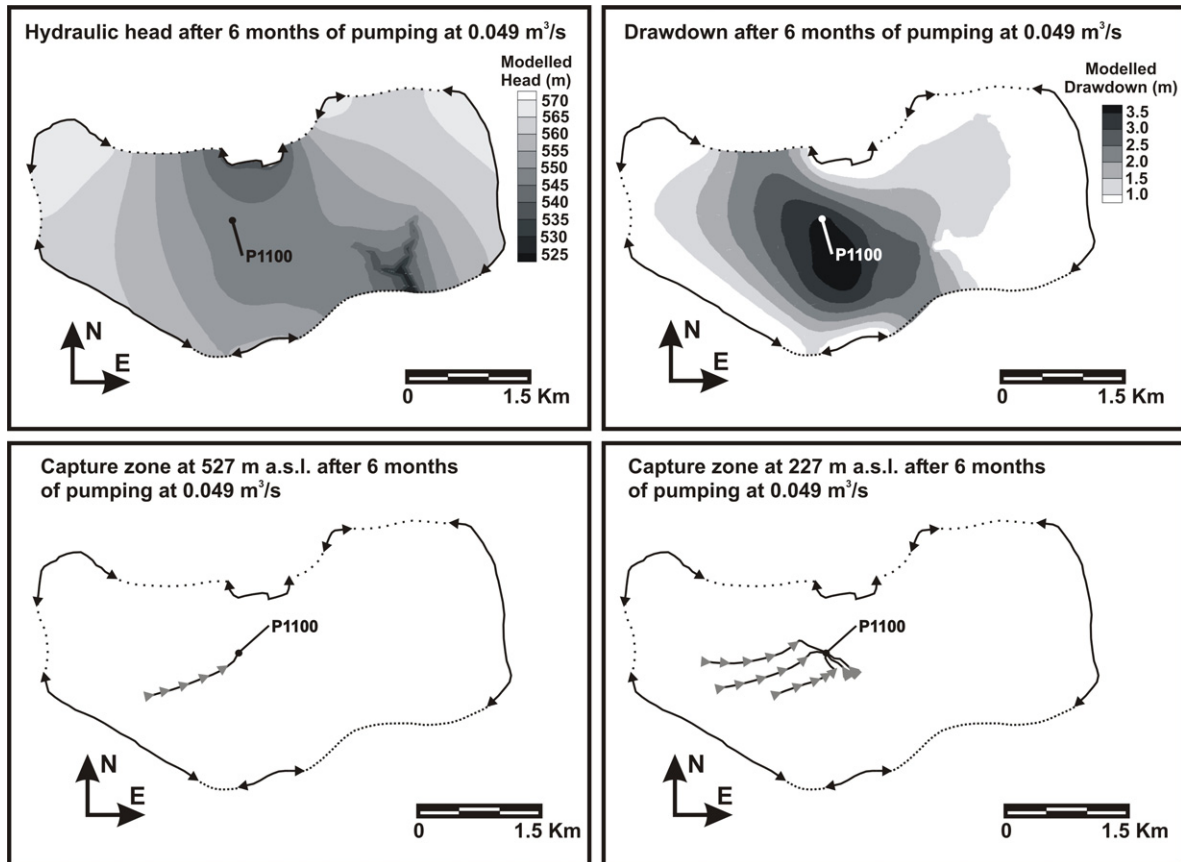


Figure 8. Modelled hydraulic head, drawdown and capture zones shown in plan view after 6 months of pumping at $0.049 \text{ m}^3/\text{s}$. The gray triangles in the capture zone are placed at 10 years travel time intervals.

5.4 Energy balance calculation

A simplified energy balance calculation was established to estimate the geothermal energy extraction potential of the studied site. The calculation is realized with the modelled flow conditions obtain after 6 months of pumping were it can be assumed that the pumped water is equal to the flow rate from the boundaries. In these conditions the energy input to the pumped water is transmitted by the geothermal heat flux over the affected area (i.e. the capture energy), advection from groundwater flowing from the boundaries and conduction that can occur when the system starts cooling. If the two last components are neglected, a

sustainable energy extraction rate can be determined at a specific pumping rate with the following energy balance calculation:

$$E_{hp} = 2 \cdot E_c \quad \text{eq. 23}$$

where energy extraction take place during 6 months per year whereas the geothermal heat flux is continuous. The geothermal potential is consequently estimate to about 765 kW where the captured energy E_c is half of the extractable energy E_{hp} . Energy extraction is maximized at a pumping rate equal to 0.049 m³/s. This potential can be considered as a minimal value because two components of the energy input to the pumped water are neglected. This 765 kW of geothermal energy could be used to heat facilities covering a surface of 14 344 m² considering a heat pump coefficient of performance equal to 3 and assuming that the need for heating in Murdochville is around 80 W/m² during 6 months per year. The performed pumping test evidences that a greater amount of energy could be extracted from mine water because the old mining shaft can supply more water without significant drawdown. Energy extraction exceeding the geothermal potential may however cool the reservoir.

6 Discussion

6.1 Geothermal potential

The geothermal potential estimated in this study represents a minimal energy extraction rate that can be sustained without significantly decreasing energy resources in the reservoir. It is determined with groundwater flow modelling results and a simplified energy balance calculation. The potential is therefore sensitive to the model boundaries and to the drawdown limitation above 1 m. It also assumes that the geothermal heat flux is the most important energy input to the pumped water. The sustainable energy extraction rate is determined for heating purpose only and could have been greater if the system is exploited for cooling. If such case, the warmer water returned to the reservoir would increase the energy extraction potential. This scenario has not been considered because the need for cooling in Murdochville is not elevated and it is not recommended because the precipitation of calcium carbonate scales may occur during cooling cycles. Additional groundwater flow simulations performed with a non isotherm model taking into account heat exchange governed by advection and conduction could help to determine more precisely the geothermal potential. Calibration of such model would be enhanced if realized with early production data.

The elevated pumping rate that can be maintained in P1100 allows significant energy extraction even though the recovered water temperature at the Gaspé Mines is about half of that at other studied sites (Jessop et al., 1995; Ghomshei and Meech, 2003; Malolepszy et al., 2005; Watzlaf and Ackman, 2006). Such temperature difference is explained by a slightly higher heat flux, a greater mine depth, and/or the presence of mineral oxidation at those other mines. The former factor appears to have an important influence on mine water temperature but on the other hand may complicate the geothermal exploitation in the base-

metal mine environment because the associated acid mine water may damage heat pump. Significant mineral oxidation is absent at the Gaspé Mines because the shallower workings exposed to atmospheric air are not filled with waste dump. The calcareous host rock of the Gaspé Mines also provides a neutralizing environment that minimizes the formation of acid mine drainage which facilitates the development of the geothermal resources. In contrast, Ghomshei and Meech (2003) reported an effluent water pH on the order of 4 to 4.5 at Britannia. These authors suggest to use acid resistant heat exchangers to cope with the mine effluents. The exploitation of acid mine water may however have an environmental impact that has to be adequately managed.

The Gaspé Mine geothermal potential is characterized by its elevated reservoir permeability enhanced by the network of mine workings. Modelling results indicate that the workings equivalent hydraulic conductivity is about to 2.3×10^{-2} m/s, corresponding to a reservoir permeability on the order of 1×10^{-5} cm², similar to that of gravel aquifers (Freeze and Cherry, 1979). Other flooded mines should have similar reservoir permeability and can be therefore considered for geothermal heating using heat pump even though they may be located in an area of low surface heat flux such as the Canadian Shield and the Appalachians (Jessop et al., 1984). Results of this study, the inventory of ancient mines realized by Arkay (1992) and the geothermal research work outlined in Jessop et al. (1991), Allen et al. (2000) and Ghomshei et al. (2005) suggest that geothermal energy extraction can be undertaken at most of the Canadian mines of sufficiently large volume if there is a close need for heating. Poor mine water quality may however limit the development in some localities.

6.2 Modelling strategies

Modelling groundwater flow through a three-dimensional domain including mine workings is a complicated task requiring simplification of the mine galleries, roads and shafts. Previous modelling efforts were conducted to reproduce and predict groundwater rebound and represented the mine workings by a network of one-dimensional line elements. Pipe flow is computed in these models along the one-dimensional elements and fluid flux is transferred to the three-dimensional porous medium with a physical equation (Adams and Younger, 2001) or directly added to the corresponding three-dimensional elements of the porous medium (Boyaud and Therrien, 2004). Detailed digital maps of the workings were unavailable at the Gaspé Mines, making the reconstitutions of mine network by one-dimensional elements difficult. Workings were instead represented by broad three-dimensional sub-domains of elevated hydraulic conductivity geometrically constrained by planar maps of the excavated zones and their relative elevations. The hydraulic conductivity contrast between the workings and the host rock offered a preferred path for groundwater flow that is representatively reproduced through the workings. The resulting method is simpler to implement and can be achieved rapidly in the absence of three-dimensional maps of the mining galleries, roads and shafts. A similar method was used to simulate heat and mass transport with the TOUGH2 model during geothermal energy extraction in the workings of a Polish coal mine (Malolepszy, 2003). Those workings were represented by a zone of high permeability but the modelling was only achieved in two dimensions and the model was not validated with field data. In such case, the workings permeability determined at the Gaspé Mines can be used as a reference value.

Conclusion

The 3.7 millions m³ of water flooding the Gaspé Mines can be exploited to extract some of the 6.2×10^{13} J of geothermal energy stored in the workings. The old mining shaft P1100 could be used to pump mine water at a greater rate than what is needed to exploit the geothermal potential of the Gaspé Mines. A heat pump system fed by mine water extracted at a temperature 6.7 °C and a flow rate of 0.049 m³/s during a period of 6 months per year could extract around 765 kW of thermal energy without significantly affecting the geothermal resources contained in the reservoir. The alkaline mine water should not damage heat exchangers. However, precipitation of calcium carbonate scales is expected if the mine water is used for cooling. A geothermal energy distribution network designed for the industrial park of Murdochville located over the mine workings could be constructed to heat the industrial buildings. The network would be used to pump mine water and distribute this resource taking advantage of ancient mine infrastructures such as mining shaft P1100 and tunnels that connect the buildings. Heat pump systems could be installed in each building to extract the required energy from mine water.

The completed research allowed to fully characterised the complex low-temperature geothermal reservoir formed by the Gaspé Mines. The calibration of the finite element model used to reproduce the hydraulic response of an unusual pumping test performed in a former mining shaft provided an efficient method to determine the equivalent hydraulic properties of the mine workings. Drawdown predictions subsequently established with the model helped to estimate the energy that can be capture by the pumping well. The geothermal potential of the mine site was finally estimated with a simplified energy balance calculation. The resulting method can be achieved confidently to asses the geothermal potential of a mine site in the context of a feasibility study. Additional modeling, performed with the new HydroGeoSphere modules implement to model heat transport (Graf, 2005), will allow to precise the geothermal potential and optimize the design of a geothermal energy distribution network at Murdochville industrial park.

References

- Adams, R., and Younger, P.L., 2001. A strategy for modeling ground water rebound in abandoned deep mine systems. *Ground Water*, 39(2): 249-261.
- Allcock, J.B., 1982. Skarn and Porphyry Copper Mineralization at Mines Gaspé, Murdochville, Quebec. *Economic Geology*, 77(4): 971-999.
- Allen, D.M., Ghomshei, M.M., Sadler-Brown, T.L., Dakin, A., and Holtz, D., 2000. The current status of geothermal exploration and development in Canada. *Proceedings of the World Geothermal Congress, Kyushu, Japan*, pp. 55-58.
- Arkay, K., 1992. Geothermal energy from abandoned mines: A methodology for an inventory, and inventory data for abandoned mines in Québec and Nova Scotia. Open file report 3825. Geological Survey of Canada, Alberta, 45 pp.
- Banks, D., Younger, P.L., Arnesen, R.-T., Iversen, E.R., and Banks, S.B., 1997. Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. *Environmental Geology*, 32(3): 157-174.
- Bernard, P., and Procyshyn, E.L., 1992. Geology and Mineral Exploration at Mines Gaspé. 94th CIM Annual Meeting, Montréal, Canada, Paper #111, 15 pp.
- Boyaud, C., and Therrien, R., 2004. Numerical modeling of mine water rebound in Saizerais, northeastern France. *Proceedings of the 15th International Conference on Computational Methods in Water Resources, Chapel Hill, North Carolina*. In: C.T. Miller, M.W. Farthing, W.G. Gray, and G.F. Pinder (editors), *Computational Methods in Water Resources, vol. 2, Developments in Water Science 55*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 977-989.
- Brailsford, A.D., and Major, K.C., 1964. The thermal conductivity of aggregates of several phases, including porous materials. *Journal of Applied Physics*, 15(3): 313-319.
- Chemical Rubber Company, 2006. CRC handbook of chemistry and physics (On line). Electronic source: <http://www.hbcnetbase.com/>.
- Clauser, C., and Huenges, E., 1995. Thermal conductivity of rocks and minerals. In: T.J. Ahrens (Editor), *Rock physics & phase relations; a handbook of physical constants, AGU Reference Shelf, vol. 3*, American Geophysical Union, Washington DC, USA, pp. 105-126.
- Copper, H.H., and Jacob, C.E., 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *American Geophysical Union Transactions*, 27: 526-534.

- Drury, J.M., Jessop, A.M. and Lewis, T.J., 1987. The thermal nature of the Canadian Appalachian crust. *Tectonophysics*, 133(1-2): 1-14.
- Environment Canada, 2000. Murdochville Climate Normals 1971-2000. Electronic source: http://www.climat.meteo.ec.gc.ca/climate_normals/index_e.html.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA, 604 pp.
- Geocon, 1994. Unité 7 - Méthodes d'exploitation. Caractérisation environnementale du site de Mines Gaspé. Unpubl. Report. SNC Lavallin, Shawinigan, Canada, 10 pp.
- Geothermal Heat Pump Consortium, 1997. Municipal Building, Park Hills, Missouri. Electronic source: <http://www.geoexchange.org/pdf/cs-064.pdf>.
- Ghomshei, M.M., and Meech, J.A., 2003. Usable Heat from Mine Waters : Coproduction of Energy and Minerals from "Mother Earth". Proceedings of the 4th IPMM Conference, Sendai, Japan, 8 pp.
- Ghomshei, M.M., MacLeod, K., Sadlier-Brown, T.L., Meech, J.A., and Dakin, R.A., 2005. Canadian Geothermal Energy Poised for Takeoff. Proceedings of the World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, Paper #0158, 4 pp.
- Graf, T. 2005. Modeling coupled thermohaline flow and reactive solute transport in discretely-fractured porous media. Ph.D. Thesis. Université Laval, Canada, 188 pp.
- Gringarten, A.C., and Ramey, H. J., 1974. Unsteady-state pressure distributions created by a well with a single horizontal fracture, partial penetration, or restricted entry. *Society of petroleum engineers journal*, 14(2): 413-426.
- Huttrer, G.W., 1997. Geothermal heat pumps: an increasingly successful technology. *Renewable Energy*, 10(2-3): 481-488.
- Jessop, A.M., Lewis, T.J., Judge, A.S., Taylor, A.E., and Drury, M.J., 1984. Terrestrial heat flow in Canada. *Tectonophysics*, 103(1-4): 239-261.
- Jessop, A.M., Ghomshei, M.M., and Drury, M.J., 1991. Geothermal energy in Canada. *Geothermics*, 20(5-6): 369-385.
- Jessop, A.M., MacDonald, J.K., and Spence, H., 1995. Clean Energy from abandoned mines at Springhill, Nova-Scotia. *Energy Sources*, 17(1): 93-106.
- John Gilbert Architects (2006a). Sustainable housing, Glenalmond Str. Electronic source: http://www.johngilbert.co.uk/pdf_files/innovation/9_Shettleston.pdf.

- John Gilbert Architects (2006b). A technical report on Ochil View, Lumphinnans.
Electronic source:
http://www.johngilbert.co.uk/pdf_files/JGA_Lumphinnans_tech.pdf.
- Langelier, W.R., 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment. *Journal of American Water Work Association*, 28(10): 1500-1521.
- Malolepszy, Z., 2003. Low temperature, man-made geothermal reservoirs in abandoned workings of underground mines. *Proceedings of the Twenty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford CA, USA, 7 pp.
- Malolepszy, Z., Demollin-Schneiders, E., and Bowers, D., 2005. Potential use of geothermal mine water in Europe. *Proceedings of the World Geothermal Energy Congress*, Antalya, Turkey, Paper #0254, 3 pp.
- Morin, G., 1992. Exploitation des mines. Unpubl. Report. Minéraux Noranda Inc., Mines Gaspé Division, Murdochville, Canada, 18 pp.
- Neuman, S.P., 1974. Effect of partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, 10(2): 303-312.
- Rafferty, K., 2000. Scaling in geothermal heat pump systems. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 21(1): 11-15.
- Raymond, J., and Therrien, R., 2005a. Estimation du potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville; caractérisation du site à l'étude. Unpubl. Report. Comité de relance de la ville de Murdochville, Murdochville, Canada, 22 pp.
- Raymond, J., and Therrien, R., 2005b. Estimation du potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville; essai de pompage. Unpubl. Report. Comité de relance de la ville de Murdochville, Murdochville, Canada, 25 pp.
- Raymond, J. and Therrien, R., 2006 (in press). Investigating the low-temperature geothermal potential of the Gaspé Mines, Murdochville, Canada. *Geothermal Resources Council Transactions*, v. 30, paper #89.
- Ryznar, J.W., 1944. A new Index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water. *Journal of American Water Work Association*, 36(4): 472-483.
- Somerton, W.H., 1992. *Thermal properties and temperature related behavior of rock/fluid systems*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 275 pp.
- Sudicky, E.A., Unger, A.J.A., and Lacombe, S., 1995. A noniterative technique for the direct implementation of well bore boundary conditions in three-dimensional heterogeneous formations. *Water resources research*, 32(2): 411-415.

- Theis, C.V., 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of a well using groundwater storage. *American Geophysical Union Transactions*, 16: 519-524.
- Therrien, R., and Sudicky, E.A., 2001. Well bore boundary conditions for variably-saturated flow modeling. *Advances in Water Resources*, 24: 195-201.
- Therrien, R., McLaren, R.G., Sudicky, E.A., and Panday, S.M., 2004. *HydroGeoSphere. A three-dimensional numerical model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport*. Université Laval, University of Waterloo, Canada 300 pp.
- Waples, D.W., and Waples, J.S., 2004a. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1: minerals and nonporous rocks. *Natural resources research*, 13(2): 97-122.
- Waples, D.W., and Waples, J.S., 2004b. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2: fluids and porous rocks. *Natural resources research*, 13(2): 123-130.
- Wares, R., and Berger, J., 1993. *Stratigraphie, structure et lithogéochimie de la région de Mines Gaspé*. Unpubl. Report. IXION Research Group, Montréal, Canada, 34 pp.
- Wares, R., and Berger, J., 1995. *Contrôle structuraux des gisements cuprifères de Mines Gaspé*. Unpubl. Report. IXION Research Group, Montréal, Canada, 31 pp.
- Wares, R., and Brisebois, D., 1998. *Geology and Metallogeny of the Cu-porphyry-related Mines Gaspé, Murdochville, Gaspésie*. Mineralogical Association of Canada Joint annual meeting, Québec, Canada, Field trip B4 guide book, 24 pp.
- Watzlaf, G.R., and Ackman, T.E., 2006. Underground mine water for heating and cooling using geothermal heat pump systems. *Mine Water and the Environment*, 25(1): 1-14.

ANNEXE

Rapports techniques soumis au Comité de relance de la ville de Murdochville

Raymond, J., et Therrien, R., 2005a. Estimation du potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville; caractérisation du site à l'étude. Rapport interne. Comité de relance de la ville de Murdochville, Murdochville, Canada, 22 pp + annexes.

Raymond, J., and Therrien, R., 2005b. Estimation du potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville; essai de pompage. Rapport interne. Comité de relance de la ville de Murdochville, Murdochville, Canada, 25 pp + annexes.

**Estimation du potentiel de production
d'énergie géothermique des Mines Gaspé
à Murdochville; caractérisation du site à l'étude**

**Rapport technique concernant les
travaux de la première étape de l'étude**

Rédigé par :

**M. Jasmin Raymond,
Travailleur autonome**

**Dr. René Therrien,
Université Laval**

Remis à :

**Dr. André Lemieux,
Comité de relance de la ville de
Murdochville**

Québec, le 29 août 2005

Dr. André Lemieux

Commissaire à la relance
Comité de relance de la ville de Murdochville
635, 5^e rue
Murdochville (Québec)
G0E 1W0

Objet : Rapport – étape 1

Estimation du potentiel de production
d'énergie géothermique des Mines Gaspé
à Murdochville; caractérisation du site à l'étude.

Monsieur André Lemieux,

Nous avons le plaisir de vous transmettre notre rapport concernant les travaux réalisés à la première étape du projet mentionné en titre. Nous espérons le tout à votre entière satisfaction et demeurons à votre disposition pour tout renseignement additionnel.

Veillez agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

Jasmin Raymond,
B.Sc., Travailleur autonome, étudiant
à la maîtrise en hydrogéologie

124 rue des Crans
Lac Delage (Québec)
G0A 4P0

Tél. : (418) 948-3556
Fax : (418) 948-3556

jraymond@ccapcable.com

René Therrien,
Ing., PhD.
Professeur d'hydrogéologie

Département de géologie et de génie
géologique
Faculté des sciences et de génie
Université Laval
Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4

Tél. : (418) 656-5400
Fax : (418) 656-7339

rene.therrien@ggl.ulaval.ca

JR/RT/el
Pièces jointes

Sommaire exécutif

Le 11 juillet 2005, Jasmin Raymond, travailleur autonome, et René Therrien, professeur à l'université Laval, ont été mandatés par André Lemieux, commissaire à la relance au Comité de relance de la ville de Murdochville, pour réaliser la première étape d'une étude sur le potentiel de production d'énergie géothermique aux Mines Gaspé. Une revue des documents existants a d'abord été effectuée afin de caractériser le site à l'étude. Des mesures du niveau de la nappe phréatique, des profils de température du milieu souterrain, un échantillonnage de l'eau souterraine et une inspection du puits 1100 ont également été réalisés. L'objectif principal de l'étude était de caractériser le site des Mines Gaspé afin d'estimer les réserves géothermiques et évaluer la faisabilité d'un essai de pompage au puits 1100.

Les résultats de l'étude ont démontré que les galeries souterraines des Mines Gaspé forment un réservoir d'eau perméable dont le volume est d'environ 4,1 millions de mètres cubes. Cette eau qui inonde les galeries absorbe la chaleur qui provient du roc et constitue une réserve d'énergie géothermique. La température de la nappe phréatique en surface est d'environ 3 °C et augmente en fonction de la profondeur. L'eau souterraine à 300 mètres de profondeur à l'endroit du puits 1100 conserve une température d'au moins 6 °C. La quantité d'énergie contenue dans l'eau de tout le réseau de galeries est estimée à 66 976 millions de kilojoules. Un essai de pompage sera nécessaire afin d'évaluer la quantité d'énergie qui peut être extraite de l'eau qui inonde les Mines Gaspé. Le pompage de l'eau pourrait être effectué dans l'ancien puits de ventilation 1100. Les analyses chimiques effectuées sur l'échantillon d'eau prélevé dans le puits 1100 respectent les critères de résurgence dans les eaux de surface et d'égouts émis par le Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs.

Le réservoir géothermique des Mines Gaspé pourrait être exploité à l'aide de thermopompe afin de chauffer et/ou climatiser des bâtiments de toutes sortes. Le développement de l'énergie géothermique dans la région de Murdochville serait avantagé par les caractéristiques distinctives du réservoir des Mines Gaspé :

- le réservoir contient un vaste volume d'eau;
- cette eau pourrait être pompée à un débit élevé afin de produire une quantité d'énergie importante;
- le captage et l'injection de l'eau souterraine pourrait être effectués dans des ouvrages existants afin d'éviter de forer de nouveaux puits et réduire les coûts associés à l'installation du système géothermique;
- le pH de l'eau échantillonnée dans l'ancien puits de ventilation 1100 est neutre et la qualité de l'eau est satisfaisante ce qui réduit les risques de corrosion et d'incrustation dans les échangeurs de chaleur d'un système géothermique.

L'exploitation de cette énergie renouvelable permettra de réaliser d'importantes économies d'énergie en plus de contribuer à la réduction des gaz à effet de serre.

Table des matières

Sommaire exécutif	i
Table des matières.....	ii
1.0 Introduction.....	1
1.1 Mandat	1
1.2 Contexte	1
1.3 Objectifs de l'étude.....	2
1.4 Méthodologie	2
2.0 Description du site à l'étude	3
2.1 Géologie.....	3
2.2 Réseau de galeries souterraines	4
2.4 Ouvrages d'accès aux galeries souterraines.....	8
2.5 Hydrographie	9
2.6 Recherche de puits auprès du SIH	11
3.0 Sommaire des travaux de terrain.....	11
3.1 Échantillonnage et analyse de l'eau.....	11
3.2 Gradient géothermique et flux de chaleur.....	12
3.3 Relevé des niveaux d'eau.....	15
3.4 Inspection du puits 1100	15
4.0 Potentiel de production d'énergie géothermique	16
4.1 Type d'exploitation géothermique possible au site des Mines Gaspé	16
4.2 Estimation des ressources géothermiques.....	17
4.3 Évaluation de la qualité de l'eau souterraine	17
4.4 Essai de pompage à l'ancien puits 1100	18
5.0 Conclusion	19
6.0 Référence	21
Annexe 1- Calcul des propriétés thermique des unités rocheuses	I
Annexe 2- Calcul du volume de vide créé par l'excavation des galeries souterraines	XVII
Annexe 3- Certificats d'analyses chimiques.....	XX
Annexe 4- Sondage de température	XXVI
Annexe 5- Calcul des ressources géothermiques.....	XXVII
Annexe 6- Reportage photographique	XXVIII

1.0 Introduction

1.1 Mandat

Monsieur André Lemieux, commissaire à la relance au Comité de relance de la ville de Murdochville, a mandaté Monsieur Jasmin Raymond, travailleur autonome et étudiant à la maîtrise en hydrogéologie, et Monsieur René Therrien, professeur d'hydrogéologie à l'université Laval, afin de réaliser la première étape d'une étude sur le potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville. Le mandat a été établi le 11 juillet 2005 suite à l'acceptation d'une proposition de travail soumise à Monsieur André Lemieux.

Les travaux réalisés à la première étape de l'étude reposent sur la caractérisation du site des Mines Gaspé et sur l'évaluation de la faisabilité d'un essai de pompage à l'ancien puits de ventilation 1100. Le présent rapport décrit les travaux exécutés et les résultats obtenus lors de la première étape de l'étude. Des recommandations sont incluses à la fin du rapport quant à la tenue de la deuxième étape. L'exécution d'un essai de pompage au puits 1100 permettra d'estimer les réserves géothermiques des Mines Gaspé.

1.2 Contexte

Cette étude est réalisée dans le but de valoriser l'ancien site minier des Mines Gaspé et de favoriser le développement de la ville de Murdochville. Les galeries souterraines des Mines Gaspé sont présentement inondées d'eau, laquelle absorbe la chaleur provenant du roc. Cette eau forme un grand réservoir d'énergie géothermique qui pourrait être exploité à l'aide de thermopompes afin de chauffer et/ou climatiser des bâtiments. L'eau souterraine conserve une température plus élevée que l'eau de surface durant l'hiver. Bien que la température de l'eau souterraine soit basse, celle-ci demeure suffisante pour extraire de l'énergie thermique à l'aide d'une thermopompe. La quantité d'énergie extraite augmente en fonction du volume d'eau capté. L'exploitation de l'énergie géothermique permettrait de réaliser d'importantes économies d'énergie. L'exploitation de cette ressource naturelle renouvelable a également un faible impact sur l'environnement puisqu'elle n'émet pas de gaz à effet de serre. Le réservoir géothermique des Mines Gaspé se distingue d'un réservoir géothermique conventionnel par son grand volume d'eau. Ce réservoir fait de Murdochville un site exceptionnel pour le développement de l'énergie géothermique. La possibilité d'exploiter cette ressource est étudiée dans ce rapport.

1.3 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de la première étape de l'étude consiste à caractériser le site des Mines Gaspé afin d'estimer les réserves géothermiques et évaluer la faisabilité d'un essai de pompage au puits 1100.

Les objectifs secondaires sont les suivants :

- caractériser le milieu souterrain près du puits 1100;
- estimer les propriétés thermiques et hydrauliques du socle rocheux;
- évaluer le gradient de température jusqu'à une profondeur d'environ 300 mètres;
- déterminer la qualité de l'eau souterraine présente dans le puits 1100;
- évaluer l'état du puits 1100 et la possibilité de réaliser un essai de pompage dans cet ouvrage;
- préciser le niveau de la nappe souterraine au puits 1110;
- identifier les puits et les cours d'eau susceptibles d'être affectés lors de l'essai de pompage.

1.4 Méthodologie

Le milieu souterrain au site des Mines Gaspé a été caractérisé à partir des documents disponibles à la Fonderie Gaspé et au Ministère des ressources naturelles et de la faune (MRNF). Les unités rocheuses présentes sous la surface ont été regroupées en unités hydrostratigraphiques, soit des unités ayant des propriétés thermiques et hydrauliques semblables. La porosité et la conductivité hydraulique des unités rocheuses ont été estimées selon le type de socle rocheux. La capacité et la conductivité thermique des unités rocheuses ont été estimées en fonction de la proportion des minéraux contenus dans le socle rocheux. Une revue de photographies aériennes du site à l'étude a été complétée afin d'évaluer le réseau hydrographique et d'identifier les cours d'eau qui pourraient être affectés par un essai de pompage au puits 1100. Une recherche sur le système d'information hydrogéologique (SIH) du Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (MDDEP) a également été effectuée dans le but de vérifier s'il existe des ouvrages de captage d'eau susceptibles d'être influencés par l'essai de pompage.

Un échantillon d'eau souterraine a été prélevé dans le puits 1100 et a été analysé par des laboratoires d'analyse chimique accrédités par le MDDEP. L'eau de surface a été échantillonnée dans le ruisseau Copper et a été analysée pour déterminer sa dureté totale. Trois profils verticaux de la température de l'eau souterraine ont été mesurés dans des forages existants jusqu'à environ 300 mètres de profondeur afin de déterminer le gradient géothermique et le flux de chaleur du site à l'étude. Le niveau de l'eau a été mesuré dans des forages d'exploration encore présents sur le site, dans le puits 1100 et au niveau de la

fosse du Mont Copper. L'état de l'ancien puits de ventilation 1100 a été inspecté à l'aide d'une caméra submersible.

L'information acquise lors de la revue de littérature et les résultats obtenus durant les travaux de terrains ont été utilisés afin de déterminer les ressources géothermiques des Mines Gaspé et d'évaluer la faisabilité d'un essai de pompage à l'ancien puits de ventilation 1100.

2.0 Description du site à l'étude

Les Mines Gaspé sont situées en plein cœur de la Gaspésie à proximité de Murdochville (figure 1). Des gisements de cuivre de type porphyre-skarn ont été exploités de 1951 à 1999. Les fosses à ciel ouvert des Monts Needle et Copper ainsi qu'un important réseau de galeries souterraines qui est principalement divisé en trois zones (B,C, et E) ont été excavés lors de l'exploitation du minerai. Après la fermeture des mines, l'eau souterraine a inondé une partie des galeries. Cette eau est réchauffée par la chaleur du milieu souterrain et forme maintenant un réservoir d'énergie géothermique. L'exploitation de ce réservoir d'énergie s'avère particulièrement intéressante pour le parc industriel de la ville de Murdochville qui se situe au-dessus du réseau de galeries souterraines des Mines Gaspé.

2.1 Géologie

La géologie du secteur des Mines Gaspé est décrite dans des documents synthèses préparés par la Société de recherche IXION (Wares et Berger, 1995; 1993) et des publications scientifiques (Wares et Brisebois 1998; Allcock, 1982). Ces ouvrages ont été consultés afin de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques du milieu souterrain.

Le réseau de galeries souterraines des Mines Gaspé se situe au cœur d'une séquence de roches sédimentaires qui se compose principalement de mudstones calcaires et de calcaires argileux (figure 1). Une intrusion de roche granodioritique recoupe les bancs de roches sédimentaires au centre du site. La mise en place de cette roche intrusive a produit un métamorphisme suivi d'une altération des roches sédimentaires (Wares et Berger, 1993).

Les bancs de roches sédimentaires ont été classifiés en unités hydrostratigraphiques qui sont nommées U1 à U5 selon leurs propriétés hydrauliques et thermiques. Les unités sont décrites du haut vers le bas au tableau 1. La porosité et la perméabilité des unités sont estimées en fonction du type de roche selon la classification proposée par Freeze et Cherry (1979). Les concentrations en SiO_2 et CaO , rapportées au tableau 1, sont évaluées à partir des graphiques présentés par Wares et Berger (1993). Ces concentrations sont utilisées afin d'estimer la proportion de minéraux qui composent les unités. Les

propriétés thermiques des unités sont calculées selon leur minéralogie respective (annexe 1).

La quantité d'eau contenue dans les roches à proximité des galeries souterraines est généralement plus petite que la quantité d'eau contenue dans les galeries puisque la porosité des roches est faible. Les fractures présentes dans le roc forment des conduits perméables qui permettent le passage de l'eau. Les galeries excavées dans ce roc sont par conséquent des réservoirs d'eau perméables. Le roc, de conductivité thermique élevée, émet de la chaleur. L'eau contenue dans les galeries absorbe cette chaleur puisqu'elle a une capacité thermique élevée.

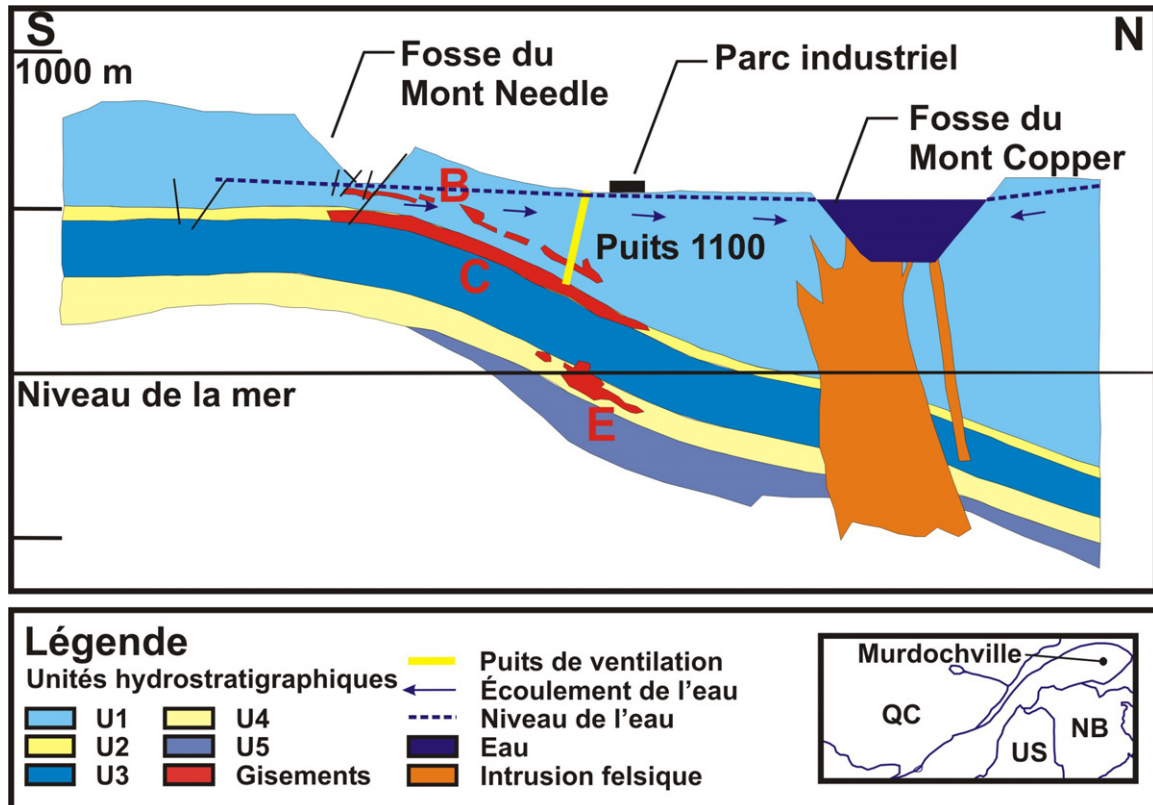


Figure 1. Vue en coupe des unités hydrostratigraphiques au site des Mines Gaspé (redessinée selon Bernard et Procyshyn, 1992). U1 : mudstone calcaireux, U2 : calcaire argileux, U3 : mudstone calcaireux, U4 : calcaire argileux et U5 : mudstone calcaireux. En bas à droite : localisation de Murdochville (QC : Québec, US : États-Unis, NB : Nouveau-Brunswick).

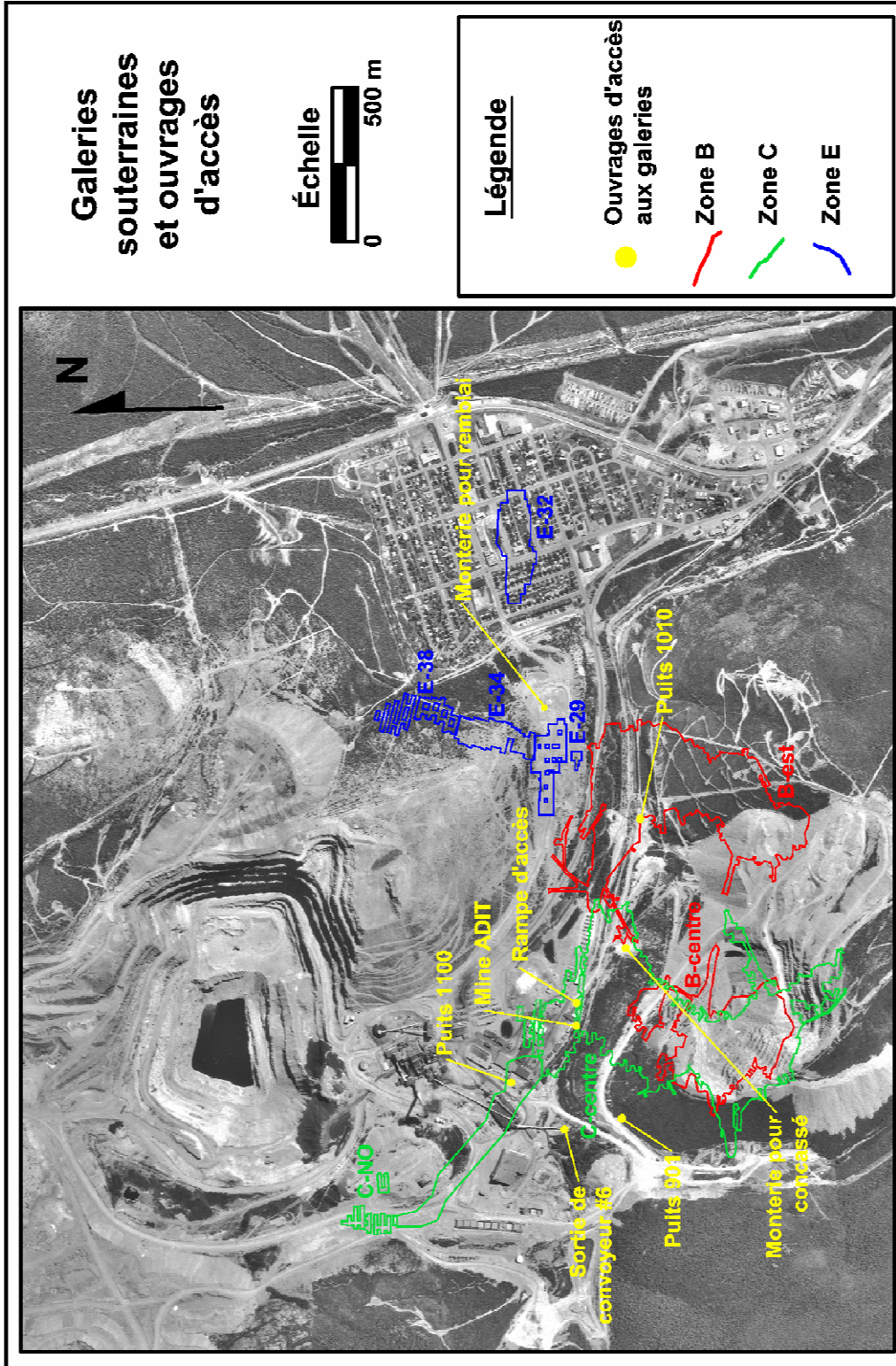
2.2 Réseau de galeries souterraines

Les galeries souterraines des Mines Gaspé sont décrites par Geocon (1994) et Morin (1992). Ces documents ainsi que les statistiques minières disponibles auprès du MRNF ont été consultés afin d'établir les caractéristiques des réservoirs géothermiques formés par les galeries souterraines et calculer leur volume. La figure 2 présente une vue en plan des galeries.

Tableau 1. Hydrostratigraphie au site des Mines Gaspé, Murdochville, Québec

Épaisseur m	Unité Hydrostratigraphique	Type de roche	Composition moyenne	Unités correspondantes	Galeries souterraines	Porosité	Cond. Hydraulique m/s	Cond. thermique W/ m K	Cap. Thermique sp. J/ Kg K
>250	U1	Mudstone calcaireux avec nodules de chert et calcaire par endroits	60% SiO ₂ 15 % CaO	Q1 (Indian cove) et T1, P1, T2 et P3 (shiphead)	Zone B	0-0,1	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁸	4,77	795
30-40	U2	Calcaire argileux	30% SiO ₂ 30 % CaO	L1 (Shiphead)	Zone C	0-0,2	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁸	3,36	869
168-204	U3	Mudstone calcaireux	50% SiO ₂ 20 % CaO	P4 (Forillon)	Aucune	0-0,1	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁸	4,33	798
8-18	U4	Calcaire argileux	20% SiO ₂ 40 % CaO	L2 (Forillon)	Zone E	0-0,2	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁸	3,12	876
488-518	U5	Mudstone calcaireux	60% SiO ₂ 20 % CaO	P5 (Forillon)	Aucune	0-0,1	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁸	4,87	800

Les unités hydrostratigraphiques ainsi que leur épaisseur sont définies à partir de la stratigraphie décrite par Wares et Berger (1993). La composition des unités est établie à partir de graphiques présentés par Wares et Berger (1993). La porosité est estimée en fonction du type de roche selon Freeze et Cherry (1979). La perméabilité est contrôlée par la fracturation des roches. Le calcul des propriétés thermiques est détaillé à l'annexe 1.



Source : MRNF, Photocartotheque québécoise, Orthophotographie #99806152F05
 Auteur : Jasmin Raymond
 Figure 2. Vue en plan de la superficie couverte par les galeries souterraines. La limite des zones souterraines est approximative et a été établie à partir des plans disponibles en microfiches auprès du MRNF.

Les statistiques minières indiquent que 3 122 041 et 44 266 795 tonnes métriques de débris et minerai ont respectivement été extraits du milieu souterrain au site des Mines Gaspé de 1955 à 1999. Ces données ainsi que les plans des galeries disponibles en microfiches auprès du MRNF ont permis d'estimer le volume de vide sous terre formé lors de l'excavation des galeries (annexe 2). Ce volume, d'environ 4,1 millions de mètres cubes, est en majeure partie inondé d'eau. Cette quantité d'eau est plus importante que la quantité d'eau présente dans un aquifère conventionnel de même volume.

Les galeries de la zone B ne forment pas un réservoir géothermique d'intérêt puisqu'elles sont peu profondes et ne sont pas totalement inondées d'eau. Ces galeries sont divisées en deux sections, soit les zones B-est et B-centrale, qui ont été exploitées par la méthode de chambres et piliers. La zone B-est se situe de 80 à 120 mètres de profondeur. Elle s'est partiellement effondrée en 1981 ce qui a produit un affaissement du sol en surface. Si l'énergie géothermique était exploitée à grand volume aux Mines Gaspé, un suivi de la stabilité du sol de la zone B-est serait nécessaire. La zone B-centrale se situe à environ 50 mètres sous la surface de la fosse du mont Needle. Elle se retrouve à une élévation semblable au niveau de la nappe phréatique mesurée au puits 1100. Il est donc possible que les galeries de cette zone ne soient pas totalement inondées.

La zone C constitue un réservoir géothermique d'intérêt puisqu'elle est suffisamment profonde, continue et contient un grand volume d'eau. Ce réservoir est particulièrement attrayant puisque la zone C se situe en partie sous le parc industriel de Murdochville. Les galeries de la zone C sont divisées en deux sections : les zones C-centre et C nord-ouest qui se retrouvent de 180 à 500 mètres sous la surface. De forme tabulaire, la zone C-centre a une épaisseur moyenne de 30 mètres, une inclinaison de 23° vers le nord (Morin, 1992) et couvre une superficie de plus de 298 000 mètres carrés. Le gisement de la zone C a d'abord été exploité par la méthode de chambres et piliers puis par la méthode de chantier long trou avec remblayage dans les parties les plus profondes (Morin, 1992). La totalité des galeries sont sous le niveau de la nappe phréatique mesurée au puits 1100. Les volumes d'eau présents dans les zones C-centre et C-nord-ouest sont d'environ 2 232 000 et 61 000 mètres cubes, respectivement.

Les galeries de la zone E forment plusieurs petits réservoirs géothermiques distincts situés à une grande profondeur à l'ouest et sous la ville de Murdochville. Les gisements de la zone E se divisent en quatre sections qui se retrouvent à plus de 580 mètres de profondeur, soit les zones E-29, E-32, E-34 et E-38. Ces gisements ont été exploités par la méthode de chantier long trou avec remblayage. La totalité des galeries de la zone E sont situées sous le niveau de la nappe phréatique mesuré au puits 1100. Le volume d'eau présent dans les zones E-29, E-32, E-34 et E-38 est estimé à 174 000, 533 000, 106 000 et 72 000 mètres cubes, respectivement. On accède aux galeries de la zone E par un réseau routier souterrain débutant dans la zone C.

2.4 Ouvrages d'accès aux galeries souterraines

Des anciens puits de ventilation, une rampe et des monteries donnent accès aux galeries souterraines. Ces ouvrages pourraient être utilisés pour capter et injecter l'eau dans les galeries lors de l'exploitation des ressources géothermiques à Murdochville. L'utilisation de ces conduits permettrait de réduire les coûts de forage associés à l'installation d'un système géothermique. Tous les ouvrages d'accès ont cependant été colmatés lors de la fermeture des Mines. Il sera nécessaire de réaménager les conduits afin de capter ou injecter de l'eau sous terre.

Les ouvrages qui donnent accès aux galeries souterraines sont décrits par Geocon (1994). Une description sommaire des ouvrages est rapportée ci-dessous. À l'exception du puits 1100, l'état des conduits n'a pas été inspecté. Une inspection intérieure et extérieure sera nécessaire avant d'utiliser ces conduits pour capter ou injecter de l'eau sous terre.

Le puits 901 se situe sur le flan nord du Mont Needle à l'intérieur d'une courte galerie. Il servait anciennement de conduit de ventilation et débouche dans la zone C. Le sommet et la base du puits se situent à une élévation de 617 et 355 mètres au-dessus du niveau de la mer (A.D.N.M.), respectivement. L'embouchure du puits n'est présentement pas accessible puisque la ventilation est arrêtée.

Le puits 1010 se situe sur le flanc est du Mont Needle à l'intérieur d'une courte galerie. Il servait anciennement de conduit de ventilation et débouche dans la zone B-est. Le diamètre du puits est de 4,26 mètres tandis que le sommet et la base du puits se situent respectivement à une élévation de 581 et 447 mètres A.D.N.M. L'embouchure n'est pas accessible puisque la ventilation est arrêtée.

Le puits 1100 se situe à l'ouest du bâtiment 90402 au parc industriel de Murdochville. Ce puits servait anciennement de conduit de ventilation et pourrait permettre de capter ou injecter de l'eau lors d'une exploitation géothermique au parc industriel de Murdochville. Il a un diamètre de 4,57 mètres et une inclinaison de 75°. Le sommet du puits se situe à une élévation de 580 mètres A.D.N.M. Le conduit débouche à deux endroits dans les galeries de la zone C, soit à une élévation de 355 et 209 mètres A.D.N.M. Selon l'information transmise par monsieur Victor Chapados, coordonnateur à la restauration chez Mines Gaspé, la surface du puits est scellée par un capuchon de béton de 61 centimètres d'épaisseur, lequel repose sur une plaque d'acier de 7,6 centimètres d'épaisseur. L'accès au puits 1100 se fait présentement par un tuyau de métal de 10,15 centimètres de diamètre intérieur.

La sortie de la rampe d'accès aux galeries souterraines se situe au sud-est du parc industriel de Murdochville à 572 mètres A.D.N.M. Cette rampe permettait l'accès des véhicules aux galeries souterraines des zones B, C et E. L'embouchure de la rampe, qui est maintenant remblayée, a une largeur d'environ 5 mètres, une longueur d'environ 32

mètres et une pente de 9 %. Cet ouvrage pourrait être utilisé pour injecter de l'eau sous terre puisque l'élévation de sa surface est la plus basse de tous les ouvrages.

La sortie de convoyeur #6 se situe au sud-ouest du parc industriel de Murdochville à une élévation d'environ 582 mètres A.D.N.M. Le conduit du convoyeur a une inclinaison de 19° et servait anciennement à acheminer le minerai en surface. Il débouche à une élévation de 355 mètres A.D.N.M. La taille de la section du conduit est 3,0 mètres par 4,0 mètres.

La monterie pour concassé se situe au sud-est du parc industriel de Murdochville. L'embouchure en forme d'entonnoir se trouve à une élévation de 584 mètres A.D.N.M. Le conduit circulaire de 1,83 mètres de diamètre débouche dans les galeries à des élévations de 386 et 325 mètres A.D.N.M. Cet ouvrage pourrait être utilisé pour injecter de l'eau sous terre quoiqu'il est un peu plus élevé que le parc industriel de Murdochville.

La monterie pour remblai rocheux se situe à l'est du parc industriel, près de la ville de Murdochville. Le conduit a été remblayé lors de la fermeture des Mines. Cet ouvrage pourrait toutefois être utilisé pour injecter de l'eau sous terre. L'embouchure du conduit en forme d'entonnoir est inclinée à 67° vers le nord-est et se trouve à une élévation de 587 mètres A.D.N.M. Le conduit a un diamètre de 2,7 mètres et servait anciennement à acheminer le remblai rocheux dans les galeries de la zone E. Du ciment est injecté dans la paroi du conduit de la surface jusqu'à une élévation de 325 mètres A.D.N.M.

L'accès sous terre (Mine ADIT) se situe au sud-est du parc industriel, tout près de la rampe d'accès. Ce conduit était anciennement utilisé comme sortie d'urgence et comme accès à la rampe. L'élévation de la surface du conduit est d'environ 572 mètres A.D.N.M. Tout comme la rampe d'accès, cet ouvrage remblayé pourrait être utilisé pour injecter de l'eau sous terre puisque son élévation est basse.

2.5 Hydrographie

Une analyse des photographies aériennes Q04168-9 et 99806152F05 a été effectuée afin d'évaluer la présence de cours d'eau dans la région de Murdochville qui pourraient être affectés par l'exploitation de l'énergie géothermique. Le réseau hydrographique au site des Mines Gaspé est principalement couvert par les ruisseaux Needle et Copper (figure 3). Le premier prend source dans les montagnes à l'ouest du parc industriel de Murdochville et coule ensuite sous le parc via des ponceaux qui drainent le ruisseau Needle vers le ruisseau Copper. Ce dernier prend sa source dans les montagnes au nord-ouest de la fosse du Mont Copper. Il est drainé par la galerie 11-15 qui détourne le cours d'eau de la fosse du Mont Copper et qui l'achemine au sud de la route d'accès du parc industriel de Murdochville. Le ruisseau Copper poursuit son cours vers la ville de Murdochville puis se jette dans le ruisseau Porphyre qui se déverse dans le bassin C près des parcs à résidus miniers au sud de la ville. L'eau du bassin C est acheminée vers le sud-est dans le ruisseau Porphyre pour suivre sa route vers la rivière York à plus de 10

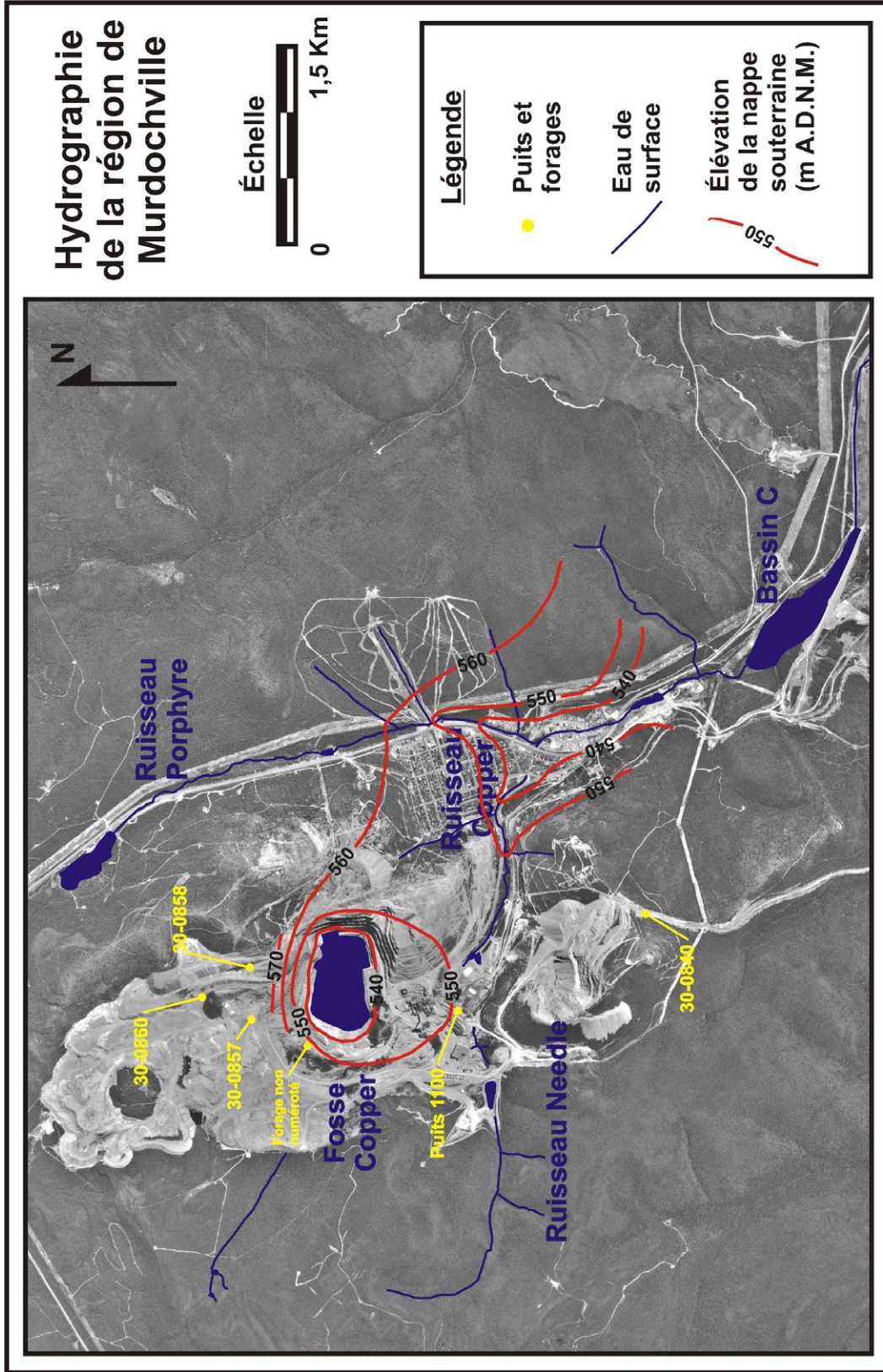


Figure 3. Hydrographie de la région de Murdochville. Seuls les principaux cours d'eau sont présentés en bleu sur la carte. m A.D.N.M.: mètre au-dessus du niveau de la mer.

kilomètres au sud-est du parc industriel de Murdochville. Lors d'un essai de pompage au site des Mines Gaspé, l'eau pourrait être déversée dans le ruisseau Copper.

Le niveau de l'eau dans la fosse se situe à une élévation de 535 mètres A.D.N.M. La galerie 1504 débouche dans la fosse à une élévation de 451 mètres A.D.N.M. La galerie est bouchée par une cloison étanche de ventilation. Deux forages situés au fond de la fosse communiquent également avec la galerie 1838 qui est reliée au réseau de galeries des Mines Gaspé à une élévation de 375 mètres A.D.N.M. Des valves situées dans la galerie 1838 permettaient anciennement de contrôler le niveau d'eau dans la fosse du Mont Copper. Monsieur Victor Chapados affirme que ces valves ont été fermées lors de la fermeture des galeries et que la galerie 1838 a été scellée avec du béton. La connectivité entre les galeries souterraines et la fosse du Mont Copper demeure inconnue. Lors d'un essai de pompage à débit élevé aux Mines Gaspé, il serait important de suivre le niveau de l'eau dans la fosse afin d'évaluer le degré de connexion et s'assurer que l'eau pompée ne provienne pas de la fosse.

2.6 Recherche de puits auprès du SIH

Une recherche de puits dans le secteur à l'étude a été effectuée auprès du Système d'Information Hydrogéologique (SIH) du MDDEP. En date du 14 juillet 2005, il n'y a aucun puits répertorié dans cette base de données qui se situe dans un rayon de 1 kilomètre du parc industriel de Murdochville.

La ville de Murdochville capte son eau potable dans trois puits à plus de 2 kilomètres au nord-est du réseau de galeries souterrain près d'un lac qui se déverse dans le ruisseau Porphyre. Les probabilités sont faibles que ces puits soient influencés par un essai de pompage dans l'ancien puits de ventilation 1100 au site des Mines Gaspé puisqu'ils sont suffisamment éloignés.

3.0 Sommaire des travaux de terrain

3.1 Échantillonnage et analyse de l'eau

Un échantillon d'eau (#P1100-04108) a été prélevé le 4 août 2005 dans le puits 1100 afin de déterminer la qualité de l'eau souterraine. L'échantillonnage a été effectué conformément aux recommandations émises dans le Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales (cahier 3; échantillonnage des eaux souterraines) rédigé par le Ministère de l'environnement et de la faune (1994). L'échantillon a été conservé dans une glacière à une température moyenne de 4 °C et a été envoyé la même journée au Laboratoire de l'environnement LCQ inc. et chez Bodycote Essais de Matériaux Canada inc. afin d'analyser les paramètres suivants :

- ions majeurs : H₂S, Cl, Ca, Mg, K, Na;
- ions mineurs : Al, Sb, Ag, As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Se, Zn;
- dureté;
- solides dissous totaux;
- oxygène dissous;
- bactéries : fer, coliformes totaux, coliformes fécaux;
- turbidité.

Un échantillon d'eau de surface (#RCO-04188) a également été prélevé dans le ruisseau Copper le long de la route d'accès au parc industriel. L'échantillon a été analysé afin de déterminer la dureté au point d'impact dans le but de calculer certains critères du MDDEP présentés au tableau 2. L'échantillon analysé a une dureté de 297 mg/L.

Les résultats d'analyses performés sur l'échantillon d'eau souterraine sont présentés au tableau 2 et discutés à la section suivante. Les certificats d'analyses émis par les laboratoires sont présentés à l'annexe 3.

3.2 Gradient géothermique et flux de chaleur

Des profils de température ont été mesurés jusqu'à une profondeur d'environ 300 mètres les 1^{er} et 2 août 2005 afin d'établir le gradient géothermique du site à l'étude et évaluer la température de l'eau dans les galeries souterraines. Les mesures de température ont été effectuées dans des forages d'exploration de diamètre BQ réalisés par les Forages Gaspésien Ltee en 1991, soit les forages #30-0840, 30-0860 et 30-0857. Les températures ont été mesurées à l'aide d'un enregistreur de données Nautilus 85 ayant une précision de 0,4 °C. Les profils de températures sont présentés à la figure 4 et les données de température sont disponibles à l'annexe 4. Un sondage de température a également été effectué dans le bassin d'eau de la fosse du Mont Copper. Les données de température, la sonde et son câble n'ont pu être récupéré puisque la sonde de température est restée prise au fond de la fosse lors de l'enregistrement des mesures. La température de l'eau de la fosse a cependant déjà été mesurée le 6 avril 2005 par le personnel des Mines Gaspé. Ces données ont été transmises par monsieur Victor Chapados et sont présentées à la figure 4.

Le gradient géothermique moyen mesuré dans les forages 30-0840, 30-0860, 30-0858 et 30-0857 est de 0,012 °C/m. Ce gradient stable indique que la température de l'eau augmente en fonction de la profondeur. La température de l'eau souterraine à la surface de la nappe est d'environ 3 °C. À l'endroit du puits 1100, la température de l'eau peut atteindre au moins 6 °C à 300 mètres de profondeur. Considérant une conductivité thermique moyenne de 4,09 W/m K, le flux de chaleur au site des Mines Gaspé est estimé à 49 mW/m². Drury et al. (1987) ont mesuré un gradient géothermique et un flux de chaleur semblable avec des instruments de haute précision dans la région de Murdochville, soit 0,0131 °C/m et 50 mW/m², respectivement.

Tableau 2. Résultats d'analyse de l'eau souterraine

Paramètres d'analyses (résultats et critères en µg/L sauf lorsque indiqué)	Échantillon P1100-04108 Date 04/08/2005 Lieu Puits 1100	Critère pour fin de consommation ¹ (maximum permis)	Critère pour résurgence dans les eaux de surface ² (maximum permis)	Critère pour thermopompe géothermique ³ (maximum permis)
Ions majeurs				
H ₂ S	20	50	200	600 000
Cl	16 000	250 000	860 000	
Na	20 100	200 000		
K	2 400			
Ca	123 200			
Mg	5 100	50		
Ions mineurs				
Al	10		750	
Sb	1	6	88	
Ag	<0,3	100	13*	
As	2	25	340	
Ba	<100	1 000	2305*	
Cd	1	5	15*	
Cr	2	50	16	
Co	<1		500	
Cu	23	1 000	39*	
Fe	11			
Hg	<0,2	1	0,13	
Mn	3	50		
Mo	410	70	2 000	
Ni	<13	20	1178*	
Pb	<1	10	326*	
Se	<1	10	20	
Zn	69	5 000	301*	
Autres paramètres				
Dureté	329 000			350 000
S.D.T.	534 000			1 500 000
O.D.	8 800			
B.F. (NPP/100ml)	9			
B.C.T. (UCF/100ml)	0	10		
B.C.F. (UCF/100ml)	0			
Turbidité (UTN)	0,8	5		
pH	7,6	<6,5 ou >8,5		<5 ou >10

* Critère calculé selon la dureté de l'eau au point d'impact : 297 mg/l.

S.D.T. solide dissous total, O.D. oxygène dissous, B.F. bactéries du fer, B.C.T. bactéries coliformes totaux, B.C.F. bactéries coliformes fécaux

1-, 2- Ministère du développement durable, de l'environnement et de la faune, 2005. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Référence électronique:

http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_grille_eaux.htm

3- Critère de Command-Aire Corporation cité dans : Langley, B.C., 2002. Heat Pump Technology. Prentice Hall, Columbus, 536 pp.

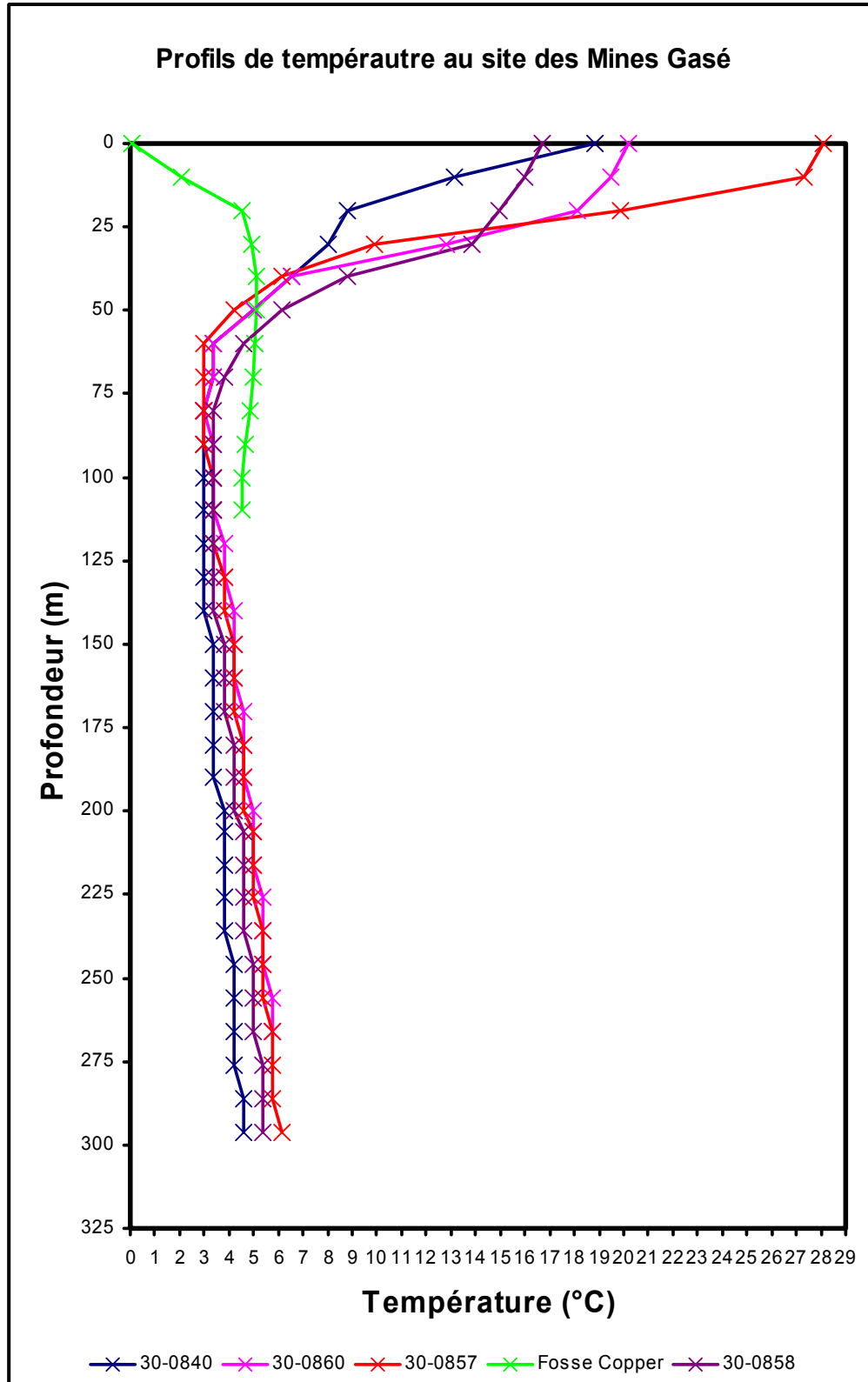


Figure 4. Profils de température mesurés au niveau des forages 30-0840, 30-0860 et 30-0857 et de la fosse du Mont Copper.

3.3 Relevé des niveaux d'eau

Les niveaux de l'eau ont été mesurés dans les forages 30-0840, 30-0860, 30-0858 et 30-0857 ainsi que dans le puits 1100, dans un forage non numéroté, au bassin C, au petit lac Porphyre et à la fosse du Mont Copper du 1^{er} au 3 août 2005. Les mesures des niveaux d'eau sont présentées au tableau 3 et elles sont utilisées pour estimer l'élévation de la nappe phréatique et connaître l'écoulement de l'eau (figure 3). Des aquifères de surfaces localisés dans les dépôts meubles sont également présents dans la région de Murdochville (Genivar, 2005). Les niveaux de l'eau de ces aquifères n'ont toutefois pas été mesurés puisque ces aquifères ont peu d'influence sur l'eau qui inonde les galeries souterraines.

L'écoulement de l'eau souterraine s'effectue à partir des endroits où l'élévation de la nappe est élevée vers les endroits où l'élévation de la nappe est basse. Au site des Mines Gaspé, l'écoulement de l'eau souterraine s'effectue vers la fosse du Mont Copper. À l'échelle régionale, l'écoulement de l'eau souterraine suit la topographie et se dirige vers le sud-est dans la direction du bassin C.

Tableau 3. Mesures des niveaux d'eau

Forage/Lieu	Date	Élévation du collet (m. A.D.N.M.)	Profondeur de l'eau (m)	Élévation de l'eau (m. A.D.N.M.)
30-0840	01/08/05	758,92	37,50	721,42
30-0860	01/08/05	669,08	24,88	644,20
30-0858	01/08/05	687,75	33,83	653,92
30-0857	01/08/05	630,09	20,30	609,79
Puits 1100	04/08/05	580,61	29,65	550,96
Forage non numéroté nord de la fosse Copper	01/08/05	599,83	47,36	552,47
Fosse Copper	03/08/05	-----	-----	535,07
Bassin C	03/08/05	-----	-----	505,21
Petit lac Porphyre	03/08/05	-----	-----	622,55

m A.D.N.M. mètre au-dessus du niveau de la mer

3.4 Inspection du puits 1100

Une inspection de l'ancien puits de ventilation 1100 a été effectuée à l'aide d'une caméra le 4 août 2005 par la firme Massé et fils. Une copie du visionnement sur DVD est jointe à ce rapport. La caméra a été descendue dans le conduit de ventilation par les tuyaux existants de 10,15 centimètres de diamètres qui garantissent un accès au puits. La caméra

s'est approchée de la paroi du conduit à environ 20 mètres de profondeur où il a été possible d'observer l'état du roc. La paroi du conduit, inclinée à 75°, est fissurée et accidentée. Quelques blocs de roc sont détachés de la paroi. Le mur inspecté est en forme d'escalier irrégulier possédant des « marches de roc » de tailles variables. La caméra a été descendue jusqu'à une profondeur d'environ 25 mètres. Une « marche de roc » de plus de 30 centimètres de largeur a empêché le passage de la caméra à cette profondeur.

4.0 Potentiel de production d'énergie géothermique

4.1 Type d'exploitation géothermique possible au site des Mines Gaspé

L'exploitation de l'énergie géothermique au site des Mines Gaspé pourrait être effectuée à l'aide d'un système de thermopompe géothermique à circuit ouvert, soit un système qui capte et utilise directement l'eau des galeries souterraines.

Le réservoir géothermique des Mines Gaspé offre un potentiel de production d'énergie thermique disponible pour le chauffage de bâtiments. L'eau qui inonde les galeries pourrait être pompée à un débit élevé afin de fournir une grande quantité d'énergie habituellement requise par les industries. Un échangeur de chaleur permettrait d'abaisser la température de l'eau pompée et transférer la chaleur résultante dans un système de chauffage. L'eau exploitée par l'échangeur de chaleur serait retournée dans la mine à une température plus froide. L'eau injectée absorberait la chaleur provenant du roc, garantissant un renouvellement de la ressource. Le captage et l'injection de l'eau sous terre pourraient être effectués dans les ouvrages existants afin de minimiser les coûts des installations.

Les réservoirs des Mines Gaspé permettraient également de stocker de l'énergie afin de chauffer et climatiser des bâtiments de toute sortes. Durant l'hiver, l'eau des galeries serait pompée en surface pour chauffer des bâtiments à l'aide d'échangeur de chaleur. L'eau exploitée serait ensuite retournée sous terre dans une partie distincte des galeries afin de créer un réservoir d'eau froide. Le système serait inversé en été afin de pomper l'eau froide pour climatiser des bâtiments. L'eau exploitée par l'échangeur de chaleur serait retournée sous terre à une température plus élevée dans une région distincte afin de créer un réservoir d'eau chaude. Le forage de puits permettant de stocker l'eau dans des galeries précises serait nécessaire afin d'aménager un tel système.

Le stockage d'énergie peut également permettre d'emmagasiner l'eau chaude sous terre et de la réutiliser lors d'une période de forte demande énergétique. Par exemple, un industriel qui doit éliminer l'eau de refroidissement peut la stocker sous terre dans les galeries pour emmagasiner la chaleur et la réutiliser en hiver lorsqu'il doit chauffer des bâtiments.

Plusieurs types d'exploitations géothermiques sont possibles à Murdochville. L'exploitation des ressources pourrait s'adapter en fonction des besoins énergétiques des industriels et commerçants de la région. L'énergie géothermique pourrait être exploitée dans la ville tout comme au parc industriel de Murdochville puisque des galeries sont présentes sous ce territoire.

4.2 Estimation des ressources géothermiques

Les ressources géothermiques sont définies comme étant la quantité de chaleur qui pourrait être extraite du milieu souterrain à un moment précis dans le futur. Elles dépendent des ressources découvertes et des technologies disponibles pour extraire la chaleur. Il est important de ne pas confondre les ressources avec les réserves géothermiques qui sont la quantité de chaleur présente dans le milieu souterrain qui peut être économiquement extraite au moment présent.

Les ressources géothermiques associées à la masse d'eau présentes dans les galeries des Mines Gaspé sont de l'ordre de 66 976 millions de kilojoules (annexe 5), soit l'équivalent de l'énergie thermique libérée par la combustion d'environ 12 000 barils d'huile à chauffage. Cette énergie est dégagée à un rythme d'environ 161 kilojoules par secondes. Un essai de pompage sera nécessaire afin de déterminer les réserves géothermiques des Mines Gaspé.

4.3 Évaluation de la qualité de l'eau souterraine

Lors d'un essai de pompage, l'eau souterraine serait dirigée vers le ruisseau Copper. Les analyses chimiques indiquent que l'eau souterraine échantillonnée dans le puits 1100 respecte les critères de résurgence dans les égouts et eaux de surface du MDDEP. Il sera cependant important d'analyser l'eau pompée durant un essai de pompage afin de s'assurer que la composition demeure semblable et que l'eau peut toujours être dirigée vers le ruisseau Copper. L'essai devrait être arrêté dans le cas où un important changement de composition survient en cours de pompage.

Il n'existe pas de critère normalisé concernant la qualité de l'eau souterraine lorsqu'elle est utilisée à des fins de chauffage géothermique. Certaines compagnies ont cependant émis quelques critères afin de déterminer si la qualité de l'eau est suffisante pour ne pas endommager les thermopompes. L'eau souterraine échantillonnée dans le puits 1100 respecte les critères émis par Command-Air Corporation (Langley, 2002). Le pH de l'eau est neutre ce qui contribue à diminuer les risques de corrosion. Bien que la dureté (concentration en CaCO_3) de l'eau échantillonnée soit sous la limite du critère émis par Command-Air Corporation, celle-ci demeure élevée. Une précipitation d'incrustation pourrait subvenir dans le système géothermique lors de l'exploitation. Il sera important d'effectuer un nettoyage des conduits d'eau souterraine afin de prévenir la formation d'incrustation.

4.4 Essai de pompage à l'ancien puits 1100

Un essai de pompage à débit élevé à l'ancien puits de ventilation 1100 durant une période d'au moins trois semaines permettra d'évaluer la quantité d'énergie thermique qu'il est possible d'extraire du milieu souterrain. Une pompe pourrait être installée dans le conduit à environ 55 mètres de profondeur afin de pomper l'eau stockée dans les galeries. L'eau pourrait être pompée à un débit d'environ 1000 gallons U.S. par minutes (G.U.S.M.). La température de l'eau pompée ainsi que les niveaux de l'eau au puits 1100 et dans des puits d'observations devront être suivis lors de l'essai de pompage. Un estimé des coûts pour un tel essai de pompage sera transmis avec le rapport.

L'énergie extraite durant l'essai de pompage variera en fonction de la quantité et de la température de l'eau pompée. Pour un essai à 1000 G.U.S.M., l'énergie thermique extraite pourrait varier entre 266 et 1 597 kilojoules par secondes (tableau 4) ce qui correspond à une puissance de chauffage de 266 à 1597 kilowatts. Un système de thermopompe géothermique pourrait extraire l'énergie contenue dans l'eau pompée. Un apport en énergie électrique serait nécessaire au fonctionnement du système. Une thermopompe géothermique avec un coefficient de performance régulier peut produire au moins 3 unités d'énergie thermique pour chaque unité d'énergie électrique consommée par le fonctionnement du système. La consommation énergétique de la thermopompe est alors réduite au tiers de l'énergie qui serait consommée par un système de chauffage électrique conventionnel. Un système géothermique pompant l'eau des galeries à 1000 G.U.S.M. et fonctionnant sur une période consécutive de 365 jours permettrait de réaliser des économies d'énergie de 151 560 \$ ou plus, selon la température de l'eau pompée (tableau 4).

Tableau 4. Quantité d'énergie extraite lors d'un essai de pompage à 1000 G.U.S.M. et économies d'énergie

Température de l'eau (°C)	Énergie extraite (J/s)	Énergie de fonctionnement (J/s)	Énergie totale disponible (J/s)	Coût énergétique annuel (\$)	Économies annuelles d'énergie (\$)
4	266 175	133 088	399 263	75 780	151 560
5	532 350	266 175	798 525	151 560	303 120
6	798 525	399 263	1 197 788	227 340	454 680
7	1 064 700	532 350	1 597 050	303 120	606 240
8	1 330 875	665 438	1 996 313	378 900	757 800
9	1 597 050	798 525	2 395 575	454 680	909 360
Coefficient de performance de la thermopompe					3
Température de référence (°C)					3
Quantité d'eau extraite (m ³ /s)					0,063
Densité de l'eau à 10° C (g/m ³)					1 000 000
Capacité thermique spécifique de l'eau à 10°C (J/gK)					4,225
Prix de l'électricité (\$/kWh)					0,065

5.0 Conclusion

Une importante quantité d'énergie géothermique se retrouve dans l'eau qui inonde les galeries souterraines des Mines Gaspé. Cette énergie pourrait être exploitée pour chauffer et/ou climatiser des bâtiments au parc industriel et dans la ville de Murdochville. Parmi tous les systèmes disponibles sur le marché, une thermopompe géothermique offrirait la meilleure qualité de l'air et contribuerait à éliminer les écarts de température à l'intérieur des bâtiments. L'exploitation de cette énergie renouvelable permettrait de réaliser des économies d'énergie d'envergures en plus de contribuer à la réduction des gaz à effet de serre. L'entretien d'un tel système est simple et habituellement moins coûteux que celui d'un système de chauffage conventionnel.

L'étude réalisée indique que des ressources géothermiques accrues se trouvent à Murdochville. Environ 66 976 millions de kilojoules sont stockées sous forme de chaleur dans l'eau qui inonde les galeries souterraines des Mines Gaspé. Le réservoir géothermique formé des galeries souterraines possède les caractéristiques suivantes qui le distinguent d'un réservoir conventionnel :

- la quantité d'eau contenue dans le réservoir des Mine Gaspé (près de 4 millions de mètres cubes) est plus grande que la quantité d'eau contenu dans un aquifère conventionnel de même volume;
- l'eau qui inonde les galeries souterraines pourrait être pompée en surface à un débit élevé afin de produire une quantité d'énergie importante;
- le captage et/ou l'injection de l'eau souterraine pourrait être effectués dans des ouvrages existants qui donnent accès aux galeries, réduisant les coûts de forage associés à l'installation du système géothermique;
- contrairement à plusieurs mines désaffectées, le pH de l'eau échantillonnée dans l'ancien puits de ventilation 1100 est neutre et la qualité de l'eau est satisfaisante ce qui réduit les risques de corrosion et d'incrustation dans les échangeurs de chaleur d'un système géothermique.

Nous suggérerons de réaliser un essai de pompage afin d'évaluer les réserves géothermiques disponibles à Murdochville. L'essai de pompage pourrait être réalisé dans l'ancien puits de ventilation 1100 à un débit d'environ 1000 G.U.S.M. L'essai permettra d'évaluer la quantité d'eau souterraine et d'énergie qui peut être extraite du milieu. Les résultats de l'essai serviront à garantir un potentiel de production d'énergie géothermique minimale face à des promoteurs qui désirent exploiter cette ressource à Murdochville. L'essai de pompage fournira une meilleure connaissance de la capacité de production du réservoir géothermique des Mines Gaspé ce qui contribuera à réduire les risques d'investissements dans un système géothermique. Des résultats positifs lors de l'essai pompage auront sans aucun doute l'effet de valoriser la ville de Murdochville.

Jasmin Raymond,
B.Sc.

René Therrien,
Ing. PhD.

JR/RT/el

6.0 Référence

Allcock, J.B., 1982. Skarn and Porphyry Copper Mineralization at Mines Gaspé, Murdochville, Quebec. *Economic Geology*, 77 : 971-999.

Bernard, P. et Procyshyn, E.L., 1992. Géologie et exploration minière à Mines Gaspé. Rapport interne, Minéraux Noranda Inc., Division Mines Gaspé, Murdochville, 17 pp.

Brailsford, A.D., et Major, K.C., 1964. The thermal conductivity of aggregates of several phases, including porous materials. *Britanian Journal of Applied Physics*, 15: 313-319.

Chemical Rupert Company, 2000. CRC handbook of chemistry and physics (81^e édition). CRC Press, Ohio, Référence électronique.

Clauser, C., et Huenges, E., 1995. Thermal conductivity of rocks and minerals. Dans: Ahrens, T. J., *Rock physics & phase relations; a handbook of physical constants*, AGU Reference Shelf, 3 : 105-126.

Drury, J.M., Jessop, A.M. et Lewis, T.J., 1987. The thermal nature of the Canadian Appalachian crust. *Tectonophysics*, 133(1-2) : 1-14.

Freeze, R.A., et Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 604 pp.

GENIVAR, 1995. Rapport d'étude hydrogéologique, Murdochville (Québec). Rapport interne, GENIVAR groupe conseil inc., Québec, 40 pp.

Geocon, 1994. Caractérisation environnementale du site de Mines Gaspé, Murdochville, Québec, Unité 7 - Méthodes d'exploitation. Rapport interne, SNC Lavalin, Shawinigan.

Holman, J.P., 1958. *Heat transfer* (4^eme edition). McGraw-Hill Book Co., New York, 537 p.

Jessop, A.M., 1990. *Thermal Geophysics. Developments in Solid Earth Geophysics*, 17. Elsevier, Amsterdam, 306 pp.

Jessop, A.M., MacDonald, J.K., et Spence, H., 1995. Clean Energy from abandoned mines at Springhill, Nova-Scotia. *Energy Sources*, 17:93-106.

Langley, B.C., 2002. *Heat Pump Technology*. Prentice Hall, Columbus, 536 pp.

Ministère de l'environnement et de la faune, 1994. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 3, échantillonnage des eaux souterraines. Gouvernement du Québec, Sainte-Foy, 101 pp.

Ministère des ressources naturelles et de la faune, Division des Mines, 1976 à 1999. Base de donnée MAGMA, Gouvernement du Québec. Requête demandée en mai 2005.

Ministère des richesses naturelles, 1955 à 1975. L'industrie Minière au Québec. Section sur les Mines Gaspé. Gouvernement du Québec.

Ministère du développement durable, de l'environnement, et des parcs, 2005. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Référence électronique: http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_grille_eaux.htm.

Morin, G., 1992. Exploitation des mines. Rapport interne, Minéraux Noranda Inc., Division Mines Gaspé, Murdochville, 18 pp.

Somerton, W. H., 1992. Thermal properties and temperature related behavior of rock/fluid systems. Elsevier, Amsterdam, 275 p.

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004a. A review of and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1: Minerals and nonporous rocks. *Natural resources research*, 13(2) : 97-122.

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004b. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2: fluids and porous rocks. *Natural resources research*, 13(2) : 123-130.

Wares, R., et Berger, J., 1993. Stratigraphie, structure et lithogéochimie de la région de Mines Gaspé. Rapport interne, Société de recherche IXION, Montréal, 34 pp.

Wares, R., and Berger, J., 1995. Contrôle structuraux des gisements cuprifères de Mines Gaspé. Rapport interne Société de recherche IXION, Montréal, 31 pp.

Wares, R., et Brisebois, D., 1998. Geology and Metallogeny of the Cu-porphyry-related Mines Gaspé, Murdochville, Gaspésie. Mineralogical Association of Canada, Joint annual meeting, field trip B4 guide book, Québec, 24 pp.

Annexe 1- Calcul des propriétés thermique des unités rocheuses

La porosité des unités hydrostratigraphiques est estimée en fonction du type de lithologie selon les valeurs émises par Freeze et Cherry (1979). Les proportions de minéraux présents dans les unités hydrostratigraphiques sont déterminées à partir des graphiques de composition chimique présentés par Wares et Berger (1993) en supposant que tout le SiO_2 est du Quartz, le CaO est de la calcite et le reste du feldspath.

Le calcul de la conductivité thermique d'une roche poreuse est effectué selon la méthode décrite par Brailsford et Major (1964). La conductivité thermique de la matrice rocheuse est estimée en fonction de la minéralogie de la roche selon le modèle géométrique (Clauser et Huenges, 1995).

La capacité thermique spécifique d'une roche poreuse est calculée à une température de 10 °C selon l'approche proposée par Waples et Waples (2004b). La capacité thermique spécifique et la densité de l'eau en fonction de la température sont calculées selon les méthodes décrites par Somerton (1992) et Holman (1958). La capacité thermique spécifique de la matrice rocheuse est calculée en fonction de la température selon Waples et Waples (2004a).

Les chiffriers utilisés pour réaliser ses calculs sont présentés pour chaque unité aux pages suivantes.

Conductivité thermique d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U1 Mudstone calcaireux

Fluide : Eau

Porosité : 0,05

λ_r	Conductivité thermique de la roche poreuse	4,77 W/ m K
$\lambda_r = \lambda_m * ((X-2*\phi*Y)/(X+\phi*Y))$ (Brailsford et Major, 1964)		
λ_m	Conductivité thermique de la matrice rocheuse	5,08 W/ m K
λ_f	Conductivité thermique du fluide dans les pores (CRC, 2000)	0,58 W/ m K
ϕ	Porosité	0,05
r	$r = \lambda_m / \lambda_f$	8,77
X	$X = 2r + 1$	18,53
Y	$Y = r - 1$	7,77

Conductivité thermique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U1

λ_{max}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle parallèle	5,73 W/ m K
λ_m	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle géométrique	5,08 W/ m K
λ_{min}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle en série	4,39 W/ m K

Minéral 1 : Quartz

X_v	fraction volumique de la roche	0,60
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	7,69 W/ m K

Minéral 2 : Calcite

X_v	fraction volumique de la roche	0,15
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	3,59 W/ m K

Minéral 3 : Albite-Microcline

X_v	fraction volumique de la roche	0,25
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	2,32 W/ m K

Somme des fractions de chaque minéral	1,00
---------------------------------------	------

Brailsford, A.D., et Major, K.C., 1964. The thermal conductivity of aggregates of several phases, including porous materials. *Britanian Journal of Applied Physics*, 15 : 313-319.

Clauser, C., et Huenges, E., 1995. Thermal conductivity of rocks and minerals. Dans: Ahrens, T. J., *Rock physics & phase relations; a handbook of physical constants*, AGU Reference Shelf, 3 : 105-126.

Capacité thermique spécifique d'un fluide et d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U1 Mudstone calcaireux

Fluide : Eau

Porosité : 0,05

Cpr	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	795 J / Kg K
------------	--	---------------------

Capacité thermique spécifique de l'eau pure en fonction de la température et de la densité

$$C_{pw}(J/Kg K) = (4245 - 1,841T) / \rho_w \quad (\text{Somerton, 1992})$$

T	Température	10 °C
ρ_w	Densité de l'eau	1,000 g/cm ³
C _{pw}	Capacité thermique spécifique de l'eau	4225 J / Kg K
C _w	Capacité thermique de l'eau	4,227 J / cm ³ K

Densité de l'eau en fonction de la température

ρ_w	$\rho_w = \rho_{w20} / (1 + (T-20)\beta_w)$	(Holman, 1958)	1,000 g/cm ³
ρ_{w20}	Densité de l'eau @ 20°C	(CRC, 2000)	0,998 g/cm ³
β_w	Coefficient d'expansion thermique de l'eau		0,00022579
	$\beta_w = 0,0002115 + 1,32E-6 * T + 1,09E-8 * T^2$	(Holman, 1958)	

Capacité thermique spécifique d'un roche poreuse saturée en eau

$$C_{pr}(J/Kg K) = [\rho_s * C_{pm} * (1-\phi) + \rho_w * C_{pw} * \phi] / \rho_r \quad (\text{Waples and Waples, 2004b})$$

C _{pm}	Capacité thermique spécifique de la matrice	729 J / Kg K
ρ_s	Densité du solide	2,70 g/cm ³
ϕ	Porosité	0,05
ρ_r	Densité de la roche poreuse saturée	2,615 g/cm ³
	$\rho_r = \rho_s * (1-\phi) + \rho_w * \phi$	
C _{pr}	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	795 J / Kg K
C _r	Capacité thermique de la roche poreuse	2,080 J / cm ³ K

Chemical Rupert Company, 2000. CRC handbook of chemistry and physics (81^e édition). CRC Press, Ohio, Référence électronique.

Holman, J.P., 1958. Heat transfer (4^e édition). McGraw-Hill Book Co., New York, 537 p.

Somerton, W. H., 1992. Thermal properties and temperature related behavior of rock/fluid systems. Elsevier, Amsterdam, 275 p.

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004b. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2 : fluids and porous rocks. Natural resources research, 13(2) :123-130.

Capacité thermique spécifique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U1 Mudstone calcaireux

Cpm	Capacité thermique de la roche non-poreuse @ T2	729 J/ Kg K
------------	--	--------------------

Capacité thermique d'un mineral en fonction de la température

$$CpmT2 \text{ (J/ Kg K)} = CpmT1 * CpmnT2 / CpmnT1 = CpmT1 * F$$

(Waples and Waples, 2004a)

F	Facteur de correction = $CpmnT2 / CpmnT1$	0,98
T1	Température de mesure	20 °C
CpmnT2	Capacité thermique normalisée @ T2 $CpmnT2 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,73
T2	Température désirée	10 °C
CpmnT1	Capacité thermique normalisée @ T1 $CpmnT1 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,75

(Waples and Waples, 2004a)

Mineral 1 : Quartz

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,60
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	740 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	724 J/ Kg K

Mineral 2 : Calcite

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,15
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	815 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	797 J/ Kg K

Mineral 3 : Albite-Microcline

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,25
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	715 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	699 J/ Kg K

Somme des fractions massiques de chaque mineral	1,00
---	------

* Valeur selon Waples et Waples, 2004a

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004a. A review of and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1 : Minerals and nonporous rocks. Natural resources research, 13(2) : 97-122

Conductivité thermique d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U2 Calcaire argileux

Fluide : Eau

Porosité : 0,1

λ_r	Conductivité thermique de la roche poreuse	3,36 W/ m K
$\lambda_r = \lambda_m * ((X-2*\phi*Y)/(X+\phi*Y))$ (Brailsford et Major, 1964)		
λ_m	Conductivité thermique de la matrice rocheuse	3,79 W/ m K
λ_f	Conductivité thermique du fluide dans les pores (CRC, 2000)	0,58 W/ m K
ϕ	Porosité	0,10
r	$r = \lambda_m / \lambda_f$	6,53
X	$X = 2r + 1$	14,06
Y	$Y = r - 1$	5,53

Conductivité thermique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U2

λ_{max}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle parallèle	4,31 W/ m K
λ_m	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle géométrique	3,79 W/ m K
λ_{min}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle en série	3,39 W/ m K

Minéral 1 : Quartz

X_v	fraction volumique de la roche	0,30
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	7,69 W/ m K

Minéral 2 : Calcite

X_v	fraction volumique de la roche	0,30
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	3,59 W/ m K

Minéral 3 : Albite-Microcline

X_v	fraction volumique de la roche	0,40
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	2,32 W/ m K

Somme des fractions de chaque minéral	1,00
---------------------------------------	------

Brailsford, A.D., et Major, K.C., 1964. The thermal conductivity of aggregates of several phases, including porous materials. *Britanlian Journal of Applied Physics*, 15 : 313-319.

Clauser, C., et Huenges, E., 1995. Thermal conductivity of rocks and minerals. Dans: Ahrens, T. J., *Rock physics & phase relations; a handbook of physical constants*, AGU Reference Shelf, 3 : 105-126.

Capacité thermique spécifique d'un fluide et d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U2 Calcaire argileux

Fluide : Eau

Porosité : 0,1

Cpr	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	869 J / Kg K
------------	--	---------------------

Capacité thermique spécifique de l'eau pure en fonction de la température et de la densité

$$Cpw(J/Kg K) = (4245 - 1,841T) / \rho_w \quad (\text{Somerton, 1992})$$

T	Température	10 °C
ρ_w	Densité de l'eau	1,000 g/cm ³
Cpw	Capacité thermique spécifique de l'eau	4225 J / Kg K
Cw	Capacité thermique de l'eau	4,227 J / cm ³ K

Densité de l'eau en fonction de la température

ρ_w	$\rho_w = \rho_w20 / (1 + (T-20)\beta_w)$	(Holman, 1958)	1,000 g/cm ³
ρ_w20	Densité de l'eau @ 20°C	(CRC, 2000)	0,998 g/cm ³
β_w	Coefficient d'expansion thermique de l'eau		0,00022579
	$\beta_w = 0,0002115 + 1,32E-6 * T + 1,09E-8 * T^2$	(Holman, 1958)	

Capacité thermique spécifique d'un roche poreuse saturée en eau

$$Cpr(J/Kg K) = [\rho_s * Cpm * (1-\phi) + \rho_w * Cpw * \phi] / \rho_r \quad (\text{Waples and Waples, 2004b})$$

Cpm	Capacité thermique spécifique de la matrice	736 J / Kg K
ρ_s	Densité du solide	2,80 g/cm ³
ϕ	Porosité	0,10
ρ_r	Densité de la roche poreuse saturée	2,620 g/cm ³
	$\rho_r = \rho_s * (1-\phi) + \rho_w * \phi$	
Cpr	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	869 J / Kg K
Cr	Capacité thermique de la roche poreuse	2,277 J / cm ³ K

Chemical Rupert Company, 2000. CRC handbook of chemistry and physics (81^e édition). CRC Press, Ohio, Référence électronique.

Holman, J.P., 1958. Heat transfer (4^e édition). McGraw-Hill Book Co., New York, 537 p.

Somerton, W. H., 1992. Thermal properties and temperature related behavior of rock/fluid systems. Elsevier, Amsterdam, 275 p.

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004b. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2 : fluids and porous rocks. Natural resources research, 13(2) :123-130.

Capacité thermique spécifique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U2 Calcaire argileux

Cpm	Capacité thermique de la roche non-poreuse @ T2	736 J/ Kg K
------------	--	--------------------

Capacité thermique d'un mineral en fonction de la température

$$CpmT2 \text{ (J/ Kg K)} = CpmT1 * CpmnT2 / CpmnT1 = CpmT1 * F$$

(Waples and Waples, 2004a)

F	Facteur de correction = $CpmnT2 / CpmnT1$	0,98
T1	Température de mesure	20 °C
CpmnT2	Capacité thermique normalisée @ T2 $CpmnT2 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,73 (Waples and Waples, 2004a)
T2	Température désirée	10 °C
CpmnT1	Capacité thermique normalisée @ T1 $CpmnT1 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,75 (Waples and Waples, 2004a)

Mineral 1 : Quartz

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,30
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	740 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	724 J/ Kg K

Mineral 2 : Calcite

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,30
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	815 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	797 J/ Kg K

Mineral 3 : Albite-Microcline

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,40
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	715 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	699 J/ Kg K

Somme des fractions massiques de chaque mineral	1,00
---	------

* Valeur selon Waples et Waples, 2004a

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004a. A review of and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1 : Minerals and nonporous rocks. Natural resources research, 13(2) : 97-122

Conductivité thermique d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U3 Mudstone calcaireux

Fluide : Eau

Porosité : 0,05

λ_r	Conductivité thermique de la roche poreuse	4,33 W/ m K
$\lambda_r = \lambda_m * ((X-2*\phi*Y)/(X+\phi*Y))$ (Brailsford et Major, 1964)		
λ_m	Conductivité thermique de la matrice rocheuse	4,61 W/ m K
λ_f	Conductivité thermique du fluide dans les pores (CRC, 2000)	0,58 W/ m K
ϕ	Porosité	0,05
r	$r = \lambda_m / \lambda_f$	7,95
X	$X = 2r + 1$	16,89
Y	$Y = r - 1$	6,95

Conductivité thermique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U3

λ_{max}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle parallèle	5,26 W/ m K
λ_m	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle géométrique	4,61 W/ m K
λ_{min}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle en série	4,00 W/ m K

Minéral 1 : Quartz

X_v	fraction volumique de la roche	0,50
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	7,69 W/ m K

Minéral 2 : Calcite

X_v	fraction volumique de la roche	0,20
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	3,59 W/ m K

Minéral 3 : Albite-Microcline

X_v	fraction volumique de la roche	0,30
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	2,32 W/ m K

Somme des fractions de chaque minéral	1,00
---------------------------------------	------

Brailsford, A.D., et Major, K.C., 1964. The thermal conductivity of aggregates of several phases, including porous materials. *Britanian Journal of Applied Physics*, 15 : 313-319.

Clauser, C., et Huenges, E., 1995. Thermal conductivity of rocks and minerals. Dans: Ahrens, T. J., *Rock physics & phase relations; a handbook of physical constants*, AGU Reference Shelf, 3 : 105-126.

Capacité thermique spécifique d'un fluide et d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U3 Mudstone calcaireux

Fluide : Eau

Porosité : 0,05

Cpr	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	798 J / Kg K
------------	--	---------------------

Capacité thermique spécifique de l'eau pure en fonction de la température et de la densité

$$C_{pw}(J/Kg K) = (4245 - 1,841T) / \rho_w \quad (\text{Somerton, 1992})$$

T	Température	10 °C
ρ_w	Densité de l'eau	1,000 g/cm ³
C _{pw}	Capacité thermique spécifique de l'eau	4225 J / Kg K
C _w	Capacité thermique de l'eau	4,227 J / cm ³ K

Densité de l'eau en fonction de la température

ρ_w	$\rho_w = \rho_{w20} / (1 + (T-20)\beta_w)$	(Holman, 1958)	1,000 g/cm ³
ρ_{w20}	Densité de l'eau @ 20°C	(CRC, 2000)	0,998 g/cm ³
β_w	Coefficient d'expansion thermique de l'eau		0,00022579
	$\beta_w = 0,0002115 + 1,32E-6 * T + 1,09E-8 * T^2$	(Holman, 1958)	

Capacité thermique spécifique d'un roche poreuse saturée en eau

$$C_{pr}(J/Kg K) = [\rho_s * C_{pm} * (1-\phi) + \rho_w * C_{pw} * \phi] / \rho_r \quad (\text{Waples and Waples, 2004b})$$

C _{pm}	Capacité thermique spécifique de la matrice	731 J / Kg K
ρ_s	Densité du solide	2,70 g/cm ³
ϕ	Porosité	0,05
ρ_r	Densité de la roche poreuse saturée	2,615 g/cm ³
	$\rho_r = \rho_s * (1-\phi) + \rho_w * \phi$	
C _{pr}	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	798 J / Kg K
C _r	Capacité thermique de la roche poreuse	2,086 J / cm ³ K

Chemical Rupert Company, 2000. CRC handbook of chemistry and physics (81^e édition). CRC Press, Ohio, Référence électronique.

Holman, J.P., 1958. Heat transfer (4^e édition). McGraw-Hill Book Co., New York, 537 p.

Somerton, W. H., 1992. Thermal properties and temperature related behavior of rock/fluid systems. Elsevier, Amsterdam, 275 p.

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004b. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2 : fluids and porous rocks. Natural resources research, 13(2) :123-130.

Capacité thermique spécifique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U3 Mudstone calcaireux

Cpm	Capacité thermique de la roche non-poreuse @ T2	731 J/ Kg K
------------	--	--------------------

Capacité thermique d'un mineral en fonction de la température

$$CpmT2 \text{ (J/ Kg K)} = CpmT1 * CpmnT2 / CpmnT1 = CpmT1 * F$$

(Waples and Waples, 2004a)

F	Facteur de correction = $CpmnT2 / CpmnT1$	0,98
T1	Température de mesure	20 °C
CpmnT2	Capacité thermique normalisée @ T2 $CpmnT2 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,73 (Waples and Waples, 2004a)
T2	Température désirée	10 °C
CpmnT1	Capacité thermique normalisée @ T1 $CpmnT1 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,75 (Waples and Waples, 2004a)

Mineral 1 : Quartz

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,50
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	740 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	724 J/ Kg K

Mineral 2 : Calcite

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,20
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	815 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	797 J/ Kg K

Mineral 3 : Albite-Microcline

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,30
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	715 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	699 J/ Kg K

Somme des fractions massiques de chaque mineral	1,00
---	------

* Valeur selon Waples et Waples, 2004a

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004a. A review of and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1 : Minerals and nonporous rocks. Natural resources research, 13(2) : 97-122

Conductivité thermique d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U4 Calcaire argileux

Fluide : Eau

Porosité : 0,1

λ_r	Conductivité thermique de la roche poreuse	3,12 W/ m K
$\lambda_r = \lambda_m * ((X-2*\phi*Y)/(X+\phi*Y))$ (Brailsford et Major, 1964)		
λ_m	Conductivité thermique de la matrice rocheuse	3,51 W/ m K
λ_f	Conductivité thermique du fluide dans les pores (CRC, 2000)	0,58 W/ m K
ϕ	Porosité	0,10
r	$r = \lambda_m / \lambda_f$	6,05
X	$X = 2r + 1$	13,11
Y	$Y = r - 1$	5,05

Conductivité thermique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U4

λ_{max}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle parallèle	3,90 W/ m K
λ_m	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle géométrique	3,51 W/ m K
λ_{min}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle en série	3,23 W/ m K

Minéral 1 : Quartz

X_v	fraction volumique de la roche	0,20
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	7,69 W/ m K

Minéral 2 : Calcite

X_v	fraction volumique de la roche	0,40
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	3,59 W/ m K

Minéral 3 : Albite-Microcline

X_v	fraction volumique de la roche	0,40
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	2,32 W/ m K

Somme des fractions de chaque minéral	1,00
---------------------------------------	------

Brailsford, A.D., et Major, K.C., 1964. The thermal conductivity of aggregates of several phases, including porous materials. *Britanian Journal of Applied Physics*, 15 : 313-319.

Clauser, C., et Huenges, E., 1995. Thermal conductivity of rocks and minerals. Dans: Ahrens, T. J., *Rock physics & phase relations; a handbook of physical constants*, AGU Reference Shelf, 3 : 105-126.

Capacité thermique spécifique d'un fluide et d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U4 Calcaire argileux

Fluide : Eau

Porosité : 0,1

Cpr	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	876 J / Kg K
------------	--	---------------------

Capacité thermique spécifique de l'eau pure en fonction de la température et de la densité

$$C_{pw}(J/Kg K) = (4245 - 1,841T) / \rho_w \quad (\text{Somerton, 1992})$$

T	Température	10 °C
ρ_w	Densité de l'eau	1,000 g/cm ³
C _{pw}	Capacité thermique spécifique de l'eau	4225 J / Kg K
C _w	Capacité thermique de l'eau	4,227 J / cm ³ K

Densité de l'eau en fonction de la température

ρ_w	$\rho_w = \rho_{w20} / (1 + (T - 20)\beta_w)$	(Holman, 1958)	1,000 g/cm ³
ρ_{w20}	Densité de l'eau @ 20°C	(CRC, 2000)	0,998 g/cm ³
β_w	Coefficient d'expansion thermique de l'eau		0,00022579
	$\beta_w = 0,0002115 + 1,32E-6 * T + 1,09E-8 * T^2$	(Holman, 1958)	

Capacité thermique spécifique d'un roche poreuse saturée en eau

$$C_{pr}(J/Kg K) = [\rho_s * C_{pm} * (1 - \phi) + \rho_w * C_{pw} * \phi] / \rho_r \quad (\text{Waples and Waples, 2004b})$$

C _{pm}	Capacité thermique spécifique de la matrice	743 J / Kg K
ρ_s	Densité du solide	2,80 g/cm ³
ϕ	Porosité	0,10
ρ_r	Densité de la roche poreuse saturée	2,620 g/cm ³
	$\rho_r = \rho_s * (1 - \phi) + \rho_w * \phi$	
C _{pr}	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	876 J / Kg K
C _r	Capacité thermique de la roche poreuse	2,296 J / cm ³ K

Chemical Rupert Company, 2000. CRC handbook of chemistry and physics (81^e édition). CRC Press, Ohio, Référence électronique.

Holman, J.P., 1958. Heat transfer (4^e édition). McGraw-Hill Book Co., New York, 537 p.

Somerton, W. H., 1992. Thermal properties and temperature related behavior of rock/fluid systems. Elsevier, Amsterdam, 275 p.

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004b. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2 : fluids and porous rocks. Natural resources research, 13(2) :123-130.

Capacité thermique spécifique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U4 Calcaire argileux

Cpm	Capacité thermique de la roche non-poreuse @ T2	743 J/ Kg K
------------	--	--------------------

Capacité thermique d'un mineral en fonction de la température

$$CpmT2 \text{ (J/ Kg K)} = CpmT1 * CpmnT2 / CpmnT1 = CpmT1 * F$$

(Waples and Waples, 2004a)

F	Facteur de correction = $CpmnT2 / CpmnT1$	0,98
T1	Température de mesure	20 °C
CpmnT2	Capacité thermique normalisée @ T2	0,73
	$CpmnT2 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	(Waples and Waples, 2004a)
T2	Température désirée	10 °C
CpmnT1	Capacité thermique normalisée @ T1	0,75
	$CpmnT1 = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	(Waples and Waples, 2004a)

Mineral 1 : Quartz

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,20
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	740 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	724 J/ Kg K

Mineral 2 : Calcite

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,40
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	815 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	797 J/ Kg K

Mineral 3 : Albite-Microcline

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,40
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	715 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du mineral @ T2	699 J/ Kg K

Somme des fractions massiques de chaque mineral	1,00
---	------

* Valeur selon Waples et Waples, 2004a

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004a. A review of and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1 : Minerals and nonporous rocks. Natural resources research, 13(2) : 97-122

Conductivité thermique d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U5 Mudstone calcaireux

Fluide : Eau

Porosité : 0,05

λ_r	Conductivité thermique de la roche poreuse	4,87 W/ m K
	$\lambda_r = \lambda_m * ((X-2*\phi*Y)/(X+\phi*Y))$ (Brailsford et Major, 1964)	
λ_m	Conductivité thermique de la matrice rocheuse	5,20 W/ m K
λ_f	Conductivité thermique du fluide dans les pores (CRC, 2000)	0,58 W/ m K
ϕ	Porosité	0,05
r	$r = \lambda_m / \lambda_f$	8,96
X	$X = 2r + 1$	18,92
Y	$Y = r - 1$	7,96

Conductivité thermique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U5

λ_{max}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle parallèle	5,80 W/ m K
λ_m	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle géométrique	5,20 W/ m K
λ_{min}	Conductivité thermique de la roche non-poreuse selon le modèle en série	4,55 W/ m K

Minéral 1 : Quartz

X_v	fraction volumique de la roche	0,60
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	7,69 W/ m K

Minéral 2 : Calcite

X_v	fraction volumique de la roche	0,20
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	3,59 W/ m K

Minéral 3 : Albite-Microcline

X_v	fraction volumique de la roche	0,20
λ_{mi}	Conductivité thermique du minéral (Clauser et Huenges, 1995)	2,32 W/ m K

Somme des fractions de chaque minéral	1,00
---------------------------------------	------

Brailsford, A.D., et Major, K.C., 1964. The thermal conductivity of aggregates of several phases, including porous materials. *Britanian Journal of Applied Physics*, 15 : 313-319.

Clauser, C., et Huenges, E., 1995. Thermal conductivity of rocks and minerals. Dans: Ahrens, T. J., *Rock physics & phase relations; a handbook of physical constants*, AGU Reference Shelf, 3 : 105-126.

Capacité thermique spécifique d'un fluide et d'une roche poreuse

Unité rocheuse : U5 Mudstone calcaireux

Fluide : Eau

Porosité : 0,05

Cpr	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	800 J / Kg K
------------	--	---------------------

Capacité thermique spécifique de l'eau pure en fonction de la température et de la densité

$$C_{pw}(J/Kg K) = (4245 - 1,841T) / \rho_w \quad (\text{Somerton, 1992})$$

T	Température	10 °C
ρ_w	Densité de l'eau	1,000 g/cm ³
C_{pw}	Capacité thermique spécifique de l'eau	4225 J / Kg K
C_w	Capacité thermique de l'eau	4,227 J / cm ³ K

Densité de l'eau en fonction de la température

ρ_w	$\rho_w = \rho_{w20} / (1 + (T-20)\beta_w)$	(Holman, 1958)	1,000 g/cm ³
ρ_{w20}	Densité de l'eau @ 20°C	(CRC, 2000)	0,998 g/cm ³
β_w	Coefficient d'expansion thermique de l'eau		0,00022579
	$\beta_w = 0,0002115 + 1,32E-6 * T + 1,09E-8 * T^2$	(Holman, 1958)	

Capacité thermique spécifique d'un roche poreuse saturée en eau

$$C_{pr}(J/Kg K) = [\rho_s * C_{pm} * (1-\phi) + \rho_w * C_{pw} * \phi] / \rho_r \quad (\text{Waples and Waples, 2004b})$$

C_{pm}	Capacité thermique spécifique de la matrice	733 J / Kg K
ρ_s	Densité du solide	2,70 g/cm ³
ϕ	Porosité	0,05
ρ_r	Densité de la roche poreuse saturée	2,615 g/cm ³
	$\rho_r = \rho_s * (1-\phi) + \rho_w * \phi$	
Cpr	Capacité thermique spécifique de la roche poreuse	800 J / Kg K
Cr	Capacité thermique de la roche poreuse	2,093 J / cm³ K

Chemical Rupert Company, 2000. CRC handbook of chemistry and physics (81^e édition). CRC Press, Ohio, Référence électronique.

Holman, J.P., 1958. Heat transfer (4^e édition). McGraw-Hill Book Co., New York, 537 p.

Somerton, W. H., 1992. Thermal properties and temperature related behavior of rock/fluid systems. Elsevier, Amsterdam, 275 p.

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004b. A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 2 : fluids and porous rocks. Natural resources research, 13(2) :123-130.

Capacité thermique spécifique d'une roche non-poreuse

Matrice rocheuse : U5 Mudstone calcaireux

Cpm	Capacité thermique de la roche non-poreuse @ T2	733 J/ Kg K
------------	--	--------------------

Capacité thermique d'un mineral en fonction de la température
 $C_{pmT2} (J/ Kg K) = C_{pmT1} * C_{pmnT2} / C_{pmnT1} = C_{pmT1} * F$

(Waples and Waples, 2004a)

F	Facteur de correction = C_{pmnT2} / C_{pmnT1}	0,98
T1	Température de mesure	20 °C
CpmnT2	Capacité thermique normalisée @ T2 $C_{pmnT2} = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,73 (Waples and Waples, 2004a)
T2	Température désirée	10 °C
CpmnT1	Capacité thermique normalisée @ T1 $C_{pmnT1} = 8,95E-10 * T^3 - 2,13E-6 * T^2 + 0,00172T + 0,716$	0,75 (Waples and Waples, 2004a)

Mineral 1 : Quartz

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,60
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	740 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du minéral @ T2	724 J/ Kg K

Mineral 2 : Calcite

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,20
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	815 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du minéral @ T2	797 J/ Kg K

Mineral 3 : Albite-Microcline

Xm	Fraction de la masse de la roche	0,20
CpmT1*	Capacité thermique spécifique du minéral mesurée @ T1	715 J/ Kg K
CpmT2	Capacité thermique spécifique du minéral @ T2	699 J/ Kg K

Somme des fractions massiques de chaque mineral	1,00
---	------

* Valeur selon Waples et Waples, 2004a

Waples, D.W., et Waples, J.S., 2004a. A review of and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1 : Minerals and nonporous rocks. Natural resources research, 13(2) : 97-122

Annexe 2- Calcul du volume de vide créé par l'excavation des galeries souterraines

Le calcul du volume de vide créé par l'excavation des galeries souterraines est réalisé selon deux méthodes. Le volume de tout le réseau souterrain est d'abord estimé en multipliant la masse de débris et de minerai extrait chaque année par la masse volumique moyenne de la roche ($2,8 \text{ g/cm}^3$) et un facteur de correction égal à 0,25 (Jessop et al., 1995). Ce facteur a pour but de réduire le volume de façon conservatrice tout en tenant compte de la subsidence et des opérations de remblayage. Les données, concernant la masse de débris et de minerai extrait, sont tirées de la revue L'industrie minière au Québec (Ministère des richesses naturelles) pour la période de 1955 à 1975 et de la base de données MAGMA de la division des mines du MRNF pour la période de 1976 à 1999. Lorsque ces données sont absentes, elles sont estimées en fonction de la masse extraite durant les années précédentes et suivantes.

La deuxième méthode consiste à mesurer la superficie des zones souterraines et à multiplier cette valeur par l'épaisseur moyenne de la zone et un facteur de correction de 0,25 (Jessop et al., 1995). Ce facteur a pour but de réduire le volume de façon conservatrice afin de tenir compte des piliers et des opérations de remblayage. Les cartes nécessaires à l'estimation de la surface des zones ont été obtenues à la division des mines du MRNF.

Les données et les calculs sont présentés aux pages suivantes. Des résultats similaires sont obtenus avec les deux méthodes. La deuxième permet toutefois d'obtenir un estimé du volume de vide dans chaque zone.

Volume de vide sous terre calculé selon les données d'exploitation

Année	Source	Déchets (t)	Minerai (t)	Volume (m3)
1955	3-1	28 938	321 537	31 292
1956	3-1	95 050	1 056 114	102 783
1957	3-1	61 259	680 652	66 242
1958	3-1	145 677	1 618 633	157 528
1959	3-1	159 033	1 767 034	171 970
1960	3-1	150 688	1 674 312	162 946
1961	1-1	167 611	1 545 151	152 925
1962	1-1	152 572	1 441 392	142 318
1963	1-1	123 757	1 548 100	149 273
1964	1-1	73 154	1 462 268	137 091
1965	3-1	117 571	1 306 346	127 135
1966	3-3	102 645	1 140 499	110 995
1967	3-1	107 529	1 194 762	116 276
1968	3-1	105 716	1 174 623	114 316
1969	3-1	77 523	861 372	83 830
1970	3-1	108 247	1 202 745	117 053
1971	3-1	104 344	1 159 382	112 833
1972	3-1	104 181	1 157 568	112 656
1973	3-1	89 403	993 367	96 676
1974	3-1	89 811	997 903	97 117
1975	3-1	100 425	1 115 837	108 595
1976	2-2	74 433	1 371 151	129 070
1977	2-2	147 371	1 232 786	123 228
1978	2-2	105 975	875 615	87 642
1979	2-2	30 844	612 350	57 428
1980	2-2	96 160	1 312 696	125 791
1981	2-2	80 000	1 047 000	100 625
1982	2-2	100 000	545 000	57 589
1983	2-2	25 000	1 666	2 381
1984	2-2	22 940	360 126	34 202
1985	2-2	59 330	1 051 953	99 222
1986	2-2	74 718	1 011 656	96 998
1987	2-2	35 037	337 338	33 248
1988*	2-2	---	---	---
1989	3-2	---	578 377	51 641
1990	3-2	5 096	796 626	71 582
1991	3-2	---	858 280	76 632
1992	3-2	---	912 607	81 483
1993	3-2	---	918 270	81 988
1994	3-2	---	868 742	77 566
1995	3-2	---	951 201	84 929
1996	3-2	---	979 157	87 425
1997	3-2	---	911 853	81 415
1998	3-2	---	778 432	69 503
1999	3-2	---	534 315	47 707
Total		3 122 041	44 266 795	4 231 146

* Aucune exploitation pour cause d'incendie. Tous les déchets ont été conservés sous terre en 1989 et après 1991.

Sources : 1-L'industrie minière du Québec, 2-Base de données MAGMA, 3 -Estimation en fonction des années antérieures et futures

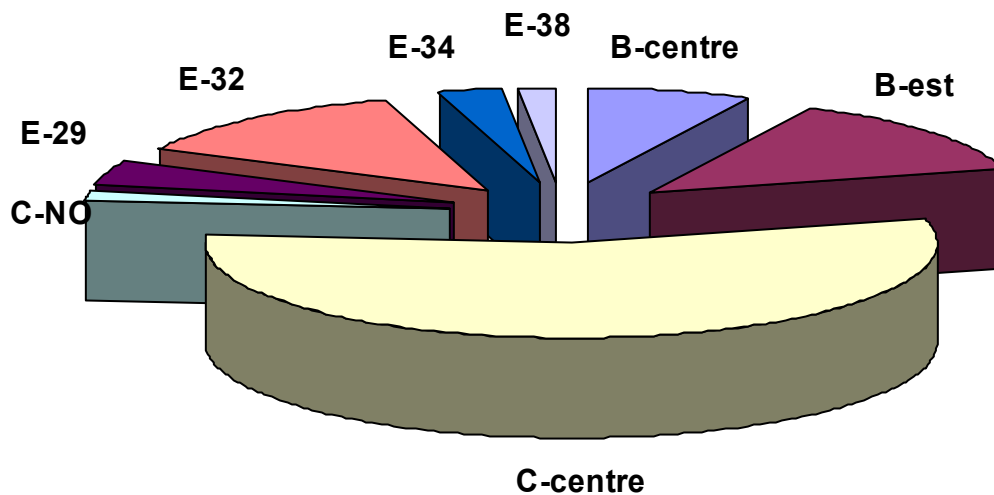
Volume de vide sous terre calculé selon la surface occupée par les zones souterraines

Zone	Type d'exploitation	Épaisseur* m	Aire m ²	Volume m ³
B-centre	C & P	10	115 756	289 390
B-est	C & P	10	221 252	553 130
C-centre	C & P, L T	30	297 622	2 232 165
C-NO	L T	30	8 086	60 645
E-29	L T	34	20 453	173 851
E-32	L T	68	31 339	532 763
E-34	L T	20	21 251	106 255
E-38	L T	20	14 373	71 865
Total			730 132	4 020 064

*Estimé selon Morin (1992) et Bernard et Procyshyn (1992)

C & P : chambre et pilier, L T: chantier long trous

Volume de vide: 4 020 064 mètre cube



Annexe 3- Certificats d'analyses chimiques

08/23/2005 14:39 LABORATOIRE LCQ INC. → 948 3556

NO. 357 001



Laboratoire de L'Environnement LCQ Inc.

2690, avenue Daiton
Sainte-Foy, Qc, G1P 3S4
Tél. : (418) 658-5784
Fax : (418) 658-6594
Courriel : info@lablcq.com

Eau - Air - Sol - Aliments - Sédiments - Matériaux
Analyses chimiques, bactériologiques et toxicologiques

TRANSMISSION PAR TÉLÉCOPIEUR

Projet : _____

Date : 23 août 2005

EXPÉDITEUR : Mario PERRON, chimiste

DESTINATAIRE :

Compagnie : _____

Personne : Monsieur Jasmin Raymond

No. télécopieur : 948-3556

Nombre de pages (incluant la présente formule) 3

MESSAGE: Bonne journée !

Signataire : *Diane Goulet*

"ATTENTION - AVIS DE CONFIDENTIALITÉ."

«Cet envoi, transmis par télécopieur, est confidentiel et est à l'usage exclusif du client ci-dessus. Toute autre personne est, par la présente, avisée qu'il lui est strictement interdit de diffuser, distribuer ou reproduire cet envoi. Si le destinataire ne peut être joint ou vous est inconnu, veuillez nous en informer à nos frais. Merci.»

08/23/2005 14:39 LABORATOIRE LCQ INC. → 948 3556

NO. 367 D02



**Laboratoire
de
L'Environnement LCQ Inc.**

2690, avenue Dalton
Sainte-Foy, Qc, G1P 3S4
Tél. : (418) 658-6784
Fax : (418) 658-6594
Courriel : info@lablcq.com

Eau - Air - Sol - Aliments - Sédiments - Matériaux
Analyses chimiques, bactériologiques et toxicologiques

Client : Monsieur Jasmin Raymond
124, rue des Crans
Lac Delage (Québec) GDA 4P0

Dossier : LE053000
date de réception : 05/08/05
Date du rapport : 22/08/05
Rapport : LCQ - 80643

CERTIFICAT D'ANALYSE

Prélevé par : M. Jasmin Raymond
Date de prélèvement : 4 août 2005
Description des échantillons : Eau souterraine et surface
Type d'analyse : Chimique et bactériologique
Identification des échantillons : Murdochville

Analyses	Quantité	Date d'analyse	Méthode d'analyse	Réf. de la méthode
Aluminium	1	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Antimoine	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Argent	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Arsenic	1	17/08/05	LCQ 95.04/As-01	SM 303 E*
Baryum	1	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Cadmium	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Calcium	2	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Chlorures	1	10/08/05	LCQ 95.10/Cl-01	SM 407 A*
Chrome	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Cobalt	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Cuivre	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Dureté totale	2	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Fer	1	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Magnésium	2	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Manganèse	1	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Mercuré	1	11/08/05	LCQ 95.04/Hg-01	SM 303 F*
Molybdène	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Nickel	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Oxygène dissous	1	05/08/05	SM 421 F*	SM 421 F*
Plomb	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Potassium	1	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Sélénium	1	17/08/05	LCQ 95.04/Se-01	SM 303 E*
Sodium	1	10/08/05	LCQ 04.05/ICP-01	SM 3120 B***
Solides dissous	1	08/08/05	LCQ 95.09/SD-02	MENVIQ 91.02/114-S.D. 1.1
Sulfures	1	17/08/05	LCQ 95.10/S-01	SM 427 C*
Turbidité	1	05/08/05	LCQ 95.04/Turb-01	SM 214 A*
Zinc	1	08/08/05	ICP-MS	MA.200 - Mét 1.1**
Coliformes totaux	1	05/08/05	LCQ 96.01/Coli-tot.-01	MA.700 - Col 1.0
Coliformes fécaux	1	05/08/05	LCQ 96.01/Coli-féc.-01	MA.700 - Fec.Ec. 1.0

* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16e Edition 1985.
** Edition : 2003-03-03
*** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20e Edition 1998.


Mario PERRON
Chimiste

D 301 version 2
Page 1 de 3



08/23/2005 14:39 LABORATOIRE LCQ INC. → 948 3556

NO. 367 D03

RAPPORT D'ANALYSE

Identification du client	M. Jasmin Raymond	Votre projet	Murdochville
No. du dossier	LE053000	No. de rapport	LCQ - 80643
No. du laboratoire	#21551 - 72837	Ident. échantillon	04/08/05 - #P1100-04108 Puits 1100, Mines Gaspé

PARAMÈTRES	CONCENTRATION	LIMITE DE DÉTECTION
Aluminium (mg/L)	0,01	0,01
Antimoine (mg/L)	0,001	0,001
Argent (mg/L)	<0,0003	0,0003
Arsenic (mg/L)	0,002	0,001
Baryum (mg/L)	<0,10	0,10
Cadmium (mg/L)	0,001	0,001
Calcium (mg/L)	123,2	0,01
Chlorures (mg/L)	16,0	1,0
Chrome (mg/L)	0,002	0,001
Cobalt (mg/L)	<0,001	0,001
Culvre (mg/L)	0,023	0,003
Dureté totale CaCO ₃ (mg/L)	329	1
Fer (mg/L)	0,011	0,005
Magnésium (mg/L)	5,1	0,005
Manganèse (mg/L)	0,003	0,001
Mercuré (mg/L)	<0,0002	0,0002
Molybdène (mg/L)	0,41	0,001
Nickel (mg/L)	<0,013	0,013
Oxygène dissous (mg/L)	8,8*	0,1
Plomb (mg/L)	<0,001	0,001
Potassium (mg/L)	2,4	0,01
Sélénium (mg/L)	<0,001	0,001
Sodium (mg/L)	20,1	0,01
Solides dissous (mg/L)	534	10
Sulfures (mg/L)	0,02	0,02
Turbidité U.T.N.	0,8	0,1
Zinc (mg/L)	0,069	0,003
Coliformes totaux UFC/100 mL	0	0
Coliformes fécaux UFC/100 mL	0	0

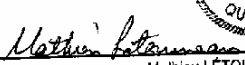
REMARQUE : * Température à 22 °C

Approuvé par :



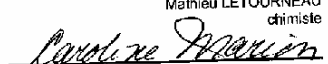
Mario PERRON
chimiste 83-011
QUÉBEC

Véifié par :



Mathieu LÉTOURNEAU
chimiste

Microbiologiste :



Caroline MARION

Date :

22 août 2005

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit sans une permission écrite du Laboratoire de l'Environnement LCQ Inc.

© Conversion 2
#Page 1 de 5

A01.19*2005 13:02 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATÉRIAUX STE #6257 P.C01/C02



ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyse

Numéro de demande d'analyse: **05-150975**

Demande d'analyse reçue le: 8 août, 2005

Date d'émission du certificat: 18 août, 2005

Numéro de version du certificat: 01

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant

M. JASMIN RAYMOND

124 RUE DES CRANS
 LAC DELAGE, Québec, Canada
 G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	NA

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.

ND : non-détecté NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 147612 - Page 1 de 2

Ce certificat ne doit pas être reproduit, singly or en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut se sont conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites ou orales.

AOU.19'2005 13:02 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATÉRIAUX STE #6257 P.002/002

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-150975**Client: **M. JASMIN RAYMOND**Bon de commande
NAVotre Projet
NAChargé de Projet
NA**Échantillon(s)**No Labo. **713246**Votre
Référence NAMatrice Eau
Prélevé par VOTRE
REPRESENTANTLieu de
prélèvement MINE GASPÉ,
MURDOCHVILLEPrélevé le 2005-08-08
Reçu Labo 2005-08-08**Paramètre(s)**Méthode
Référence**Bactéries du fer**Bactéries du fer
Bactéries du fer - SM-6240D**Bactéries du fer**

Analyse 2005-08-10

No. séquence NA

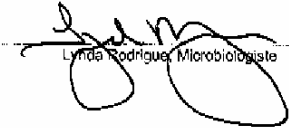
NPP/100 mL 9

Commentaire:

713246 NA

Présence de Naumanella sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.



Lynda Rodrigue, Microbiologiste

Certificat no. 147612 - Page 2 de 2

Ce certificat ne doit pas être reproduit, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

Annexe 4- Sondage de température

Mesure des profils de température (°C)

Profondeur (m)	Forage 30-0840	Forage 30-0860	Forage 30-0858	Forage 30-0857	Lieu Fosse Copper
	Date 01/08/05	Date 01/08/05	Date 01/08/05	Date 02/08/05	Date 06/04/05
	Élévation du collet (m A.D.N.M.) 758,92	Élévation du collet (m A.D.N.M.) 669,08	Élévation du collet (m A.D.N.M.) 687,75	Élévation du collet (m A.D.N.M.) 630,09	Élévation du niveau de mesure (m A.D.N.M.) 535,07
0	18,81	20,22	16,70	28,07	0,06
10	13,15	19,52	16,00	27,34	2,09
20	8,78	18,11	14,94	19,87	4,56
30	8,04	12,80	13,87	9,89	4,92
40	6,52	6,52	8,78	6,14	5,14
50	4,98	4,98	6,14	4,19	5,10
60	3,39	3,39	4,58	2,99	5,05
70	3,39	3,39	3,79	2,99	5,00
80	2,99	2,99	3,39	2,99	4,83
90	2,99	3,39	3,39	2,99	4,66
100	2,99	3,39	3,39	3,39	4,54
110	2,99	3,39	3,39	3,39	4,52
120	2,99	3,79	3,39	3,39	
130	2,99	3,79	3,39	3,79	
140	2,99	4,19	3,39	3,79	
150	3,39	4,19	3,79	4,19	
160	3,39	4,19	3,79	4,19	
170	3,39	4,58	3,79	4,19	
180	3,39	4,58	4,19	4,58	
190	3,39	4,58	4,19	4,58	
200	3,79	4,98	4,19	4,58	
206	3,79	4,98	4,58	4,98	
216	3,79	4,98	4,58	4,98	
226	3,79	5,37	4,58	4,98	
236	3,79	5,37	4,58	5,37	
246	4,19	5,37	4,98	5,37	
256	4,19	5,75	4,98	5,37	
266	4,19	5,75	4,98	5,75	
276	4,19		5,37	5,75	
286	4,58		5,37	5,75	
296	4,58		5,37	6,14	
Gradient géothermique (°C/m)	0,0088	0,0144	0,0119	0,0143	---

m A.D.N.M. mètre au-dessus du niveau de la mer

Annexe 5- Calcul des ressources géothermiques

L'énergie thermique (H) emmagasinée dans une unité de volume peut être calculée de la façon suivante (Jessop, 1990):

$$H = \rho c g z$$

où,

ρ = densité du matériel

c = capacité thermique

g = gradient thermique

z = profondeur

En multipliant H par le volume de l'eau (V), on obtient l'énergie emmagasinée dans une masse d'eau qui inonde des galeries souterraines (H_g):

$$H_g = \rho c g z V$$

Cette équation permet de calculer les ressources géothermiques associées à l'eau qui inonde une galerie souterraine. Le rythme auquel cette ressource est renouvelée peut être estimé en multipliant le flux de chaleur moyen par la superficie globale couverte par les galeries. Le calcul des ressources a été effectué dans chaque zone et est présenté au tableau ci-dessous.

Ressources géothermiques au Mines Gaspé

Zone	Profondeur moyenne (m)	Épaisseur ¹ m	Aire m ²	Volume ² m ³	Énergie J
B-est	100	10	221 252	553 130	2,8044E+12
C-centre	300	30	297 622	2 232 165	3,3951E+13
C-NO	518	30	8 086	60 645	1,5927E+12
E-29	580	34	20 453	173 851	5,1122E+12
E-32	670	68	31 339	532 763	1,8097E+13
E-34	600	20	21 251	106 255	3,2323E+12
E-38	600	20	14 373	71 865	2,1861E+12
Total			614 376	3 730 674	6,6976E+13
Gradient géothermique moyen (K/m)					0,012
Densité de l'eau à 10 °C (g/m ³)					1 000 000
Capacité thermique spécifique de l'eau à 10 °C (J/gK)					4,225
Superficie globale (m ²)					3 292 211
Flux de chaleur (W/m ²)					0,049
Taux de renouvellement (J/s)					161 318
1- Estimé selon Morin (1992) et Bernard et Procyshyn (1992)					
2- Déterminé selon la surface occupée par les galeries					

Annexe 6- Reportage photographique



Photo 1. Instruments utilisés pour la mesure du niveau de l'eau et des profils de température.



Photo 2. Préparation de l'équipement pour la mesure d'un profil de température dans la fosse du Mont Copper.



Photo 3. Préparation des équipements pour la descente de la caméra submersible dans l'ancien puits de ventilation 1100



Photo 4. Tête de la caméra submersible.



Photo 5 et 6. Descente de la caméra submersible dans l'ancien puits de ventilation 1100.

**Estimation du potentiel de production
d'énergie géothermique des Mines Gaspé
à Murdochville; essai de pompage**

**Rapport technique concernant les
travaux de la deuxième étape de l'étude**

Rédigé par :

**M. Jasmin Raymond,
Travailleur autonome**

**Dr. René Therrien,
Université Laval**

Remis à :

**Dr. André Lemieux,
Comité de relance de la ville de
Murdochville**

Québec, le 16 décembre 2005

Dr. André Lemieux

Commissaire à la relance
Comité de relance de la ville de Murdochville
635, 5^e rue
Murdochville (Québec)
G0E 1W0

Objet : Rapport – étape 2

Estimation du potentiel de production
d'énergie géothermique des Mines Gaspé
à Murdochville; essai de pompage.

Monsieur André Lemieux,

Nous avons le plaisir de vous transmettre notre rapport concernant les travaux réalisés à la deuxième étape du projet mentionné en titre. Nous espérons le tout à votre entière satisfaction et demeurons à votre disposition pour tout renseignement additionnel.

Veillez agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

Jasmin Raymond,
B.Sc., Travailleur autonome, étudiant
à la maîtrise en hydrogéologie

124 rue des Crans
Lac Delage (Québec)
G0A 4P0

Tél. : (418) 948-3556
Fax : (418) 948-3556

jraymond@ccapcable.com

René Therrien,
Ing., PhD.
Professeur d'hydrogéologie

Département de géologie et de génie
géologique
Faculté des sciences et de génie
Université Laval
Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4

Tél. : (418) 656-5400
Fax : (418) 656-7339

rene.therrien@ggl.ulaval.ca

JR/RT/el
P.J.

Sommaire exécutif

Le 18 août 2005, Jasmin Raymond, travailleur autonome, et René Therrien, professeur à l'université Laval, ont été mandatés par André Lemieux, commissaire à la relance au Comité de relance de la ville de Murdochville, pour réaliser la deuxième étape d'une étude sur le potentiel de production d'énergie géothermique aux Mines Gaspé. Un essai de pompage d'une durée de trois semaines a été réalisé à un débit moyen de 984 gallons U.S. par minute afin d'estimer les réserves d'énergie géothermiques disponibles en captant l'eau souterraine au puits 1100.

Les travaux de terrain ont débuté par le forage de deux puits d'observations numérotés PO-115 et PO-216. Ces puits ont été aménagés dans un rayon d'environ 45 mètres au puits 1100 et ont permis de mesurer le niveau d'eau dans l'aquifère qui alimente le puits de pompage. Des travaux d'excavation ont été réalisés afin de dégager la surface de l'ancien puits de ventilation 1100. Une ouverture d'environ 1,2 mètres carrés a été réalisée dans le capuchon de béton du puits 1100. Une poutre d'acier a été installée dans le puits 1100 jusqu'à une profondeur d'environ 50 mètres et une pompe submersible a été descendue le long de la poutre jusqu'à une profondeur d'environ 48,75 mètres. Le puits de pompage et les puits d'observations ont été instrumentés avec des enregistreurs de données afin de mesurer périodiquement la température de l'eau pompée ainsi que le niveau d'eau dans les puits. Le débit d'eau pompée a été mesuré manuellement à l'aide d'un compteur d'eau. L'essai de pompage a débuté le 5 octobre 2005 et s'est terminé le 26 octobre 2005. La remontée du niveau d'eau a été mesurée dans les puits 1100, PO-115 et PO-216 après l'essai de pompage. La pompe submersible a été retirée du puits 1100 lors de la fermeture du chantier. Les puits 1100, PO-115 et PO-216 ont été cadenassés afin de sécuriser le site.

Lors de l'essai, l'eau pompée au puits 1100 avait une température moyenne de 6,7 °C. De faibles variations du niveau d'eau ont été enregistrées en cours de pompage dans les puits 1100, PO-115 et PO-216. La variation maximale a été enregistrée lors du 12^{ème} jour de pompage alors que le niveau d'eau a baissé de 3,63 mètres dans le puits 1100. De fortes précipitations ont ensuite provoqué une recharge de l'aquifère et le niveau d'eau est remonté bien que le pompage se poursuivait toujours. L'essai s'est terminé après 21 jours de pompage. La remontée de l'eau au niveau initial s'est effectuée lors d'une période de 7,7 jours suivant l'arrêt du pompage. L'analyse des variations du niveau d'eau nous a permis d'estimer certaines propriétés hydrauliques de l'aquifère. Les calculs effectués suggèrent que le puits 1100 pourrait être pompé à un débit plus élevé. En effet, il apparaît possible de pomper l'eau souterraine au puits 1100, durant une période de 8 mois par année (hiver), à un débit d'environ 2500 gallons U.S. par minute si la recharge de l'aquifère est suffisante lors des 4 mois suivants (été).

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons d'eau prélevés à la sortie de la pompe révèlent que l'eau souterraine a un pH légèrement basique et qu'elle a une dureté très élevée. Les échantillons prélevés ont une concentration en CaCO₃ près du point de saturation ce qui pourrait entraîner la formation d'incrustation dans les échangeurs de

chaleur d'un système géothermique. L'eau souterraine peut toutefois être utilisée pour des fins géothermiques. Il serait cependant préférable d'installer des thermopompes avec des échangeurs de chaleur facilement démontables afin de pouvoir les inspecter et nettoyer périodiquement.

Le calcul des réserves d'énergie géothermique a été effectué à partir des données recueillies lors de l'essai de pompage. L'analyse des données indique que 969 kilojoules d'énergie thermique auraient pu être extraits chaque seconde lors du pompage au puits 1100. Le potentiel géothermique prouvé du puits 1100 est par conséquent 0,97 mégawatts. L'énergie extraite du milieu souterrain pourrait être plus élevée si l'eau souterraine était pompée à un débit plus grand. Le potentiel géothermique possible du puits 1100 est de 2,47 mégawatts lorsque que l'eau souterraine est pompée à un débit de 2500 gallons U.S. par minute. L'analyse effectuée ne permet toutefois pas d'évaluer si l'extraction d'énergie peut être réalisée pendant plusieurs années sans refroidir l'aquifère. Afin de répondre à cette question, des travaux de modélisation numérique seront entrepris dans le cadre du projet de maîtrise de Jasmin Raymond dans le but de simuler l'extraction d'énergie pendant plus de 20 ans et d'évaluer le rendement de l'aquifère.

L'évaluation des bénéfices que pourrait entraîner l'utilisation de l'énergie géothermique a été réalisée. L'exploitation de cette énergie à Murdochville pourrait se traduire par des économies d'énergie électrique annuelles de 36 000 à 940 000 \$. Les économies d'énergie varieront en fonction de la demande énergétique des bâtiments à chauffer et du débit d'eau pompée dans le réservoir des Mines Gaspé.

La deuxième étape de l'étude réalisée confirme les hypothèses suivantes émises lors de la première étape, soit :

- le réservoir géothermique formé des Mines Gaspé contient un vaste volume d'eau;
- cette eau peut être pompée à un débit élevé afin de produire une quantité d'énergie thermique importante;
- le captage de l'eau souterraine peut être effectué dans des ouvrages existants afin d'éviter de forer de nouveaux puits et réduire les coûts associés à l'installation d'un système géothermique;
- la qualité de l'eau souterraine est satisfaisante.

Table des matières

Sommaire exécutif	i
Table des matières	iii
1.0 Introduction.....	1
1.1 Mandat	1
1.2 Contexte	1
1.3 Objectifs de l'étude	1
1.4 Méthodologie	2
2.0 Sommaire des travaux de terrain.....	2
2.1 Forage des puits d'observation	2
2.2 Aménagement du chantier pour l'installation de la pompe	4
2.3 Installation de la pompe submersible dans le puits 1100.....	5
2.4 Essai de pompage.....	5
2.5 Démantèlement des installations.....	6
2.6 Remontée du niveau d'eau dans l'aquifère profond	6
2.7 Essai de perméabilité	7
3.0 Résultats obtenus	7
3.1 Stratigraphie et aquifères à l'endroit des puits PO-115 et PO-216.....	7
3.2 Suivi lors de l'essai de pompage.....	8
3.2.1 Précipitations.....	8
3.2.2 Débit d'eau pompée	8
3.2.3 pH et conductivité électrique de l'eau pompée.....	9
3.2.4 Niveau d'eau au puits d'observation PO-6	10
3.2.5 Niveau d'eau dans la fosse du Mont Copper	11
3.2.6 Température de l'eau pompée.....	11
3.2.7 Niveau d'eau dans les puits 1100, PO-115 et PO-216.....	12
3.3 Essai de perméabilité dans les puits PO-115 et PO-216.....	14
3.4 Composition chimique de l'eau échantillonnée.....	14
4.0 Estimation des réserves d'énergie géothermique.....	20
4.1 Capacité de pompage au puits 1100.....	20
4.2 Réserves d'énergie géothermique disponibles au puits 1100	20
4.4 Économies d'énergie possibles.....	22
5.0 Conclusion	23
6.0 Référence	25
Annexe 1- Rapport de forage et plans de conception des puits	I
Annexe 2- Certificats d'analyses chimiques.....	VI
Annexe 3- Reportage photographique	LIX

1.0 Introduction

1.1 Mandat

Monsieur André Lemieux, commissaire à la relance au Comité de relance de la ville de Murdochville, a mandaté Monsieur Jasmin Raymond, travailleur autonome et étudiant à la maîtrise en hydrogéologie, et Monsieur René Therrien, professeur d'hydrogéologie à l'université Laval, afin de réaliser la deuxième étape d'une étude sur le potentiel de production d'énergie géothermique aux Mines Gaspé à Murdochville. Le mandat a été établi le 18 août 2005 lors d'une réunion du Comité de relance de la ville de Murdochville.

Un essai de pompage durant une période de trois semaines a été réalisé dans l'ancien puits de ventilation 1100 lors de la deuxième étape de l'étude. Ces travaux avaient pour but d'évaluer les réserves géothermiques des Mines Gaspé. Le présent rapport décrit les travaux exécutés et les résultats obtenus lors de cette étude. La quantité d'énergie thermique qui peut être extraite de l'eau inondant les mines Gaspé est estimée à la fin de ce rapport.

1.2 Contexte

La première étape de l'étude effectuée à Murdochville indique que les galeries souterraines des Mines Gaspé forment un réservoir d'eau perméable dont le volume est d'environ 4,1 millions de mètres cubes. L'eau inondant les galeries absorbe la chaleur du roc, lequel émet un flux d'énergie thermique à un taux de 49 mW/m². La température de l'aquifère en surface est d'environ 3 °C et augmente en fonction de la profondeur selon un gradient géothermique de 0,012 °C/m. La quantité d'énergie thermique contenue dans l'eau de tout le réseau de galeries est estimée à 66 976 millions de kilojoules. Le potentiel de production d'énergie géothermique de basse température apparaît élevé puisque les Mines Gaspé contiennent un grand volume d'eau. L'énergie géothermique pourrait être exploitée à l'aide de thermopompes dans le but de chauffer des bâtiments à Murdochville. Nous avons exécuté la deuxième étape de l'étude afin de bien définir les réserves d'énergie géothermique des Mines Gaspé.

1.3 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de la deuxième étape de l'étude consiste à évaluer les réserves d'énergie géothermique disponibles en captant l'eau souterraine dans l'ancien puits de ventilation 1100 des Mines Gaspé.

Les objectifs secondaires sont les suivants :

- préciser le niveau d'eau dans l'aquifère profond autour d'un rayon d'environ 50 m au puits 1100;
- réaliser un essai de pompage au puits 1100 à un débit d'environ 1000 gallons US par minute (GUSPM) durant une période de trois semaines;
- mesurer la température de l'eau pompée en cours d'essai;
- évaluer la qualité de l'eau pompée en cours d'essai;
- déterminer le volume de l'eau pompée en surface;
- estimer la quantité d'énergie extraite lors de l'essai de pompage.

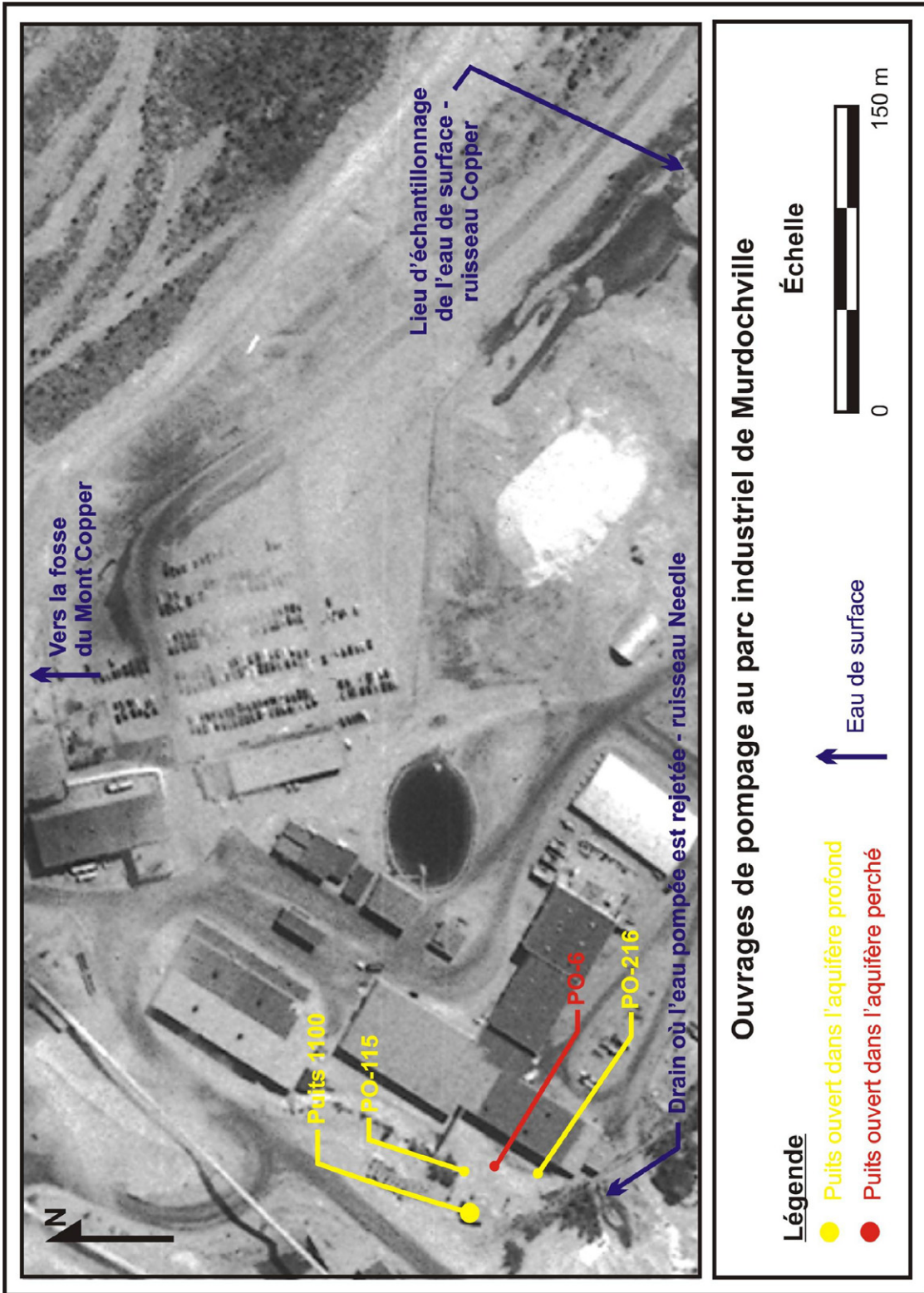
1.4 Méthodologie

Deux puits d'observation ont d'abord été aménagés dans le roc près du puits 1100 à l'aide d'une foreuse à rotoperçusion. Des enregistreurs de données ont été installés afin de suivre le niveau d'eau dans les puits d'observations et le puits 1100 durant l'essai de pompage. Le remblai déposé au-dessus du capuchon de béton et de la fondation du puits 1100 a été excavé. Le capuchon de béton a été ouvert et la pompe a été installée sur une poutre d'acier à une profondeur d'environ 48,75 mètres dans le puits 1100. L'essai de pompage a débuté le 5 octobre 2005 et s'est terminé le 26 octobre 2005. Quatre échantillons d'eau pompée en surface ont été prélevés afin d'évaluer la qualité de l'eau souterraine. La température et le débit d'eau pompée ont été mesurés lors de l'essai de pompage. Le taux de remontée du niveau d'eau dans les puits a été enregistré après l'essai de pompage. L'information acquise a permis d'estimer les réserves d'énergie géothermique disponibles en pompant l'eau souterraine dans le puits de ventilation 1100.

2.0 Sommaire des travaux de terrain

2.1 Forage des puits d'observation

La compagnie J.M. Massé & Fils Inc. a débuté le forage des puits d'observation le 15 septembre 2005. Le puits PO-115 a été foré à environ 22 mètres à l'est du puits 1100 jusqu'à 82,3 mètres de profondeur lors de cette journée. Un deuxième puits, PO-216, a été entamé le 16 septembre à environ 43 mètres au sud-sud-est du puits 1100. Les travaux de forages ont été suspendus à la fin de cette journée et ont repris le lundi suivant, soit le 19 septembre 2005. Le puits PO-216 a été complété le 21 septembre 2005 et a atteint une profondeur de 100 mètres. La localisation des puits d'observation a été mesurée à l'aide d'une station totale par le personnel des Mines Gaspé. Un plan de localisation des puits d'observation ainsi que du puits de pompage (1100) est présenté à la figure 1.



Source : MRNF, Photocartothèque québécoise, Orthophotographie #99806152F05
Auteur : Jamin Raymond
Figure 1. Localisation des puits de pompage (1100) et des puits d'observation (PO-115, PO-216, PO-6) lors de l'essai de pompage aux Mines Gaspé à Murdochville.

Lors du forage des puits, le personnel de SNC-Lavalin présent sur le site a informé Monsieur Jasmin Raymond qu'il y avait présence de contamination par les hydrocarbures pétroliers dans un aquifère perché localisé dans la couche de remblai près de la surface aux environs du puits PO-115. Suite à cette mise en garde, l'eau de l'aquifère profond dans les puits PO-115, PO-216 et 1100 a été échantillonnée et analysée afin de connaître son contenu en hydrocarbures Pétroliers C₁₀-C₅₀. Les analyses n'ont relevées aucune présence d'hydrocarbures pétroliers (Raymond et Therrien, 2005b) au-delà du critère de résurgence dans les eaux de surface et d'égouts du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP, 2005a). Les travaux ont été poursuivis suite à la réception des résultats d'analyses. Par mesure de prévention, un bouchon sellant fait de bentonite et de ciment a été installé sous le coffrage d'acier des puits d'observation afin de s'assurer que les puits d'observations n'entraînent aucun écoulement d'eau de l'aquifère perché vers l'aquifère profond.

Des échantillons de roc ont été recueillis lors du forage à tous les trois mètres et ont été décrits visuellement afin de déterminer la stratigraphie à l'endroit des puits d'observation. Les échantillons recueillis sont des fragments de roc de quelques millimètres de diamètre. Ils permettent d'identifier le type de roc présent dans le milieu souterrain sans toutefois apporter une grande précision sur la profondeur à laquelle se situent les différents types de roc. Un rapport de forage décrivant la stratigraphie et des plans d'aménagement des puits d'observation sont disponible à l'annexe I. Une description de la stratigraphie rencontrée dans les forages est donnée à la section 3.1.

2.2 Aménagement du chantier pour l'installation de la pompe

La ville de Murdochville a débuté, le 16 septembre 2005, l'excavation de remblai déposé sur le capuchon de béton et les fondations à la surface du puits 1100. Les travaux ont été suspendu à la fin de cette journée et ont repris le 19 septembre 2005. La pelle mécanique de la ville de Murdochville n'étant pas disponible les jours suivants, les travaux d'excavation ont été terminés le 21 septembre 2005 par la compagnie Excavation F. Mercier Inc. Un câble électrique a également été installé dans le garage #90402 du parc industriel le 21 septembre par le personnel de la ville de Murdochville afin de pouvoir alimenter la pompe au puits 1100.

Des travaux supplémentaires ont été réalisés le 30 septembre 2005 afin de préparer le lieu de pompage. La ville de Murdochville a réalisé des excavations additionnelles afin de bien dégager la plateforme du puits 1100. La partie supérieure de la fondation de béton au nord-est du puits 1100 a été démolie avec un marteau piqueur opéré par la compagnie Entreprise PGM Marin Ltée. La présence de gaz explosif sous le capuchon de béton du puits 1100 a été évaluée par la compagnie Campor. Un indicateur 4 gaz a été descendu jusqu'à 9 mètres de profondeur dans l'ouverture du puits 1100 par un des tuyaux garantissant l'accès au puits. L'indicateur 4 gaz n'a décelé aucune présence de gaz explosifs.

2.3 Installation de la pompe submersible dans le puits 1100

Les travaux d'installation de la pompe ont été réalisés du 30 septembre au 4 octobre 2005 par les techniciens de la compagnie R.J. Lévesque & Fils Ltée, sous contractant de J.M. Massé & Fils Inc. Ils ont d'abord descendu une caméra par les tuyaux garantissant un accès au puits 1100 afin de visionner le dessous du capuchon de béton et déterminer à quel endroit le percer. L'ouverture du capuchon de béton a débuté le 30 septembre 2005. Les techniciens ont démolit une surface d'environ 1,2 par 1,0 mètres de béton à l'aide d'un marteau piqueur descendu dans l'excavation avec une grue. La démolition du béton s'est poursuivie le 1^{er} octobre 2005 et la plaque de métal sous le capuchon de béton a été coupée à l'aide d'un chalumeau. Le 2 octobre 2005, une poutre d'acier a ensuite été descendue dans le puits 1100. La poutre a été descendue par sections de 6 mètres de longueur. Les extrémités des sections de la poutre ont été soudées lors de la descente de cette dernière. L'installation de la poutre d'acier s'est terminée le 3 octobre 2005. L'extrémité inférieure de la poutre a été descendue jusqu'à une profondeur d'environ 50 mètres. L'extrémité supérieure de la poutre a été soudée en surface à une boîte de métal qui couvre l'ouverture réalisée dans le capuchon du puits 1100. La boîte de métal est ancrée et cimentée au capuchon de béton du puits 1100. Une pompe submersible, ayant une force de 75 chevaux vapeurs et une longueur de 3 mètres, a été descendue sur la poutre d'acier jusqu'à une profondeur d'environ 48,75 mètres le 4 octobre 2005. Un tube permettant la mesure du niveau d'eau a été descendu jusqu'à une profondeur de 47 mètres au même moment. Les installations de surface permettant les mesures de la température et du débit de l'eau pompée ont été assemblées le 4 octobre 2005. Un court essai de pompage a été réalisé lors de cette journée afin de vérifier l'ampérage de la pompe. Un plan d'aménagement de la pompe dans le puits 1100 est présenté à l'annexe I.

2.4 Essai de pompage

L'essai de pompage a débuté le 5 octobre 2005 à 8h18 et s'est terminé le 26 octobre 2005 à 8h18. Un technicien de la compagnie R.J. Lévesque & Fils Ltée. a effectué la surveillance du site de travail lors de la durée du pompage.

Diverses données ont été recueillies lors de l'essai afin d'évaluer le potentiel géothermique du puits 1100 des Mines Gaspé. Les puits d'observation, PO-115 et PO-216, ainsi que le puits de pompage, 1100, ont été instrumentés à l'aide d'enregistreur de données de type Levelogger LT fabriqué par Solinst. Ces appareils ont permis de mesurer le niveau et la température de l'eau dans les puits où ils ont été installés. Un enregistreur de données Nautilus 85 fabriqué par ACR Systems Inc. a également été installé en surface dans un tuyau où l'eau pompée circule à basse pression de façon continue. Cet appareil a permis de mesurer la température de l'eau pompée en surface durant l'essai. Des mesures quotidiennes du débit d'eau pompée, de la quantité de précipitation et du niveau de l'eau dans la fosse du Mont Copper ainsi que dans le puits d'observation PO-6 ont été réalisées manuellement. Les mesures de débit ont été effectuées à l'aide d'un compteur d'eau et la

quantité de précipitation a été enregistrée avec un pluviomètre. Le niveau d'eau dans la fosse du Mont Copper a été mesuré à l'aide d'un galon à mesurer fixé sur une planche dont l'élévation a été préalablement déterminée. Finalement, le niveau d'eau dans le puits d'observation PO-6 a été mesuré à l'aide d'une sonde à niveau.

L'eau pompée a été échantillonnée une fois par jour, conformément aux recommandations émises dans le Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales (cahier 3; échantillonnage des eaux souterraines) rédigé par le Ministère de l'environnement et de la faune (1994). Les échantillons ont été prélevés à la sortie d'une valve permettant le passage de l'eau à débit réduit. Chaque échantillon a été conservé dans un réfrigérateur à une température d'environ 4 °C avant d'être analysé. Le pH et la conductivité de chaque échantillon a été mesuré à l'aide d'un pH mètre de type pHep5 fabriqué par Hanna et d'une sonde TLC de Solinst. Quatre des vingt-et-un échantillons d'eau collectés ont été analysés par le laboratoire Bodycote essai de matériaux Canada Inc. afin de connaître leur composition chimique. Deux échantillons d'eau de surface ont également été prélevés dans le ruisseau Copper, durant et après l'essai de pompage, afin de connaître les concentrations en métaux présents dans l'eau du ruisseau. Les deux échantillons d'eau du ruisseau Copper ont été prélevés à la décharge d'un petit bassin à l'est du parc industriel de Murdochville et en aval de l'endroit où l'eau pompée est rejetée (figure 1).

Les données de niveau d'eau dans l'aquifère ont été utilisées pour évaluer la conductivité hydraulique du milieu souterrain avec le logiciel Aqtesolv alors que les données sur le débit et la température de l'eau pompée ont permis d'évaluer les ressources géothermiques au puits 1100. Finalement, les résultats d'analyses chimiques de l'eau pompée ont permis d'évaluer la qualité de l'eau souterraine. Toutes les données recueillies sont présentées à la troisième section de ce rapport. Les certificats d'analyses chimiques émis par le laboratoire Bodycote essai de matériaux Canada Inc. sont présentés à l'annexe II.

2.5 Démantèlement des installations

Les techniciens de R.J. Lévesque & Fils Ltée. ont retiré la pompe du puits 1100 le 29 octobre 2005. Les puits d'observation PO-115 et PO-216 ainsi que la boîte de métal qui couvre l'ouverture réalisée dans le puits 1100 ont été cadenassés à la fin des travaux. Des clés des puits d'observation et de la boîte de métal ont été remises à Monsieur Victor Chapados des Mines Gaspé et à Monsieur André Lemieux du Comité de relance de la ville de Murdochville. Deux tuyaux de métal de 6 mètres de longueur ont été soudés au tube de ventilations originales qui traversent le capuchon de béton du puits 1100. Ces tuyaux permettent d'exposer le puits 1100 à l'air libre et ils ont été réaménagés tel qu'ils étaient avant l'essai de pompage.

2.6 Remontée du niveau d'eau dans l'aquifère profond

La remontée du niveau d'eau dans l'aquifère profond causée par l'arrêt du pompage a été suivie dans le puits 1100 et dans les puits d'observation PO-115 et PO-216. Les enregistreurs de données installés dans ces puits sont restés en place jusqu'au 20 novembre 2005 afin de mesurer périodiquement le niveau d'eau. Les mesures enregistrées durant la remontée du niveau d'eau sont présentées à la section 3.2.7.

2.7 Essai de perméabilité

Des essais de perméabilité ont été réalisés le 20 novembre 2005 dans les puits d'observation PO-115 et PO-216 afin d'évaluer la conductivité hydraulique du roc près de ces puits. Une masse de volume connue a été rapidement introduite dans les puits PO-115 et PO-216 dans le but de créer un déséquilibre dans l'aquifère profond au niveau des puits. La variation du niveau d'eau dans les puits a été mesurée lors de l'injection de la masse à l'aide d'un enregistreur de données de type Levelogger LT. Les données acquises ont été interprétées avec le logiciel Aqtesolv afin de calculer la conductivité hydraulique du roc. Les résultats des essais de perméabilité sont présentés à la section 3.3.

3.0 Résultats obtenus

3.1 Stratigraphie et aquifères à l'endroit des puits PO-115 et PO-216

On retrouve à l'endroit des puits PO-115 et PO-216 une couche de remblai d'une épaisseur de 3,0 à 4,8 mètres. Le roc se situe sous cette couche de remblai. Il se compose d'une couche de mudstone calcaireux gris foncé d'une épaisseur de 21,4 à 37,8 mètres. Une couche de roc fortement altéré en silice blanche d'au moins 39,7 mètres d'épaisseur se retrouve sous les mudstones jusqu'à la base des puits d'observations. Le roc foré lors de l'aménagement des puits fait partie de la formation rocheuse d'Indian Cove, laquelle est comprise dans l'unité hydrostratigraphique U1 qui a été définie durant la première phase de l'étude (Raymond et Therrien, 2005a).

Un aquifère perché se trouve dans la couche de remblai à l'endroit des puits PO-115 et PO-216. L'élévation du niveau d'eau dans l'aquifère a été mesurée dans le puits d'observation PO-6 aménagé par le personnel des Mines Gaspé. Le niveau d'eau se situait à 571,84 mètres au-dessus du niveau de la mer (A.D.N.M.) avant l'essai de pompage. La base de l'aquifère perché est localisée au contact entre le roc et le remblai. Un aquifère profond se trouve dans le roc fracturé. L'élévation du niveau d'eau dans l'aquifère profond avant l'essai de pompage se situait respectivement à 550,80, 551,01 et 551,21 mètres A.D.N.M. à l'endroit des puits PO-115, PO-216 et 1100. Les galeries souterraines et le puits 1100 sont inondés d'eau provenant de l'aquifère profond. À l'échelle régionale, l'aquifère profond au site des Mines Gaspé correspond à une nappe d'eau souterraine libre à semi-captive.

3.2 Suivi lors de l'essai de pompage

3.2.1 Précipitations

La quantité de précipitations tombées dans les environs de Murdochville du 1^{er} octobre au 20 novembre 2005 varie de 0 à 20 millimètres par jour. Deux événements de fortes précipitations sont à noter. En effet, 36,7 millimètres de pluie est tombés du 16 au 18 octobre ainsi que l'équivalent de 25,0 millimètres de pluie est tombé en neige et en pluie du 26 au 27 octobre. La pluie a un impact rapide sur le niveau d'eau dans l'aquifère profond et cause une recharge lorsqu'elle tombe alors que l'impact d'une chute de neige est retardé au moment de la fonte.

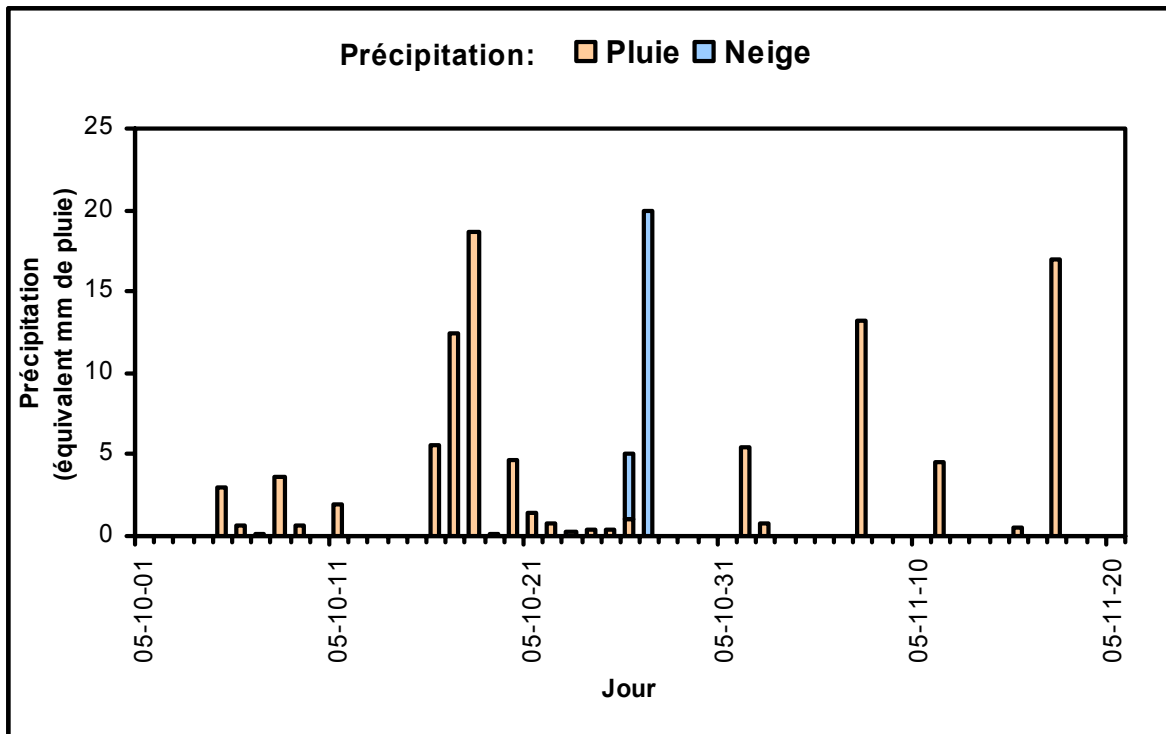


Figure 2. Quantité de précipitation tombée à Murdochville durant et après l'essai de pompage.

3.2.2 Débit d'eau pompée

Lors de l'essai, le débit d'eau pompée en surface a varié entre 996 et 968 GUSPM. Cette variation est causée par la baisse du niveau d'eau dans le puits 1100 lors du pompage. Le débit de pompage moyen durant l'essai est 984 GUSPM.

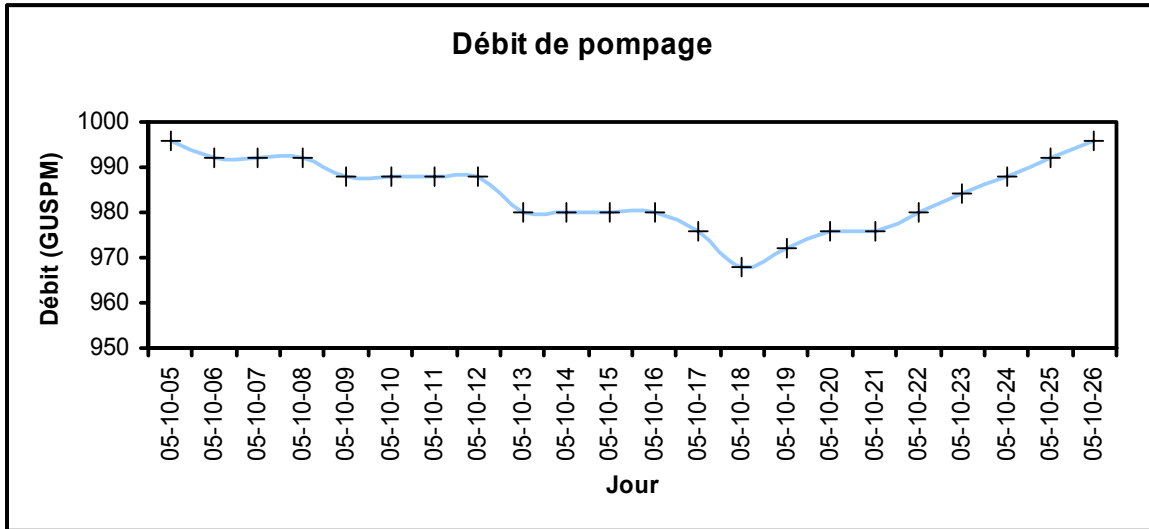


Figure 3. Débit d'eau pompée en surface lors de l'essai de pompage.

3.2.3 pH et conductivité électrique de l'eau pompée

L'eau souterraine échantillonnée quotidiennement à la sortie de la pompe a un pH et une conductivité électrique stable. Ces caractéristiques suggèrent que l'origine de l'eau pompée demeure semblable tout au long de l'essai. La conductivité électrique de l'eau échantillonnée est modérée, indiquant que l'eau pompée provient majoritairement de l'aquifère profond puisque l'eau de surface et de l'aquifère perché ont une conductivité électrique plus basse.

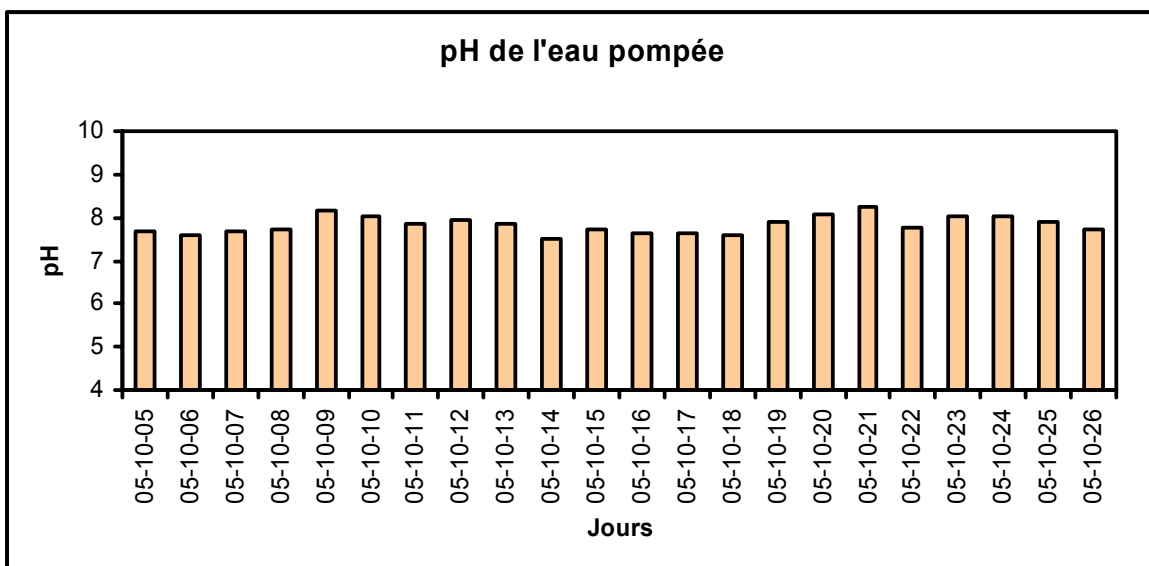


Figure 4. pH de l'eau souterraine quotidiennement échantillonnée lors de l'essai de pompage.

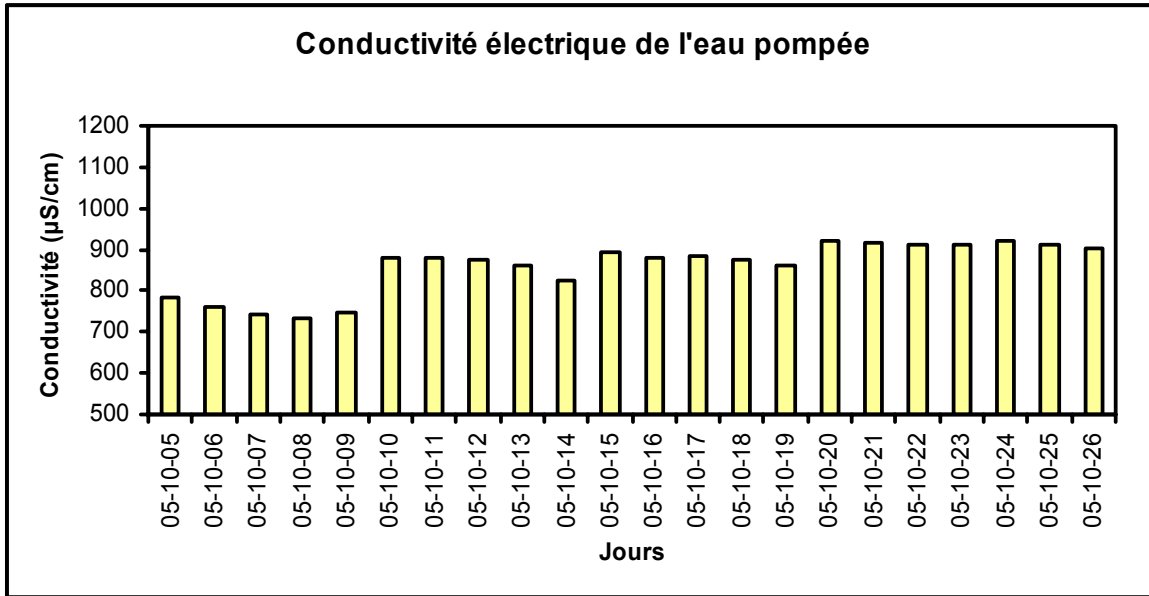


Figure 5. Conductivité électrique de l'eau souterraine quotidiennement échantillonnée lors de l'essai de pompage.

3.2.4 Niveau d'eau au puits d'observation PO-6

Le niveau d'eau dans le puits PO-6 demeure stable jusqu'au 17 octobre 2005 puis augmente après une période lors de fortes précipitations. La stabilité du niveau d'eau avant les précipitations suggère que le niveau d'eau dans l'aquifère perché n'a pas été influencé par l'essai de pompage réalisé dans le puits 1100.

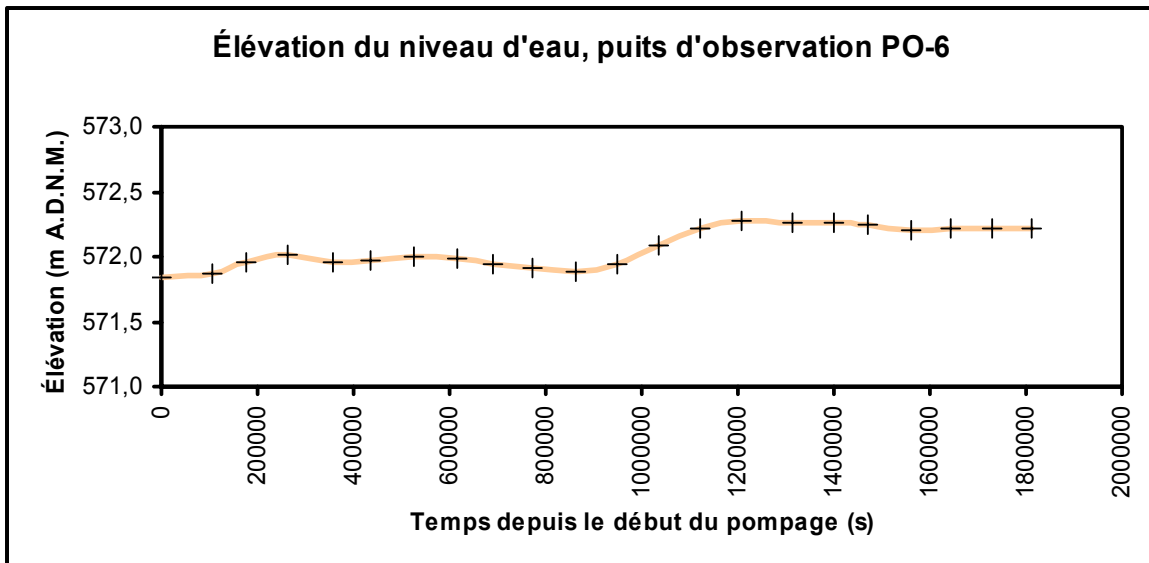


Figure 6. Élévation du niveau d'eau mesurée dans le puits PO-6 durant l'essai de pompage

3.2.5 Niveau d'eau dans la fosse du Mont Copper

Le niveau d'eau dans la fosse a augmenté à un rythme constant d'environ 3 centimètres par jour jusqu'au 17 octobre 2005. Lors de cette journée de fortes précipitations, le niveau d'eau a augmenté de 8 centimètres en une seule journée. Le niveau d'eau a augmenté par la suite d'environ 4 centimètres par jour jusqu'à la fin de l'essai de pompage. Le pompage au puits 1100 semble avoir peu d'influence sur le niveau d'eau de la fosse.

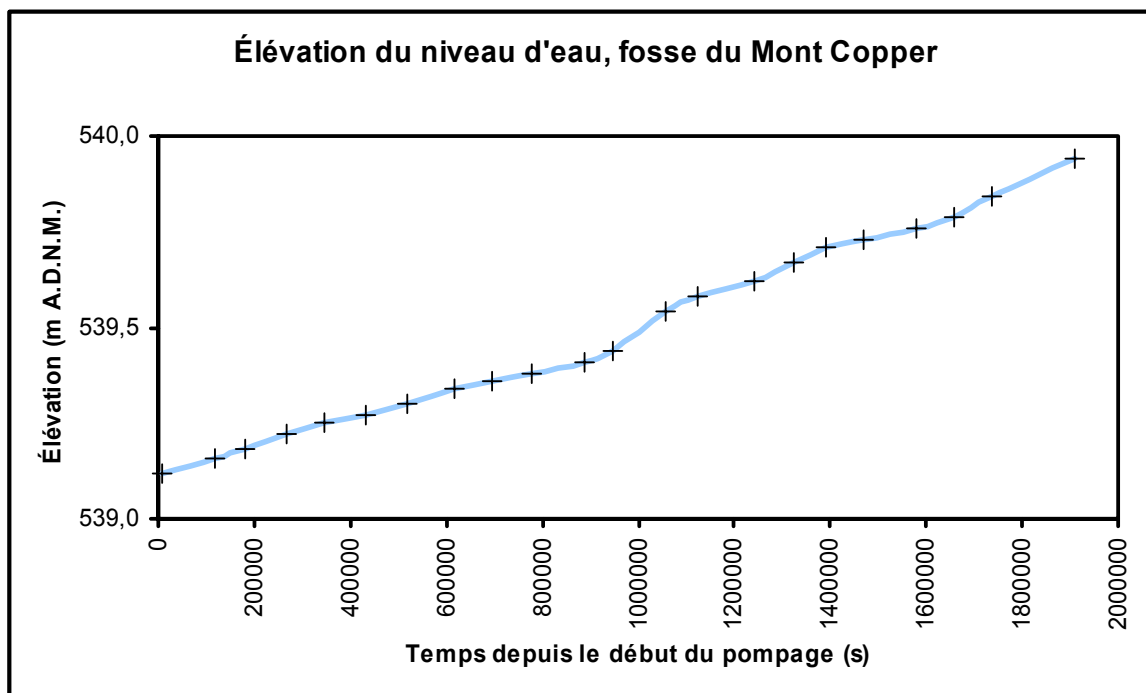


Figure 7. Élévation du niveau d'eau mesurée dans la fosse du Mont Copper lors de l'essai de pompage

3.2.6 Température de l'eau pompée

La température de l'eau pompée a été mesurée à 42 mètres de profondeur dans le puits de pompage à l'aide d'un enregistreur de données de type Levelogger dont la précision est de 0,1 °C. Un second enregistreur de données de type Nautilus 85 dont la précision est de 0,4 °C a été installé dans un tuyau à la surface du puits 1100 où l'eau pompée circule à basse pression. Cet appareil a enregistré la température moyenne de l'eau à toutes les deux minutes durant l'essai de pompage. Les deux enregistreurs de données indiquent une température très stable qui augmente légèrement vers la fin de l'essai de pompage, ce qui suggère que l'eau pompée ne provient pas de la surface. Les deux enregistreurs de données indiquent une température de pompage moyenne de 6,7 °C.

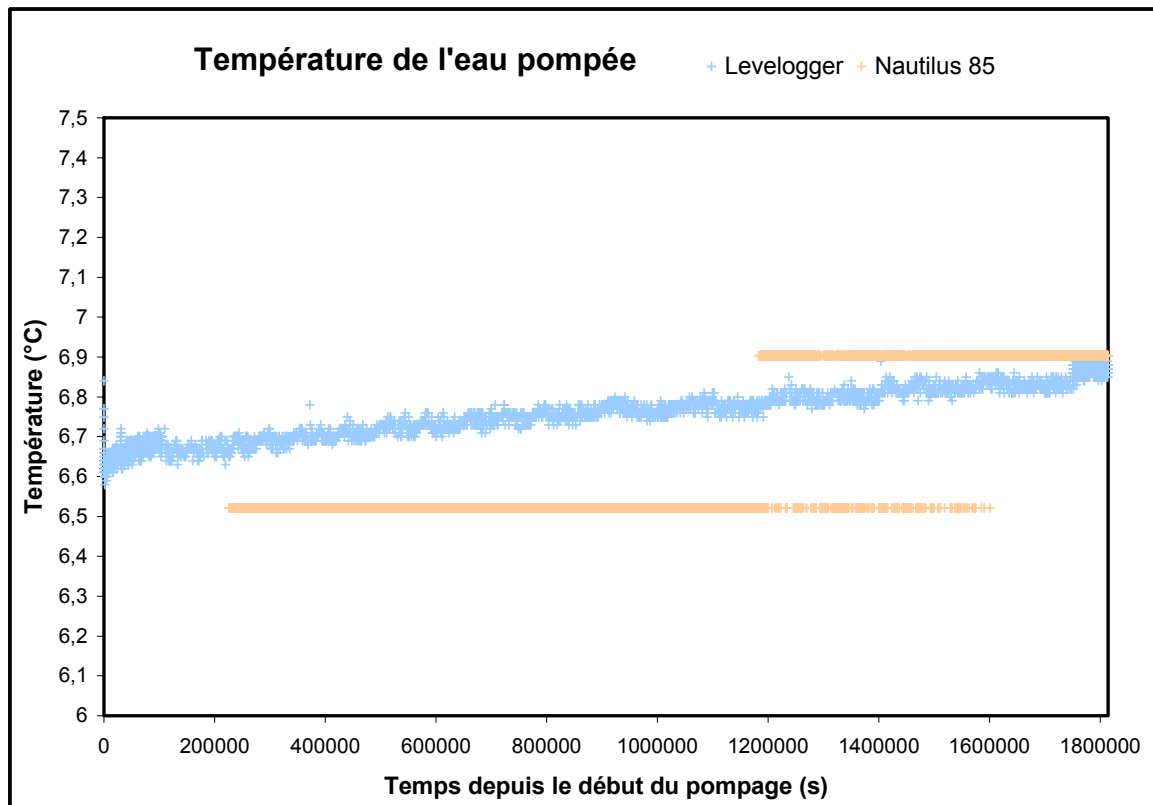


Figure 8. Température de l'eau pompée lors de l'essai de pompage. La température instantanée mesurée à tous les 10 minutes dans le puits 1100 à 42 mètres de profondeur avec un enregistreur de données de type Levellogger (précision 0,1 °C) est indiquée par les croix bleues. La température moyenne mesurée à tous les deux minutes dans une valve à basse pression installée à la surface du puits 1100 avec un enregistreur de données de type Nautilus 85 (précision 0,4 °C) est indiquée par des croix roses.

3.2.7 Niveau d'eau dans les puits 1100, PO-115 et PO-216

Les niveaux d'eau enregistrés dans les puits 1100, PO-115 et PO-216 durant et après l'essai de pompage sont présentés au graphique de la figure 9. Les niveaux d'eau sont exprimés en mètres de rabattement, soit la différence entre le niveau d'eau avant le pompage et le niveau d'eau au moment de la prise de mesure.

Les rabattements enregistrés lors de la première journée de pompage sont faibles (moins de 1 mètre) puisque l'eau pompée provient de l'eau emmagasinée dans le puits 1100. Par la suite, le rabattement augmente de façon constante pour atteindre une valeur maximale de 3,63 mètres dans le puits 1100 lors du 12^{ème} jour de pompage. Les fortes précipitations mesurées lors des 11^{ème}, 12^{ème} et 13^{ème} jours de pompage provoquent ensuite une recharge de l'aquifère profond et le rabattement diminue bien que le pompage se poursuit toujours. La pompe est arrêtée le 21^{ème} jour ce qui se traduit par une remontée du niveau d'eau lors des jours suivants. Une période de 7,7 jours s'écoule avant que le niveau d'eau dans le puits 1100 retourne à son élévation initiale avant le pompage. Cette remontée rapide suggère que la capacité de recharge de l'aquifère est élevée.

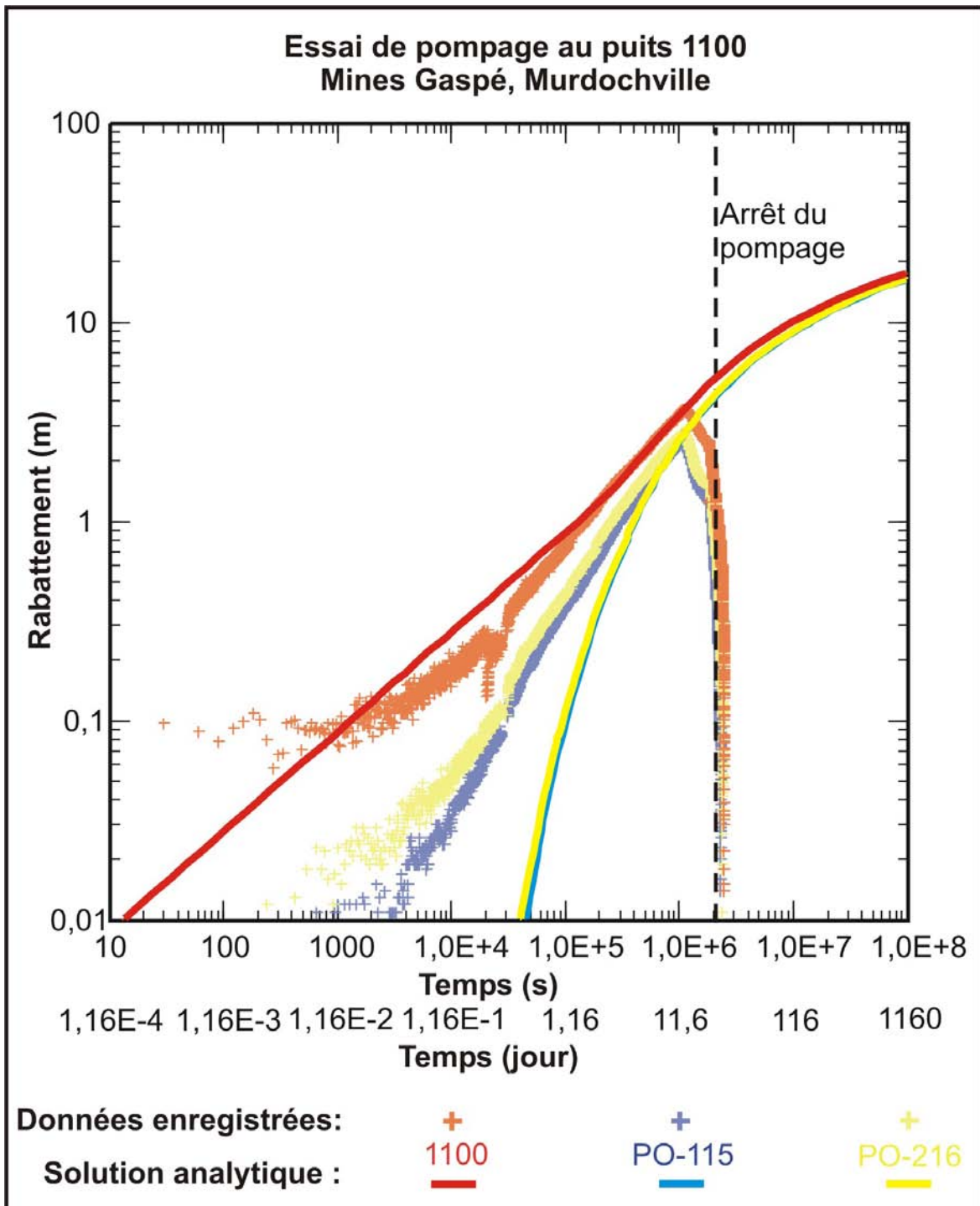


Figure 9. Rabattements mesurés durant et après l'essai de pompage au puits 1100 et rabattements calculés avec la solution de Gringarten et Ramey. Les paramètres suivants sont utilisés lors du calcul avec la solution analytique : conductivité hydraulique $2,26E-6$ m/s, emmagasinement spécifique $1,12E-1$ m⁻¹, longueur du puits de pompage 342 m, profondeur de la fracture horizontale 342 m, et rayon de la fracture horizontale 900 m.

Les niveaux d'eau enregistrés dans les puits 1100, PO-115 et PO-216 lors de l'essai de pompage permettent d'évaluer la conductivité hydraulique et l'emmagasinement global de l'aquifère. Ces deux propriétés hydrauliques, qui influencent la capacité de pompage au puits 1100, sont estimées avec la solution analytique de Gringarten et Ramey (1974). Cette solution permet de calculer le rabattement dans un aquifère captif dont le puits de pompage intercepte une fracture horizontale. Les galeries souterraines interceptées par le puits 1100 se comportent comme une grande faille puisque les propriétés hydrauliques d'une galerie souterraine sont semblables à celle d'une fracture. La solution de Gringarten et Ramey peut alors être utilisée pour évaluer le rabattement dans le puits 1100 lorsqu'il n'y a pas de recharge de l'aquifère. Les calculs effectués avec cette solution suggèrent que la conductivité hydraulique et l'emmagasinement global de l'aquifère profond sont respectivement $2,26 \times 10^{-6}$ mètres par secondes (m/s) et $1,12 \times 10^{-5}$ par mètres (m^{-1}). Ces paramètres sont utilisés à la section 4.1 pour évaluer la capacité de pompage du puits 1100.

3.3 Essai de perméabilité dans les puits PO-115 et PO-216

Les variations du niveau d'eau enregistrées dans les puits d'observation lors des essais de perméabilité sont présentées aux graphiques de la figure 10. Les données recueillies ont été utilisées pour estimer la conductivité hydraulique et l'emmagasinement spécifique locale à l'endroit des puits testés. Ces propriétés sont évaluées avec la solution analytique de Hyder et al. (1994) qui permet de calculer les variations de niveau d'eau lors d'un essai de perméabilité dans un aquifère libre.

L'analyse du test effectué au puits PO-115 suggère que la conductivité hydraulique et l'emmagasinement spécifique à l'endroit de ce puits sont respectivement $7,75 \times 10^{-5}$ m/s et $1,08 \times 10^{-5} m^{-1}$. Des résultats similaires sont également obtenus par l'analyse du test effectué au puits PO-216, soit une conductivité hydraulique de $1,27 \times 10^{-4}$ m/s et un emmagasinement spécifique de $1,54 \times 10^{-6} m^{-1}$. Les valeurs de conductivité hydraulique obtenues lors des essais de perméabilité sont plus élevées que celles obtenues lors de l'essai de pompage. Cette différence peut être causée par un degré de fracturation plus important près de la surface.

3.4 Composition chimique de l'eau échantillonnée

Les analyses d'échantillons d'eau de surface provenant du ruisseau Copper et d'eau souterraine pompée au puits 1100 sont présentées aux tableaux 1 et 2. Les résultats d'analyses sont interprétés en fonction des critères environnementaux et géothermiques.

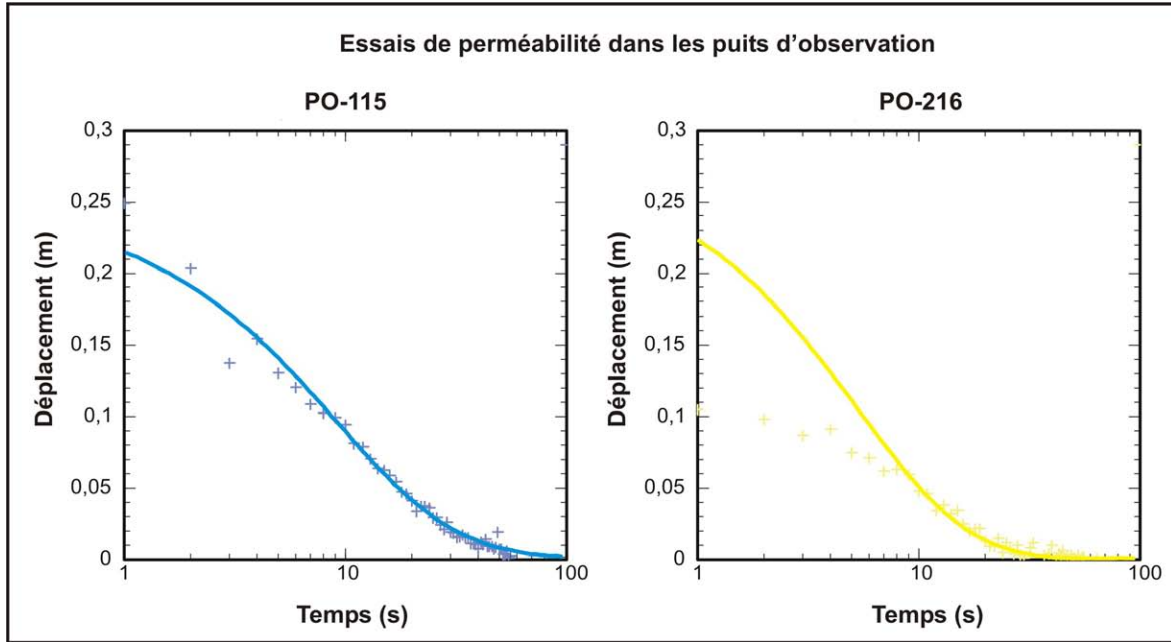


Figure 10. Variations du niveau d'eau enregistrées lors d'essais de perméabilité dans les puits d'observation PO-115 et PO-216 et variations du niveau d'eau calculées avec la solution de Hyder et al. (1994). Les paramètres suivants sont utilisés lors du calcul avec la solution analytique : conductivité hydraulique pour PO-115 $7,75E-5$ m/s, emmagasinage spécifique pour PO-115 $1,08E-5$ m⁻¹, conductivité hydraulique pour PO-216 $1,127E-4$ m/s, et emmagasinage spécifique pour PO-216 $1,54E-6$ m⁻¹.

Les paramètres analysés sur les échantillons d'eau souterraine pompée au puits 1100 respectent le critère de résurgence dans les eaux de surface émis par le MDDEP à l'exception du cuivre. Les analyses effectuées sur deux échantillons d'eau de surface provenant du ruisseau Copper indiquent également des concentrations en cuivre élevées.

Lors de l'exploitation d'un système géothermique, l'eau pompée au puits 1100 devra être réinjectée sous terre afin de préserver les ressources en eau au site des Mines Gaspé. De plus, la réinjection de l'eau empêchera de mélanger l'eau de surface avec l'eau souterraine afin de réduire au minimum l'impact sur l'environnement.

L'eau souterraine pompée au puits 1100 a une dureté très élevée (concentration en Ca²⁺ exprimé en ppm de CaCO₃). Une eau dure peut causer le colmatage des puits et échangeurs de chaleur par la formation d'incrustation de CaCO₃. Le calcul d'index de saturation en CaCO₃ (Rafferty, 2000), présenté au tableau 3, indique que l'eau pompée est près du point de saturation. En effet, l'index de saturation de Langelier (1936) suggère que l'eau pompée est légèrement sursaturée alors que l'index de saturation de Ryznar (1944) suggère qu'elle est légèrement sous-saturée. Par conséquent, il se peut qu'il y ait formation d'incrustation à long terme dans les tuyaux et échangeurs de chaleur d'un système géothermique qui exploiterait l'eau du puits 1100. De plus, la présence d'incrustation a été observée dans les puits d'eau potable de la ville de Murdochville (Technisol, 2003). Il importe de noter qu'une eau saturée en CaCO₃ peut quand même être utilisée pour des fins géothermiques. Un système de thermopompe géothermique qui exploite une eau dure doit cependant être conçu de manière spécifique afin de tolérer la formation d'incrustation.

La précipitation d'incrustation pourrait être plus forte si le système géothermique était utilisé pour climatiser. En effet, l'eau exploitée par le système absorbe la chaleur et sa température augmente lors des cycles de climatisation ce qui entraîne une baisse du point de saturation en CaCO_3 . Il est, par conséquent, préférable d'utiliser l'eau pompée au puits 1100 pour des fins de chauffage seulement. Par mesure de prévention, les échangeurs de chaleur des thermopompes géothermiques à Murdochville devront être inspectés périodiquement. Il est également préférable d'installer des échangeurs de chaleur facilement démontables afin de pouvoir les nettoyer dans le cas où il y a formation d'incrustation ou de corrosion

Tableau 1. Analyses de l'eau de surface au ruisseau Copper

Paramètres d'analyses (résultats et critères en $\mu\text{g/L}$ sauf lorsque indiqué)	Échantillon RCO-12102005 Date 12/10/2005 Lieu ruisseau Copper	Échantillon RCO-20112005 Date 20/11/2005 Lieu ruisseau Copper	Critère pour résurgence dans les eaux de surface ¹ (maximum permis)
Ions mineurs			
Ag	<2	<2	13*
Al	<100	20	750
Ba	60	30	2305*
Cd	<5	<0,5	15*
Co	<20	5	500
Cr	<10	<1	16
Cu	90	98	39*
Fe	<70	<20	
Mn	40	20	
Mo	140	170	2 000
Ni	<20	62	1178*
Pb	<50	<1	326*
Zn	90	250	301*
Autres paramètres			
Dureté totale	330 000	300 000	
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	591	836	
pH	8,4	8,1	

* Critère calculé selon la dureté totale du ruisseau avant l'essai de pompage : 297 mg/l.

La conductivité et le pH sont mesurés sur le terrain

1- Ministère du développement durable, de l'environnement et de la faune, 2005. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Référence électronique: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique>

Tableau 2. Analyses de l'eau souterraine pompée au puits 1100

Paramètres d'analyses (résultats et critères en µg/L sauf lorsque indiqué)	Échantillon P1100-06102005 Date 06/10/2005 Lieu Puits 1100	Échantillon P1100-12102005 Date 12/10/2005 Lieu Puits 1100	Critère pour fin de consommation ¹ (maximum permis)	Critère pour résurgence dans les eaux de surface ² (maximum permis)	Critère pour thermopompe géothermique ³ (maximum suggéré)
Ions majeurs					
Ca	190 000	170 000			
K	4 500	1 700			
Mg	6 200	120			
Na	19 000	20 000	200 000		
Cl	31 000	33 000	250 000	860 000	600 000
CO ₂	5 000	4 000			70 000
H ₂ S	<20	<20	50	200	
SO ₄	N.A.	N.A.			
Ions mineurs					
Ag	<2	<2	100	13*	
Al	10	<10		750	
As	<1	<1	25	340	
Ba	40	30	1 000	2305*	
Cd	0,8	0,8	5	15*	
Co	10	11		500	
Cr	<1	<1	50	16	
Cu	81	94	1 000	39*	
Fe	<20	50			
Hg	<0,1	<0,1	1	0	
Mn	96	120	50		
Mo	190	320	70	2 000	
Ni	13	15	20	1178*	
Pb	<1	<1	10	326*	
Sb	4	3	6	88	
Se	1	<1	10	20	
Zn	190	190	5 000	301*	
Autres paramètres					
B.T.E.X.	N.D.	N.D.	Variable	Variable	
H.A.P.	N.D. sauf Naphtalène : 30	N.D.	Variable	Variable	
H.P. C ₁₀ -C ₅₀	<100	<100	6	3 500	
B.F. (NPP/100ml)	240	9			
Alcalinité totale	81 000	87 000			
Dureté totale	500 000	420 000			350 000
O.D.	N.A.	5 400			
S.D.T.	680 000	710 000			1 500 000
Turbidité (UTN)	1,0	1,2	5		
Cond. (µS/cm)	760	873			
pH	7,6	8,0	<6,5 ou >8,5		<5 ou >10

B.F. bactéries du fer, B.T.E.X. benzène toluène éthylbenzène xylène, Cond. Conductivité, H.A.P. hydrocarbures aromatiques polycycliques, H.P. hydrocarbures pétroliers, N.A. non analysé, N.D. non détecté, O.D. Oxygène dissout, S.D.T. solides dissous totaux
La conductivité et le pH sont mesurés sur le terrain

* Critère calculé selon la dureté totale de l'eau au point d'impact : 297 mg/l.

1-, 2- Ministère du développement durable, de l'environnement et de la faune, 2005. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Référence électronique: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique>

3- Critère de Command-Aire Corporation cité dans : Langley, B.C., 2002. Heat Pump Technology. Prentice Hall, Columbus 536 pp.

Tableau 2 (suite). Analyses de l'eau souterraine pompée au puits 1100

Paramètres d'analyses (résultats et critères en µg/L sauf lorsque indiqué)	Échantillon P1100-19102005 Date 06/19/2005 Lieu Puits 1100	Échantillon P1100-26102005 Date 26/10/2005 Lieu Puits 1100	Critère pour fin de consommation ¹ (maximum permis)	Critère pour résurgence dans les eaux de surface ² (maximum permis)	Critère pour thermopompe géothermique ³ (maximum suggéré)
Ions majeurs					
Ca	150 000	180 000			
K	1 600	2 000			
Mg	5 800	5 900			
Na	25 000	23 000	200 000		
Cl	39 000	43 000	250 000	860 000	600 000
CO ₂	6 000	6 000			70 000
H ₂ S	<20	<40	50	200	
SO ₄	320 000	350 000			
Ions mineurs					
Ag	<2	<2	100	13*	
Al	<10	40		750	
As	<1	<1	25	340	
Ba	20	20	1 000	2305*	
Cd	0,7	0,6	5	15*	
Co	10	12		500	
Cr	<1	<1	50	16	
Cu	72	70	1 000	39*	
Fe	40	80			
Hg	<0,1	<0,1	1	0	
Mn	70	80	50		
Mo	330	380	70	2 000	
Ni	13	14	20	1178*	
Pb	<1	<1	10	326*	
Sb	3	3	6	88	
Se	1	1	10	20	
Zn	160	160	5 000	301*	
Autres paramètres					
B.T.E.X.	N.A.	N.A.	Variable	Variable	
H.A.P.	N.A.	N.A.	Variable	Variable	
H.P. C ₁₀ -C ₅₀	<100	N.A.	6	3 500	
B.F. (NPP/100ml)	>2400	170			
Alcalinité totale	98 000	98 000			
Dureté totale	400 000	460 000			350 000
O.D.	2 600	2 300			
S.D.T.	680 000	710 000			1 500 000
Turbidité (UTN)	0,6	0,6	5		
Cond. (µS/cm)	861	901			
pH	7,9	7,7	<6,5 ou >8,5		<5 ou >10

B.F. bactéries du fer, B.T.E.X. benzène toluène éthylbenzène xylène, Cond. Conductivité, H.A.P. hydrocarbures aromatiques polycycliques, H.P. hydrocarbures pétroliers, N.A. non analysé, N.D. non détecté, O.D. Oxygène dissout, S.D.T. solides dissous totaux
La conductivité et le pH sont mesurés sur le terrain

* Critère calculé selon la dureté totale de l'eau au point d'impact : 297 mg/l.

1-, 2- Ministère du développement durable, de l'environnement et de la faune, 2005. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Référence électronique: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique>

3- Critère de Command-Aire Corporation cité dans : Langley, B.C., 2002. Heat Pump Technology. Prentice Hall, Columbus 536 pp.

Tableau 3. Index de saturation en CaCO₃

Index de saturation Langelier¹	ISL = pH-pHs
Index de saturation Ryznar²	ISR= 2pHs-pH
Calcul de pH_s³	
pHs = (9,3+A+B) - (C+D)	A= (log ₁₀ [STD] - 1) / 10
B = -13,12 * log ₁₀ (T°C+273) + 34,55	C = log ₁₀ [Dureté] - 0,4
D= log ₁₀ [alkalinité]	Concentration en [mg/l]

Interprétation des index de saturation

ISL	Incrustation	Corrosion	ISR	Incrustation	Corrosion
> 0	X		< 6	X	
< 0		X	> 7		X

Résultats d'analyse

No. Échantillon		P1100-06102005	P1100-12102005	P1100-19102005	P1100-26102005
Alcalinité totale (mg/l en CaCO ₃)		81	87	98	98
Dureté totale (mg/l en CaCO ₃)		500	420	400	460
Solides dissous totaux (mg/l)		680	710	680	710
pH		7,6	8,0	7,9	7,7
T ₁ °C		6,7	6,7	6,7	6,7
T ₂ °C		12,0	12,0	12,0	12,0
T ₃ °C		3,0	3,0	3,0	3,0

Calculs des paramètres

A		0,18	0,19	0,18	0,19
B @ T ₁		2,45	2,45	2,45	2,45
B @ T ₂		2,34	2,34	2,34	2,34
B @ T ₃		2,53	2,53	2,53	2,53
C		2,30	2,22	2,20	2,26
D		1,91	1,94	1,99	1,99
pHs @ T ₁		7,73	7,77	7,74	7,68
pHs @ T ₂		7,62	7,66	7,63	7,57
pHs @ T ₃		7,80	7,85	7,82	7,76

Index de saturation calculés

ISL @ T ₁		-0,13	0,23	0,16	0,02
ISL @ T ₂		-0,02	0,34	0,27	0,13
ISL @ T ₃		-0,20	0,15	0,08	-0,06
ISR @ T ₁		7,85	7,54	7,58	7,66
ISR @ T ₂		7,64	7,33	7,36	7,45
ISR @ T ₃		8,00	7,70	7,73	7,81

1- Langelier, W.R., 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment. Journal of American Water Work Association, 28(10) : 1500-1521.

2- Ryznar, J.W., 1944. A new Index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water. Journal of American Water Work Association, 36 : 472-483.

3- Rafferty, K., 2000. Scaling in geothermal heat pump systems. Geo-Heat Center Bulletin: 11-15.

4.0 Estimation des réserves d'énergie géothermique

4.1 Capacité de pompage au puits 1100

Les faibles rabattements mesurés lors de l'essai de pompage suggèrent que l'eau du puits 1100 pourrait être pompée à un débit plus élevé. L'estimation du rabattement sur une plus longue période de pompage doit être effectuée afin d'évaluer la capacité de pompage au puits 1100. Dans le but d'évaluer cette capacité, supposons qu'un système géothermique est exploité à Murdochville pendant une période de 8 mois pour des fins de chauffage seulement. Le pompage de l'eau souterraine au puits 1100 est exécuté durant cette période de temps froids et est ensuite suspendu durant une période de 4 mois. Supposons également que la recharge de l'aquifère s'effectue seulement lors de la période d'arrêt de pompage et que la recharge est suffisante pour annuler le rabattement causé par le pompage. Il est alors possible d'utiliser la solution analytique de Gringarten et Ramey (1974) pour évaluer le rabattement après 8 mois de pompage et estimer la capacité de pompage au puits 1100.

Lorsque le débit est d'environ 984 GUSPM, l'analyse effectuée (figure 9) suggère que le rabattement observé dans le puits 1100 après une période de 8 mois sera de l'ordre de 15 mètres. Le rabattement maximal possible dans le puits 1100 est d'environ 30 mètres puisque au-delà de cette valeur il devient techniquement difficile d'installer une pompe à la profondeur requise pour effectuer le pompage. Le calcul présenté à la figure 11 suggère que le rabattement maximal possible est atteint pour la période désirée lorsque l'eau est pompée à un débit d'environ 2500 GUSPM. Cette capacité est valable seulement lorsque l'eau souterraine est pompée sur une période de 8 mois par année.

4.2 Réserves d'énergie géothermique disponibles au puits 1100

Les réserves géothermiques sont la quantité de chaleur présente dans le milieu souterrain qui peut être économiquement extraite au moment présent. Elles sont estimées dans le cas où l'eau souterraine pompée au puits 1100 est utilisée pour des fins de chauffage seulement. Le calcul de l'énergie qui peut être extraite est effectué en multipliant le débit d'eau pompée par la différence de température entre l'eau souterraine pompée et l'eau à la sortie des échangeurs de chaleur ainsi que par la masse volumique et la capacité thermique spécifique de l'eau. De façon générale, la quantité d'énergie qui peut être extraite augmente en fonction du débit et de la température de l'eau pompée.

Les données de température et de débit recueillies durant l'essai indiquent qu'en moyenne 969 kilojoules par secondes d'énergie thermique auraient pu être extraits lors de l'essai de pompage. Par conséquent, le potentiel géothermique prouvé du puits 1100 est d'environ 0,97 mégawatts. Le calcul de l'énergie qui peut être extraite est présenté au tableau 4 et est effectué en supposant que la température de l'eau à la sortie des échangeurs de chaleur sera

3 °C. Cette température correspond à la température de stabilisation de l'eau souterraine dans la partie supérieure de l'aquifère (Raymond et Therrien, 2005a).

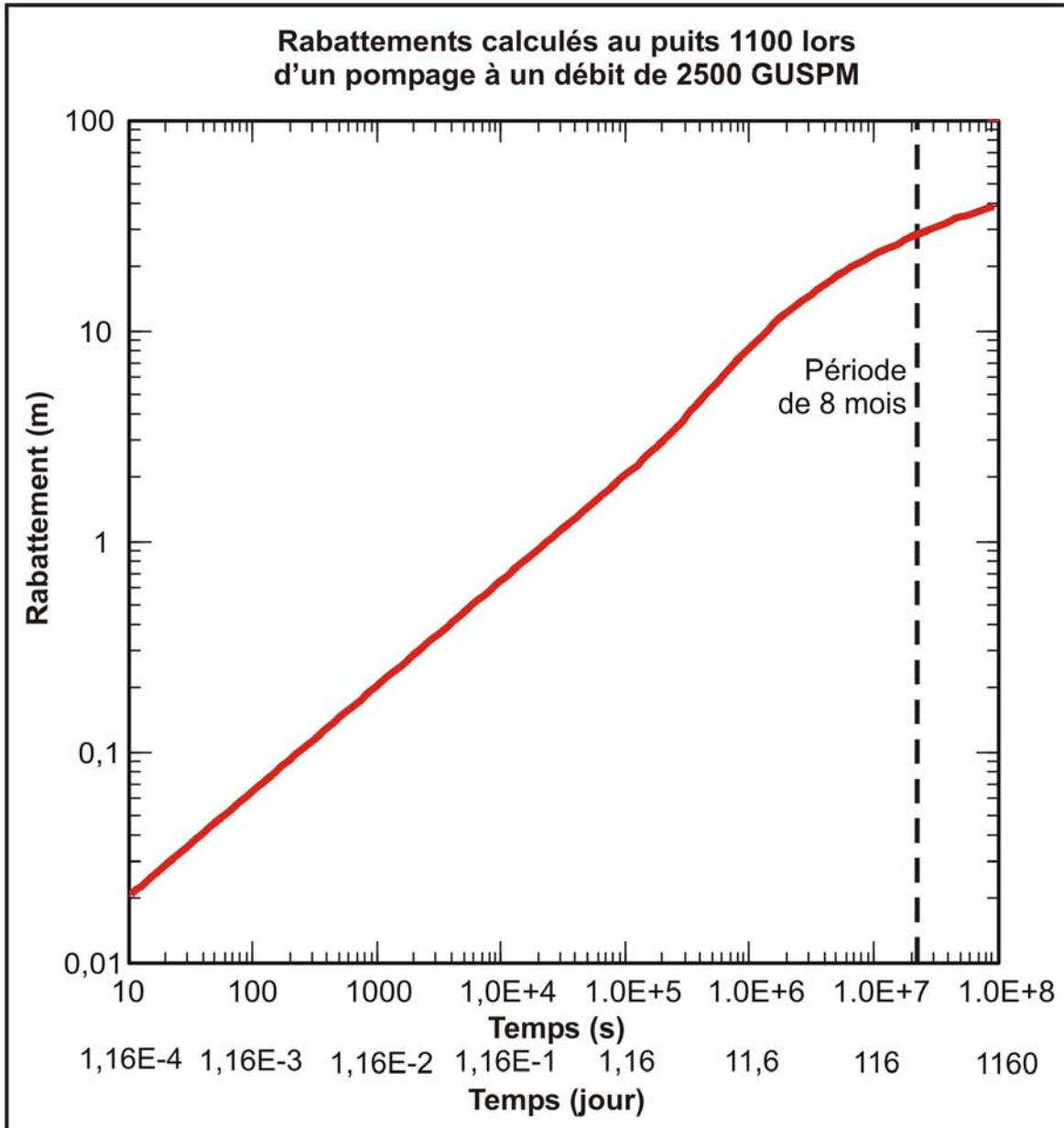


Figure 11. Rabattements calculés dans le puits 1100 avec la solution de Gringarten et Ramey (1974) lors d'un pompage à un débit de 2500 GUSPM. Les paramètres suivants sont utilisés lors du calcul avec la solution analytique : conductivité hydraulique $2,26E-6$ m/s, emmagasinement spécifique $1,12E-1$ m^{-1} , longueur du puits de pompage 342 m, profondeur de la fracture horizontale 342 m, et rayon de la fracture horizontale 900 m.

Il peut être possible d'extraire une plus grande quantité d'énergie du milieu souterrain puisque l'analyse des données de rabattement durant l'essai de pompage suggère que le débit maximum d'eau pouvant être pompée au puits 1100 est d'environ 2 500 GUSPM. En effet, près de 2 470 kilojoules d'énergie thermique pourrait être extraits chaque seconde si

l'eau était pompée à ce débit. Par conséquent, le potentiel géothermique possible du puits 1100 est d'environ 2,47 mégawatts. Ce calcul est effectué en supposant que la température moyenne de l'eau pompée serait la même que celle obtenue lors de l'essai de pompage, soit 6,7 °C. Les réserves d'énergie géothermiques disponibles en pompant de l'eau souterraine au puits 1100 sont de 0,97 à 2,47 mégawatts. Il est rare qu'autant d'énergie géothermique puisse être extraite d'un seul puits.

Il importe de préciser que l'estimation des réserves géothermiques disponibles au puits 1100 est effectuée à partir des données de pompage, qui nous indiquent le comportement de l'aquifère pour une période d'environ un mois. Le rendement de l'aquifère profond qui inonde les Mines Gaspé lors de plusieurs années d'exploitation d'un système géothermique demeure inconnu. L'eau exploitée par le système devra être réinjectée dans le milieu souterrain et pourrait refroidir l'aquifère profond si la quantité d'énergie extraite dépasse la quantité d'énergie émise par le flux de chaleur naturel. Des travaux additionnels permettront d'évaluer le rendement de l'aquifère profond en simulant l'exploitation d'un système géothermique à l'aide d'un modèle numérique. Ces travaux de modélisations seront entrepris à l'université Laval dans le cadre du projet de maîtrise de Monsieur Jasmin Raymond. Les résultats permettront entre autre d'estimer l'évolution de la température de l'aquifère durant la durée de vie d'un système de chauffage géothermique, soit 20 ans ou plus.

Tableau 4. Quantité d'énergie qui peut être extraite au puits 1100 et économies d'énergie possibles

Débit d'eau pompée (GUSPM)	Débit d'eau pompée (m ³ /s)	Énergie pouvant être extraite (J/s)	Énergie de fonctionnement (J/s)	Énergie totale disponible (J/s)	Coût énergétique annuel (\$)	Économies annuelles d'énergie (\$)
100	0,006	93 795	46 898	140 693	17 851	35 702
250	0,016	250 120	125 060	375 180	47 603	95 206
500	0,032	500 240	250 120	750 360	95 206	190 411
984	0,062	969 215	484 608	1 453 823	184 461	368 922
2500	0,158	2 469 935	1 234 968	3 704 903	470 078	940 156
Coefficient de performance de la thermopompe						3
Température de l'eau à la sortie de l'échangeur de chaleur (°C)						3,0
Température de l'eau pompée (°C)						6,7
Densité de l'eau à 10° C (g/m ³)						1 000 000
Capacité thermique spécifique de l'eau à 10°C (J/gK)						4,225
Prix de l'électricité (\$/kWh)						0,065

4.4 Économies d'énergie possibles

Un système de thermopompe géothermique, dont le coefficient de performance est de 3, peut produire trois unités d'énergie thermique avec une unité d'énergie électrique nécessaire au fonctionnement. Certains systèmes géothermiques ont même un coefficient de performance plus élevé. Cette caractéristique des thermopompes permet à l'exploitant d'un système géothermique de réaliser d'importantes économies d'énergie. L'utilisation de

l'énergie géothermique aux Mines Gaspé pour des fins de chauffage pourrait permettre d'économiser de 36 000 à 940 000 \$ d'énergie électrique par année. Ce calcul des économies d'énergie possibles est présenté au tableau 4. Il est effectué en supposant que le système de chauffage géothermique est opéré à capacité maximale durant 8 mois par année et que le prix de l'électricité est de 6,5 cents par kilowattheure.

Les économies d'énergies varient en fonction du débit d'eau exploité par le système géothermique. Plus la demande énergétique nécessaire pour chauffer un bâtiment augmente, plus le débit d'eau qui circule dans les échangeurs de chaleur doit également augmenter. L'énergie consommée pour pomper l'eau souterraine ne représente qu'une petite portion des économies d'énergie engendrées par l'utilisation de la thermopompe. À titre d'exemple, une pompe submersible semblable à celle utilisée durant l'essai de pompage, fonctionnant sur un courant de 550 volts et une intensité de 75 ampères, ne consommerait que 990 kilowattheures par jours. Le coût de cette consommation énergétique est de 64,35 \$ par jour. Ce montant ne représente que 4% des économies d'énergie qu'il est possible de réaliser chaque jour, soit 1 512,97 \$, avec un système de thermopompe géothermique qui exploite l'eau souterraine à un débit de 984 GUSPM.

5.0 Conclusion

Le réservoir géothermique formé par les galeries souterraines des Mines Gaspé offre des avantages concurrentiels afin de favoriser le développement géothermique à Murdochville. L'essai de pompage réalisé confirme certaines hypothèses émises lors de la première étape de l'étude. En effet, le réservoir géothermique des Mines Gaspé se distingue par les caractéristiques suivantes :

- la quantité d'eau contenue dans le réservoir des Mine Gaspé (près de 4 millions de mètres cubes) est beaucoup plus grande que la quantité d'eau contenue dans un aquifère conventionnel de même volume;
- l'eau qui inonde les galeries souterraines peut être pompée en surface à un débit élevé afin de produire une quantité d'énergie importante;
- le captage de l'eau souterraine peut être effectué dans des ouvrages existants qui donnent accès aux galeries, réduisant les coûts de forage associés à l'installation du système géothermique;
- contrairement à plusieurs mines désaffectées, le pH de l'eau pompée dans l'ancien puits de ventilation 1100 est faiblement basique et la qualité de l'eau est satisfaisante.

Lors de l'essai réalisé, l'eau souterraine a été pompée à un débit moyen de 984 GUSPM durant une période de 3 semaines. La température moyenne de l'eau pompée était de

6,7 °C, ce qui permettrait d'extraire 969 kilojoules d'énergie thermique par seconde en captant l'eau souterraine d'un seul puits. L'analyse des données de rabattement indique que le puits 1100 pourrait fournir jusqu'à 2500 GUSPM d'eau si le pompage était exécuté 8 mois par année. Le potentiel géothermique prouvé du puits 1100 est de 0,97 mégawatts alors que son potentiel géothermique possible est de 2,47 mégawatts. Les futurs travaux de modélisation numérique que nous réaliserons permettront d'évaluer si le réservoir des Mines Gaspé peut soutenir une telle extraction d'énergie pendant plusieurs années.

D'autres études de nature hydrogéologique devront être réalisées avant de développer l'énergie géothermique à Murdochville. Des tests d'injections d'eau devront être réalisés afin de déterminer les endroits où l'eau souterraine peut être re-injectée sous terre. Ces travaux sont nécessaires puisque le Règlement sur le captage des eaux souterraines du MDDEP (2005b) exige que l'eau souterraine captée pour des fins de chauffage soit retournée dans l'aquifère d'origine. Une demande d'autorisation devra également être soumise au ministre dans le cas où un ouvrage de captage d'eau permanent ayant une capacité supérieure à 13,7 GUSPM est installé au Mines Gaspé. Finalement, les travaux de développement de l'énergie géothermique devront être exécutés en collaboration avec le personnel des Mines Gaspé afin de s'assurer que les activités réalisées sont conformes à leur plan de restauration.

Jasmin Raymond,
B.Sc.

René Therrien,
Ing., PhD.

JR/RT/el

6.0 Référence

Gringarten, A.C., et Ramey, H. J., 1974. Unsteady-state pressure distributions created by a well with a single horizontal fracture, partial penetration, or restricted entry. *Society of petroleum engineers journal* 14(2): 413-426.

Hyder, Z., Butler Jr., J.J., McElwee, C.D., et Liu, W., 1994. Slug tests in partially penetrating wells. *Water resources research*, 30(11): 2945-2957.

Langelier, W.R., 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment. *Journal of American Water Work Association*, 28(10): 1500-1521.

Langley, B.C., 2002. *Heat Pump Technology*. Prentice Hall, Columbus, 536 pp.

Ministère de l'environnement et de la faune, 1994. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 3, échantillonnage des eaux souterraines. Gouvernement du Québec, Sainte-Foy, 101 pp.

Ministère du développement durable, de l'environnement, et des parcs, 2005a. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Référence électronique: http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_grille_eaux.htm.

Ministère du développement durable, de l'environnement, et des parcs, 2005b. Règlement sur le captage des eaux souterraines. Référence électronique: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm>.

Rafferty, K., 2000. Scaling in geothermal heat pump systems. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 21(1): 11-15.

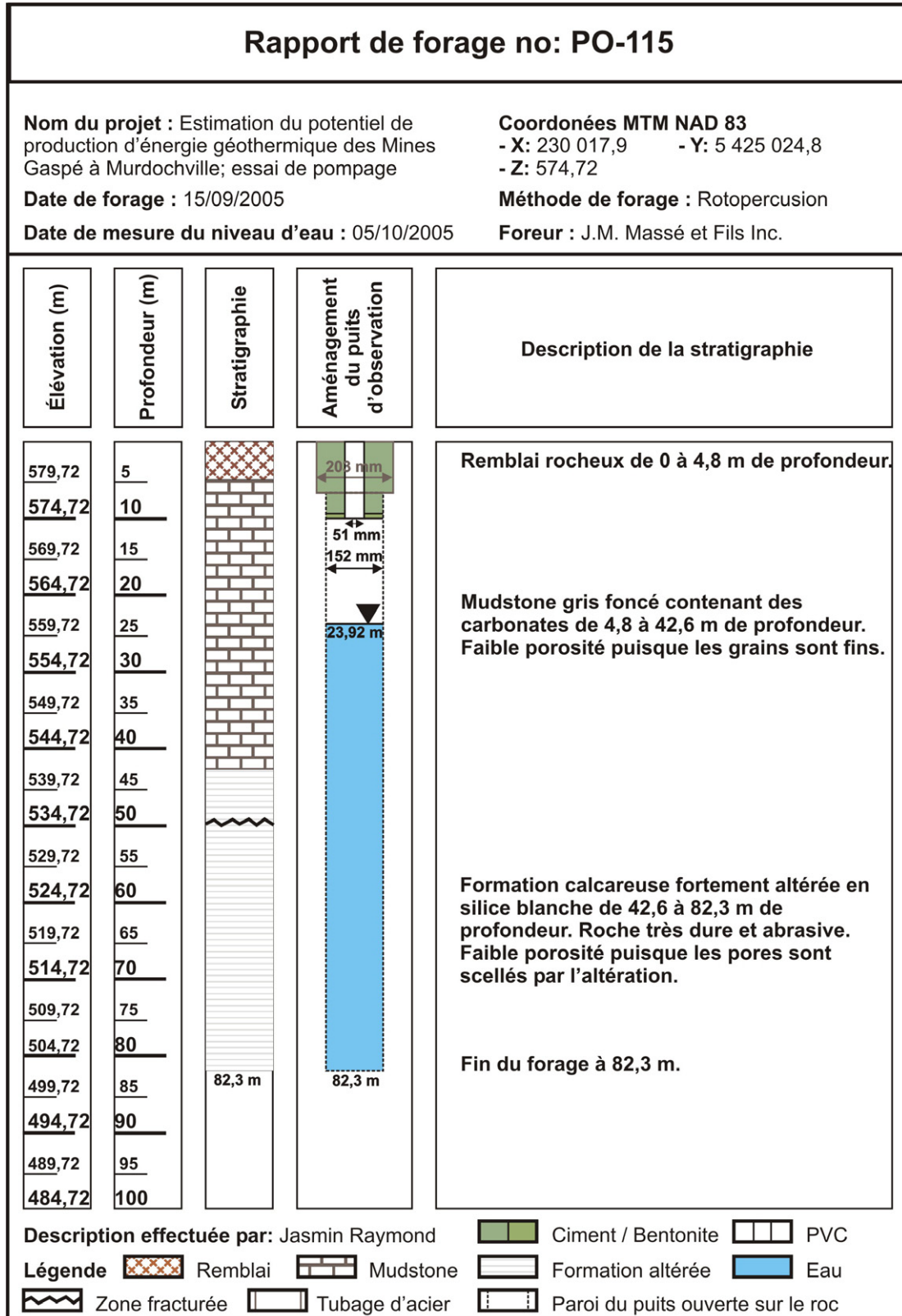
Raymond, J., et Therrien, R., 2005a. Estimation du potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville; caractérisation du site à l'étude. Rapport interne soumis au Comité de relance de la ville de Murdochville, Québec, 22 pp + annexes.

Raymond, J., and Therrien, R., 2005b. Compte-rendu des travaux exécutés sur le terrain. Estimation du potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville; essai de pompage. Rapport interne soumis au Comité de relance de la ville de Murdochville, Québec, 3 pp + annexes.

Ryznar, J.W., 1944. A new Index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water. *Journal of American Water Work Association*, 36(4): 472-483.

Technisol, 2003. Ville de Murdochville. Étude hydrogéologique. Rapport interne soumis à la ville de Murdochville, Rimouski, 19 pp + annexes.

Annexe 1- Rapport de forage et plans de conception des puits



Rapport de forage no: PO-216

Nom du projet : Estimation du potentiel de production d'énergie géothermique des Mines Gaspé à Murdochville; essai de pompage

Coordonnées MTM NAD 83

- X: 230 013,9 - Y: 5 424 983,7

- Z: 573,16

Date de forage : 16/09/2005

Méthode de forage : Rotopercussion

Date de mesure du niveau d'eau : 05/10/2005

Foreur : J.M. Massé et Fils Inc.

Élévation (m)	Profondeur (m)	Stratigraphie	Aménagement du puits d'observation	Description de la stratigraphie
578,16	5			Remblai rocheux de 0 à 3,0 m de profondeur.
573,16	10			
568,16	15			Mudstone gris foncé contenant des carbonates de 3,0 à 24,4 m de profondeur. Faible porosité puisque les grains sont fins.
563,16	20			
558,16	25			Formation calcaireuse fortement altérée en silice blanche de 24,4 à 100,0 m de profondeur. Roche très dure et abrasive. Faible porosité puisque les pores sont scellés par l'altération.
553,16	30			
548,16	35			
543,16	40			
538,16	45			
533,16	50			
528,16	55			
523,16	60			
518,16	65			
513,16	70			
508,16	75			Fin du forage à 100,0 m.
503,16	80			
498,16	85			
493,16	90			
488,16	95			
473,16	100			

Description effectuée par: Jasmin Raymond

 Ciment / Bentonite  PVC

Légende  Remblai  Mudstone

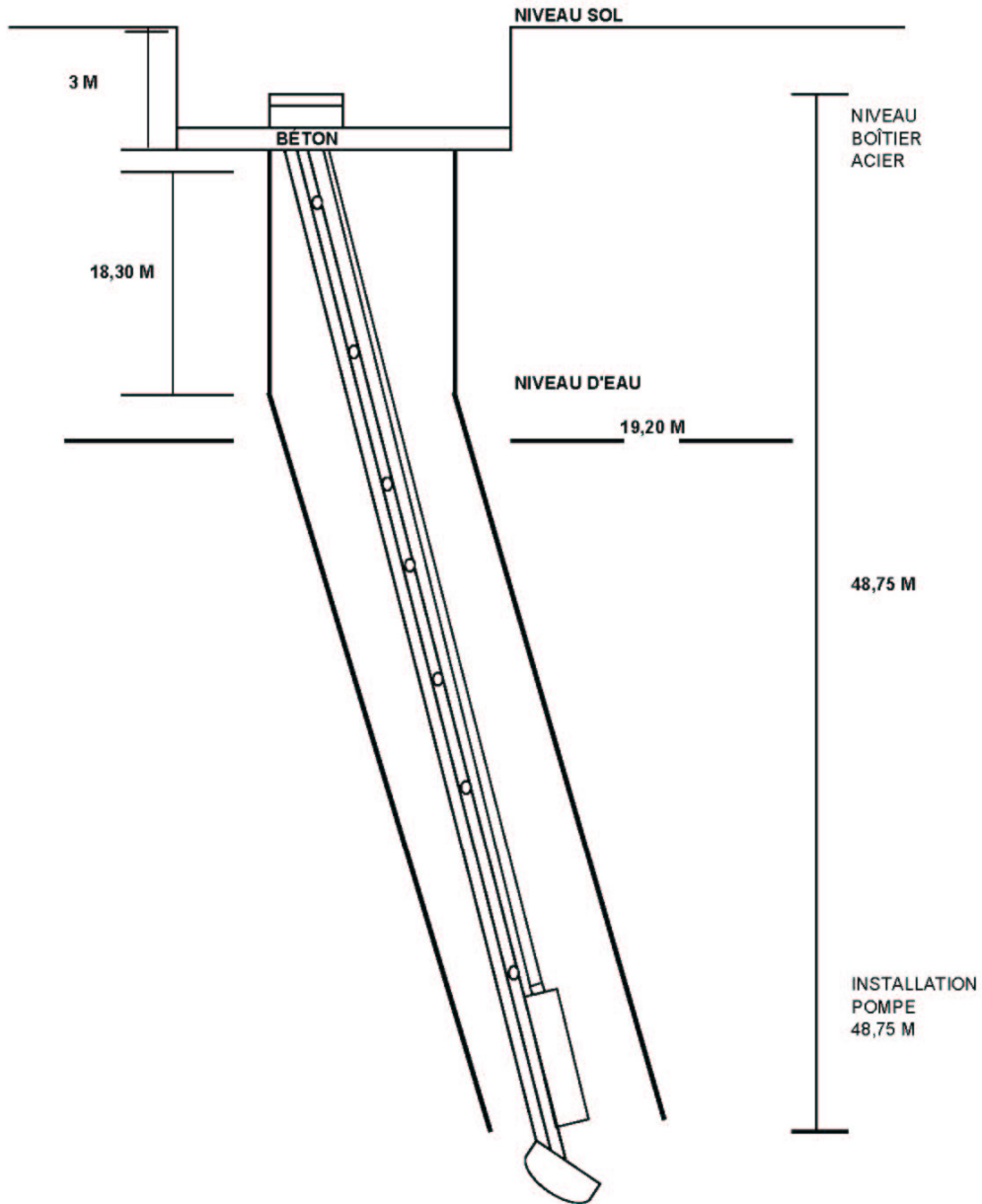
 Formation altérée  Eau

 Zone fracturée  Tubage d'acier

 Paroi du puits ouverte sur le roc

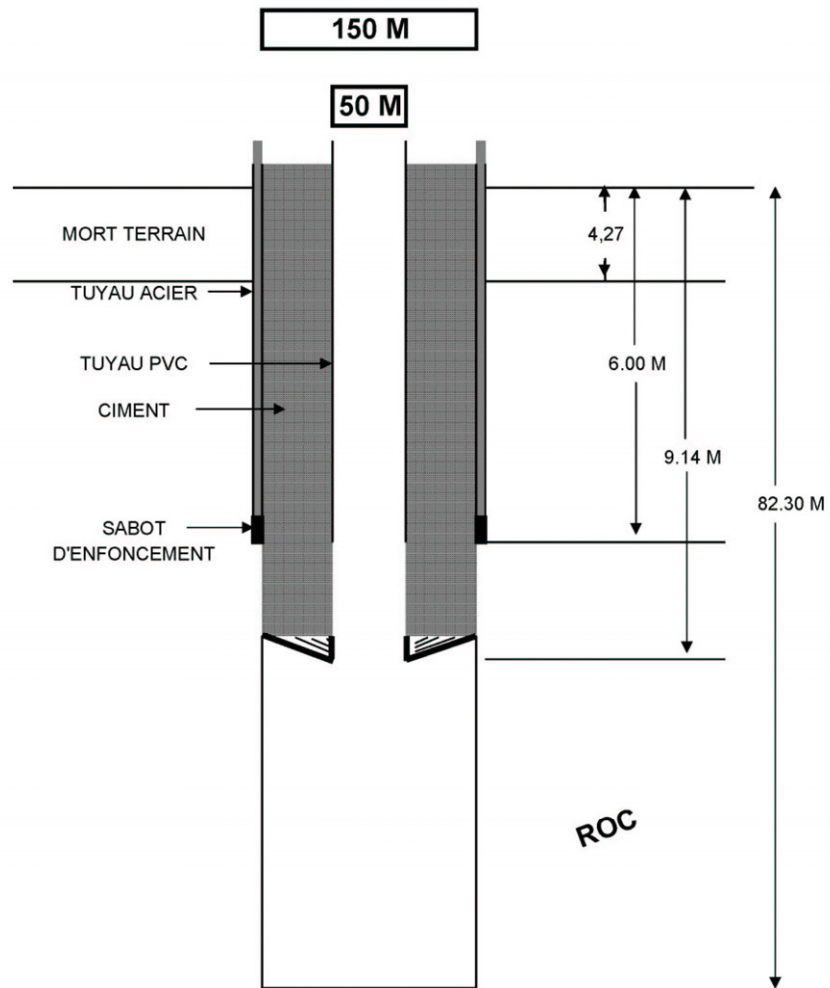


GÉOTHERMIE - MURDOCHVILLE



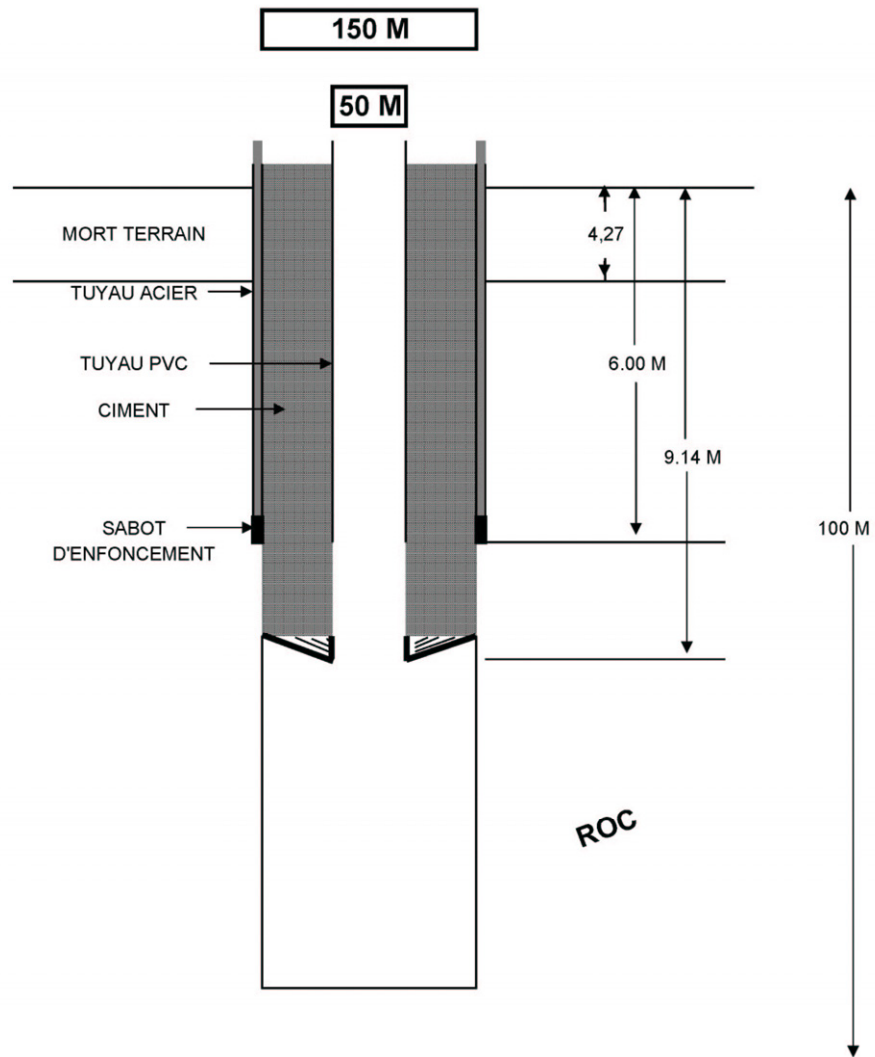


PO - 115





PO - 216



Annexe 2- Certificats d'analyses chimiques

OCT.20'2005 12:54 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.001/010



ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyse

Numéro de demande d'analyse: **05-158304**

Demande d'analyse reçue le: 7 octobre, 2005

Date d'émission du certificat: 20 octobre, 2005

Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant

M. JASMIN RAYMOND

124 RUE DES CRANS
 LAC DELAGE, Québec, Canada
 G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.

ND : non-détecté NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement Interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 155107 - Page 1 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:54 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.002/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 746695
 Votre Référence #P1100-06102005
 Matrice Eau s-terrain
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement PUIITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
 Prélevé le 2005-10-06
 Reçu Labo 2005-10-07

Paramètre(s)

Méthode

Référence

Argent dissousQC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA
MA 200 Mat.1.0 , SM 3111B ou E

Argent dissous

Préparation 2005-10-07
Analyse 2005-10-07
No. séquence 143205
mg/L < 0.002**Alcalinité totale (en CaCO₃)**QC009-95 / titrage pH 8.3 et/ou 4.5
SM2320B ou SM2310BAlcalinité (en CaCO₃)Préparation 2005-10-17
Analyse 2005-10-17
No. séquence 144103
mg/L 81**Aluminium dissous**QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA
SM 31139

Aluminium dissous

Préparation 2005-10-07
Analyse 2005-10-07
No. séquence 143279
mg/L 0.01**Arsenic dissous**QC050-02 / Digestion acide (au bœpin), dosage génération d'hydruure par AA
SM3114C

Arsenic dissous

Préparation 2005-10-07
Analyse 2005-10-07
No. séquence 143307
mg/L <0.001**Baryum dissous**QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA
SM 31139

Baryum dissous

Préparation 2005-10-07
Analyse 2005-10-07
No. séquence 143287
mg/L 0.04**Calcium dissous**QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA
MA 200 Mat.1.0 , SM 3111B ou E

Calcium dissous

Préparation 2005-10-11
Analyse 2005-10-11
No. séquence 143414
mg/L 190

Certificat no. 155107 - Page 2 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:54 1 419 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.003/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	746695
Votre Référence	#P1100-06102005
Matrice	Eau s-terrain
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	PUITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
Prélevé le	2005-10-06
Reçu Labo	2005-10-07

Paramètre(s)Méthode
Référence**Cadmium dissous**QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GF/AA
SM 3113B

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143283

Cadmium dissous

mg/L 0.0008

ChloruresQC058-06 / colorimétrie thiocyanate Hg
SM4500 Cl E / EPA105-A

Préparation	2005-10-12
Analyse	2005-10-12
No. séquence	143639

Chlorures

mg/L 31

Bioxyde de carbone libre (en CO₂)Résultat par calcul (avec pH et alcalinité)
SM4500-CO₂ D

No. séquence	NA
mg/L	5

Cobalt dissousQC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GF/AA
SM 3113B

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143286

Cobalt dissous

mg/L 0.010

Chrome dissousQC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GF/AA
SM 3113B

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143288

Chrome dissous

mg/L <0.001

Cuivre dissousQC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GF/AA
SM 3113B

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143257

Cuivre dissous

mg/L 0.081

Certificat no. 155107 - Page 3 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20*2005 12:54 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.004/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 746695
 Votre Référence #P1100-06102005
 Matrice Eau s-terrain
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement PUIFS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
 Prélevé le 2005-10-06
 Reçu Labo 2005-10-07

Paramètre(s)Méthode
Référence**Dureté calculée (en CaCO₃)**

Résultat par calcul (à partir du Ca et du Mg)

	No. séquence	NA
Dureté (en CaCO ₃)	mg/L	500
Fer dissous	Préparation	2005-10-07
CC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-07
MA 200 Mat.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	143377
Fer dissous	mg/L	<0.02
Sulfures totaux (en H₂S)	Préparation	2005-10-11
CC016-02 / distillation (au besoin), colorimétrie bleu méthylène	Analyse	2005-10-11
MA 300-S 1.0 / SM4500-S2 D	No. séquence	143465
Sulfures	mg/L H ₂ S	< 0.02
Mercure dissous	Préparation	2005-10-07
CC088-06 / Digestion acide, Dosage AA (vapour froide)	Analyse	2005-10-07
SM3112 / MA200 Hg1.0	No. séquence	143300
Mercure dissous	mg/L	<0.0001
Potassium dissous	Préparation	2005-10-11
CC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-11
MA 200 Mat.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	143473
Potassium dissous	mg/L	4.5
Magnésium dissous	Préparation	2005-10-11
CC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-11
MA 200 Mat.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	143480
Magnésium dissous	mg/L	6.2

Certificat no. 155107 - Page 4 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:55 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.005/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	746695
Votre Référence	#P1100-06102005
Matrice	Eau s-terrale
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	PUITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
Prélevé le	2005-10-06
Reçu Labo	2005-10-07

Paramètre(s)Méthode
Référence**Manganèse dissous**QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA
SM 3113B**Manganèse dissous**

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143260

mg/l 0.096

Molybdène dissousQC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA
SM 3113B**Molybdène dissous**

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143265

mg/L 0.19

Sodium dissousQC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA
MA 200 Mat, 1.0, SM 3111B ou E**Sodium dissous**

Préparation	2005-10-11
Analyse	2005-10-11
No. séquence	143469

mg/L 19

Nickel dissousQC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA
SM 3113B**Nickel dissous**

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143265

mg/L 0.013

Plomb dissousQC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA
SM 3113B**Plomb dissous**

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143268

mg/L <0.001

pHQC021-02 / pH-mètre (avec sonde compensatrice de température)
MA 100-pH1.1 / SM4500-H+ B**pH**

Préparation	2005-10-07
Analyse	2005-10-07
No. séquence	143303

7.5

Certificat no. 155107 - Page 5 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:55 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.006/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	746695
Votre Référence	#P1100-06102005
Matrice	Eau s-terrain
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	PUITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
Prélevé le	2005-10-06
Rapç Labo	2005-10-07

Paramètre(s)Méthode
Référence

Antimoine dissous	Préparation	2005-10-07
QC050-02 / Digestion acide (au besoin), dosage génération d'hydrure par AA	Analyse	2005-10-07
SM3114C	No. séquence	143312
Antimoine dissous	mg/L	0,004
Sélénium dissous	Préparation	2005-10-07
QC050-02 / Digestion acide (au besoin), dosage génération d'hydrure par AA	Analyse	2005-10-07
SM3114C	No. séquence	143309
Sélénium dissous	mg/L	0,001
Solides dissous totaux	Préparation	2005-10-12
QC050-05 / Séchage à 180°C, Gravimétrie	Analyse	2005-10-14
SM 2540 C	No. séquence	143709
Solides dissous totaux	mg/L	680
Turbidité	Préparation	2005-10-07
QC022-05 / turbidimétrie	Analyse	2005-10-07
SM2130B	No. séquence	143317
Turbidité	UTN	1,0
Zinc dissous	Préparation	2005-10-07
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-07
MA 200 Mat.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	143212
Zinc dissous	mg/L	0,19

Certificat no. 155107 - Page 6 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:55 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.007/010



ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	746695
Votre Référence	#P1100-06102005
Matrice	Eau s-terraino
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	PUITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
Prélevé le	2005-10-06
Reçu Labo	2005-10-07

Paramètre(s)Méthode
Référence**BTEX**GC073-02 / dosage Purge&Trap/GC-MS
EPA8240, 8260 ; MA400 CQV1.1

Benzène

Toluène

Éthylbenzène

m- et p-Xylènes

o-Xylène

Pourcentage de récupération

Benzène-d6

Toluène-d8

Éthylbenzène-d10

Préparation 2005-10-11

Analyse 2005-10-11

No. séquence 143499

µg/L <0.2

µg/L <0.10

µg/L <0.10

µg/L <0.2

µg/L <0.10

% 105%

% 92%

% 95%

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)GC059-97 / extraction dichlorométhane, dosage GC-MS
EPA3510, 8270 / MA400 HAP1.1

Naphthalène

1-Méthilynaphthalène

2-Méthilynaphthalène

1,3-Diméthilynaphthalène

Acénaphthylène

Acénaphthène

2,3,5-Triméthilynaphthalène

Fluorène

Phénanthrène

Anthracène

Fluoranthène

Pyrène

Benzo (c) phénanthrène

Préparation 2005-10-13

Analyse 2005-10-13

No. séquence 143891

µg/L 0.03

µg/L <0.01

µg/L <0.01

µg/L <0.02

µg/L <0.01

µg/L <0.01

µg/L <0.02

µg/L <0.01

µg/L <0.02

µg/L <0.01

µg/L <0.01

µg/L <0.01

µg/L <0.01

µg/L <0.01

Certificat no. 155107 - Page 7 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:55 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.008/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mtl.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	746695
Votre Référence	#P1100-06102005
Matrice	Eau s-terrain
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	PUITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
Prélevé le	2005-10-06
Reçu Labo	2005-10-07

Paramètre(s)

Méthode

Référence

Benzo (a) anthracène	µg/L	<0.02
Chrysène	µg/L	<0.02
Benzo (b, j et k) fluoranthènes	µg/L	<0.03
7,12-Diméthylbenzo (a) anthracène	µg/L	<0.01
Benzo (a) pyrène	µg/L	<0.01
Benzo (a) pyrène	µg/L	<0.01
3-Méthylcholanthrène	µg/L	<0.02
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	µg/L	<0.01
Dibenzo (a,h) anthracène	µg/L	<0.01
7H-Dibenzo (c,g) carbazole	µg/L	<0.02
Benzo (g,h,i) pérylène	µg/L	<0.01
Dibenzo (a,i) pyrène	µg/L	<0.08
Dibenzo (a,e) pyrène	µg/L	<0.08
Dibenzo (a,i) pyrène	µg/L	<0.08
Dibenzo (a,h) pyrène	µg/L	<0.04

Pourcentage de récupération

Acénaphthène-d10	%	72%
Fluoranthène-d10	%	84%
Chrysène-d12	%	87%

Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	Préparation	2005-10-07
GC003-B7 / extraction hexano, dosage GC-FID	Analyse	2005-10-07
MA410-Hyd, 1.0	No. séquence	143191
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	µg/L	< 100

Certificat no. 155107 - Page 8 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:56 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.009/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	746695
Votre Référence	#P1100-06102005
Matrice	Eau s-terrain
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	PUITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
Prélevé le	2005-10-06
Reçu Labo	2005-10-07

Paramètre(s)Méthode
Référence**Commentaire:****746695**

#P1100-06102005

Présence de la bactérie du fer Leptothrix sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Genevieve Larosa
Chimiste



Certificat no. 155107 - Page 9 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.20'2005 12:56 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #0769 P.010/010

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158304**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	746695
Votre Référence	#P1100-06102005
Matrice	Eau s-terrain
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	PUITS DE VENTILATION 1100, MINES GASPÉ
Prélevé le	2005-10-06
Reçu Labo	2005-10-07

Paramètre(s)

Méthode

Référence

Bactéries du fer

Analyse 2005-10-12

Bactéries du fer

Bactéries du fer - SM-9240D

No. séquence NA

Bactéries du fer

NPP/100 mL 240

Commentaire:**746695**

#P1100-06102005

Présence de la bactérie du fer *Leptothrix* sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Microbiologiste

Lynda Rodrigue M.Sc.
microbiologiste

Certificat no. 155107 - Page 10 de 10

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:23 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.001/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande d'analyse: **05-158805**

Demande d'analyse reçue le: 13 octobre, 2005

Date d'émission du certificat: 31 octobre, 2005

Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant**M. JASMIN RAYMOND**124 RUE DES CRANS
LAC DELAGE, Québec, Canada
G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.

ND : non-déecté NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 156387 - Page 1 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:23 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.002/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 749305
Votre Référence P1100-12102005
Matrice Eau s-terrain
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélevement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-12
Reçu Labo 2005-10-13

Paramètre(s)		
Méthode		
Références		
Argent dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-13
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	143970
Argent dissous	mg/L	<0.002
Alcalinité totale (en CaCO3)	Préparation	2005-10-20
QC008-95 / titrage pH 8.3 et/ou 4.5	Analyse	2005-10-20
SM2320B ou SM2310B	No. séquence	144321
Alcalinité (en CaCO3)	mg/L	87
Aluminium dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144554
Aluminium dissous	mg/L	<0.01
Arsenic dissous	Préparation	2005-10-15
Dosage ICP ou ICP-MS	Analyse	2005-10-17
Analyse en sous-traitance	No. séquence	NA
Arsenic	mg/L	< 0.001
Baryum dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144540
Baryum dissous	mg/L	0.03
Calcium dissous	Préparation	2005-10-20
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-20
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	145016
Calcium dissous	mg/L	170

Certificat no. 156387 - Page 2 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:23 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.003/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.nb.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	749305
Votre Référence	P1100-12102005
Matrice	Eau s-terraina
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le	2005-10-12
Reçu Labo	2005-10-13

Paramètre(s)		
Méthode		
Reference		
Cadmium dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144542
Cadmium dissous	mg/L	0.0008
Chlorures	Préparation	2005-10-18
QC032-05 / colorimétrie thiocyanate Hg	Analyse	2005-10-18
SM4500 Cl E / EPA 105-A	No. séquence	144457
Chlorures	mg/L	33
Bioxyde de carbone libre (en CO2)		
Résultat par calcul (avec pH et alcalinité)		
SM4500-CO2 D	No. séquence	NA
Bioxyde de carbone libre	mg/L	4
Cobalt dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144562
Cobalt dissous	mg/L	0.011
Chrome dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144544
Chrome dissous	mg/L	<0.001
Cuivre dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144568
Cuivre dissous	mg/L	0.094

Certificat no. 156387 - Page 3 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:24 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.004/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	749305
Votre Référence	P1100-12102005
Matrice	Eau s-terrain
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le	2005-10-12
Reçu Labo	2005-10-13

Paramètre(s)Méthode
Référence**Dureté calculée (en CaCO3)**

Résultat par osécul (à partir du Ca et du Mg)

	No. séquence	NA
Dureté (en CaCO3)	mg/L	420
Fer dissous	Préparation	2005-10-13
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-13
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	143984
Fer dissous	mg/L	0.05
Sulfures totaux (en H2S)	Préparation	2005-10-18
QC018-02 / dilution (au bésin), colorimétrie bleu méthylène	Analyse	2005-10-18
MA 300-S 1.0 / SM4500-S2 D	No. séquence	144499
Sulfures	mg/L H2S	< 0.02
Mercure dissous	Préparation	2005-10-14
QC068-09 / Digestion acide, Dosage AA (vapeur froide)	Analyse	2005-10-14
SM3112 / MA200 Hg1.0	No. séquence	144112
Mercure dissous	mg/L	<0.0001
Potassium dissous	Préparation	2005-10-20
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-20
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	144834
Potassium dissous	mg/L	1.7
Magnésium dissous	Préparation	2005-10-18
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-18
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	NA
Magnésium dissous	mg/L	0.12

Certificat no. 156387 - Page 4 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques du selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:24 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.005/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 749305
Votre Référence P1100-12102005
Matrice Eau s-terrine
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-12
Reçu Labo 2005-10-13

Paramètre(s)		
Méthode		
Référence		
Manganèse dissous	Préparation	2005-10-18
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-18
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	144511
Manganèse dissous	mg/L	0.12
Molybdène dissous	Préparation	2005-10-27
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-27
SM 3113B	No. séquence	146101
Molybdène dissous	mg/L	0.32
Sodium dissous	Préparation	2005-10-20
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-20
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	144831
Sodium dissous	mg/L	20
Nickel dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144570
Nickel dissous	mg/L	0.015
Plomb dissous	Préparation	2005-10-19
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-19
SM 3113B	No. séquence	144547
Plomb dissous	mg/L	<0.001
pH	Préparation	2005-10-13
QC021-82 / pH-mètre (avec sonde compensatrice de température)	Analyse	2005-10-13
MA.100-pH1.1 / SM4500-H+ B	No. séquence	143911
pH		7.6

Certificat no. 156387 - Page 5 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:25 1 419 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.006/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	749305
Votre Référence	P1100-12102005
Matrice	Eau s-terrale
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le	2005-10-12
Reçu Labo	2005-10-13

Paramètre(s)		
Méthode		
Référence		
Antimoine dissous	Préparation	2005-10-18
QC050-02 / Digestion acide (au besoin), dosage génération d'hydruure par AA	Analyse	2005-10-18
SM3114C	No. séquence	144619
Antimoine dissous	mg/L	0.003
Sélénium dissous	Préparation	2005-10-18
QC050-02 / Digestion acide (au besoin), dosage génération d'hydruure par AA	Analyse	2005-10-18
SM3114C	No. séquence	144618
Sélénium dissous	mg/L	<0.001
Solides dissous totaux	Préparation	2005-10-17
QC030-05 / Séchage à 180°C, Ombimétrie	Analyse	2005-10-18
SM 2340 C	No. séquence	144332
Solides dissous totaux	mg/L	7.10
Turbidité	Préparation	2005-10-14
QC022-95 / turbidimétrie	Analyse	2005-10-14
SM2130B	No. séquence	144164
Turbidité	UTN	1.2
Zinc dissous	Préparation	2005-10-18
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-18
MA 200 Met.1.0, SM 31115 ou E	No. séquence	144587
Zinc dissous	mg/L	0.19

Certificat no. 158387 - Page 6 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:25 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.007/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 749322
Votre Référence RCO-12102005
Matrice Eau surface
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-12
Reçu Labo 2005-10-13

Paramètre(s)		
Argent		
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA MA200 Met.1.0, SM3111B, E	Préparation	2005-10-13
	Analyse	2005-10-13
	No. séquence	143971
Argent	mg/L	<0.002
Aluminium		
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA MA200 Met.1.0, SM3111B, E	Préparation	2005-10-14
	Analyse	2005-10-14
	No. séquence	144187
Aluminium	mg/L	<0,1
Baryum		
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA MA200 Met.1.0, SM3111B, E	Préparation	2005-10-13
	Analyse	2005-10-13
	No. séquence	143975
Baryum	mg/L	0.06
Cadmium		
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA MA200 Met.1.0, SM3111B, E	Préparation	2005-10-14
	Analyse	2005-10-14
	No. séquence	144080
Cadmium	mg/L	<0,005
Cobalt		
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA MA200 Met.1.0, SM3111B, E	Préparation	2005-10-14
	Analyse	2005-10-14
	No. séquence	144072
Cobalt	mg/L	<0.02
Chrome		
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA MA200 Met.1.0, SM3111B, E	Préparation	2005-10-13
	Analyse	2005-10-13
	No. séquence	143973
Chrome	mg/L	<0.01

Certificat no. 156387 - Page 7 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT, 31 '2005 10:25 1 419 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.008/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commandé	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 749322
Votre Référence RCO-12102005
Matrice Eau surface
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-12
Reçu Labo 2005-10-13

Paramètre(s)		
Cuivre	Préparation	2005-10-14
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA	Analyse	2005-10-14
MA200 Met 1.0, SM3111B, E	No. séquence	144063
Cuivre	mg/L	0.09
Dureté totale (en CaCO₃)	Préparation	2005-10-13
QC009-P5 / colorimétrie EDTA	Analyse	2005-10-13
SM2340C	No. séquence	143878
Dureté totale (en CaCO ₃)	mg/L	330
Fer	Préparation	2005-10-14
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA	Analyse	2005-10-14
MA200 Met 1.0, SM3111B, E	No. séquence	144070
Fer	mg/L	<0.07
Manganèse	Préparation	2005-10-14
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA	Analyse	2005-10-14
MA200 Met 1.0, SM3111B, E	No. séquence	144067
Manganèse	mg/L	0.04
Molybdène	Préparation	2005-10-13
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA	Analyse	2005-10-13
MA200 Met 1.0, SM3111B, E	No. séquence	143977
Molybdène	mg/L	0.14
Nickel	Préparation	2005-10-14
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA	Analyse	2005-10-14
MA200 Met 1.0, SM3111B, E	No. séquence	144079
Nickel	mg/L	<0.02

Certificat no. 156387 - Page 8 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:26 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.009/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 749322
Votre Référence RCC-12102005
Matrice Eau surface
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-12
Reçu Labo 2005-10-13

Paramètre(s)		
Méthode		
Référence		
Plomb	Préparation	2005-10-14
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA	Analyse	2005-10-14
MA200 Met 1.0, SMS111B, E	No. séquence	144081
Plomb		mg/L
		<0.05
Zinc	Préparation	2005-10-14
QC048-02 / Digestion acide (au besoin), Dosage AA	Analyse	2005-10-14
MA200 Met 1.0, SMS111B, E	No. séquence	144082
Zinc		mg/L
		0.09

Certificat no. 156387 - Page 9 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:26 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.010/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 749305
Votre P1100-12102005
Référence

Matrice Eau s-terreine
Prélevé par M. RAYMOND

Lieu de MINES GASPÉ
prélèvement MURDOCVILLE

Prélevé le 2005-10-12
Reçu Labo 2005-10-13

Paramètre(s)

Méthode

Référence

BTEXGC073-02 / dosage Purge&Trap/GC-MS
EPA8240, 8260, MA400 COV1,1

Préparation 2005-10-18

Analyse 2005-10-18

No. séquence 144510

Benzène µg/L <0,4

Toluène µg/L <0,2

Éthylbenzène µg/L <0,2

m- et p-Xylènes µg/L <0,4

o-Xylène µg/L <0,2

Pourcentage de récupération

Benzène-d6 % 110%

Toluène-d8 % 91%

Éthylbenzène-d10 % 89%

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Préparation 2005-10-14

Analyse 2005-10-14

GC068-07 / extraction dichlorométhane, dosage GC-MS

EPA3510, 8270 / MA400 HAP1,1

No. séquence 144087

Naphthalène µg/L <0,02

1-Méthyl-naphthalène µg/L <0,01

2-Méthyl-naphthalène µg/L <0,01

1,3-Diméthyl-naphthalène µg/L <0,02

Acénaphthylène µg/L <0,01

Acénaphthène µg/L <0,01

2,3,5-Triméthyl-naphthalène µg/L <0,02

Fluorène µg/L <0,01

Phénanthrène µg/L <0,02

Anthracène µg/L <0,01

Fluoranthène µg/L <0,01

Pyrène µg/L <0,01

Benzo (c) phénanthrène µg/L <0,01

Certificat no. 156397 - Page 10 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:27 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.011/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	749305
Votre Référence	P1100-12102005
Matrice	Eau s-lerraine
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le	2005-10-12
Reçu Labo	2005-10-13

Paramètre(s)		
<i>Méthode</i>		
<i>Références</i>		
Benzo (a) anthracène	µg/L	<0.02
Chrysène	µg/L	<0.02
Benzo (b, j et k) fluoranthènes	µg/L	<0.03
7,12-Diméthylbenzo (a) anthracène	µg/L	<0.01
Benzo (a) pyrène	µg/L	<0.01
Benzo (a) pyrène	µg/L	<0.01
3-Méthylcholanthrène	µg/L	<0.02
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	µg/L	<0.01
Dibenzo (a,h) anthracène	µg/L	<0.01
7H-Dibenzo (c,g) carbazole	µg/L	<0.02
Benzo (g,h,i) pérylène	µg/L	<0.01
Dibenzo (a,i) pyrène	µg/L	<0.08
Dibenzo (a,e) pyrène	µg/L	<0.08
Dibenzo (a,i) pyrène	µg/L	<0.08
Dibenzo (a,h) pyrène	µg/L	<0.04
Pourcentage de récupération		
Acénaphthène-d10	%	47%
Fluoranthène-d10	%	69%
Chrysène-d12	%	74%
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)		
	Préparation	2005-10-14
	Analyse	2005-10-14
	No. séquence	144051
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	µg/L	<100

Certificat no. 156387 - Page 11 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions données du client.

OCT.31'2005 10:27 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.012/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	749305
Votre Référence	P1100-12102005
Matrice	Eau s-terreine
Prélevé par	M. RAYMOND
Lieu de prélèvement	MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le	2005-10-12
Reçu Labo	2005-10-13

Paramètre(s)

Méthode

Référence

Commentaire:

749305

P1100-12102005

Présence de la bactérie du fer *Leptothrix* sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Geneviève Larose
Chimiste



Certificat no. 156387 - Page 12 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:27 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.013/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 749305
 Votre Référence P1100-12102005
 Matrice Eau s-terrain
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
 Prélevé le 2005-10-12
 Reçu Labo 2005-10-13

Paramètre(s)		
Méthode		
Référence		
Bactéries du fer	Analyse	2005-10-14
Bactéries du fer		
Bactéries du fer - SM-0240D	No. séquence	NA
Bactéries du fer	NPP/100 mL	9.00

Commentaire:

749305 P1100-12102005 Présence de la bactérie du fer Leptothrix sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Microbiologiste

Certificat no. 156387 - Page 13 de 13

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:28 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.014/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Résultats du Contrôle de Qualité (CQ)

Paramètres (No.Séquence)	Unité	LDR	Blanc	Contrôle certifié	
				Obtenu	Attendu (Intervalle)
Argent					
No Séquence: 143971					
Argent	mg/L	< 0.002	<0.002	0.10	0.08 - 0.12
Argent dissous					
No Séquence: 143970					
Argent dissous	mg/L	< 0.002	<0.002	0.093	0.08 - 0.12
Alcalinité totale (en CaCO₃)					
No Séquence: 144321					
Alcalinité (en CaCO ₃)	mg/L	< 2	< 2	46	45 - 55
Aluminium dissous					
No Séquence: 144554					
Aluminium dissous	mg/L	< 0.01	<0.01	0.21	0.16 - 0.24
Aluminium					
No Séquence: 144167					
Aluminium	mg/L	< 0.1	<0.1	4.1	4 - 6
Baryum dissous					
No Séquence: 144540					
Baryum dissous	mg/L	< 0.01	<0.01	0.20	0.16 - 0.24
Baryum					
No Séquence: 143975					
Baryum	mg/L	< 0.05	<0.05	2.9	2.4 - 3.6
BTEX					
No Séquence: 144510					
Benzène	µg/L	< 0.2	<0.2	23	17 - 29
Toluène	µg/L	< 0.1	0.12	23	17 - 29
Éthylbenzène	µg/L	< 0.1	<0.10	23	17 - 29
m- et p-Xylènes	µg/L	< 0.2	<0.2	49	34 - 58
o-Xylène	µg/L	< 0.1	<0.10	24	17 - 29

Commentaires CQ

Séquence no. 144087 : Blanc positif soustrait des échantillons
 Séquence no. 144510 : Blanc positif soustrait des échantillons

LDR : Limite de détection rapportée

Annexe 1 du certificat no.156387 - Page 1 de 6

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:28 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.015/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Résultats du Contrôle de Qualité (CQ)

Paramètres (No.Séquence)	Unité	LDR	Blanc	Contrôle certifié	
				Obtenu	Attendu (Intervalle)
Calcium dissous					
No Séquence: 145016					
Calcium dissous	mg/L	< 0.05	<0.05	2.7	2.4 - 3.6
Cadmium dissous					
No Séquence: 144542					
Cadmium dissous	mg/L	< 0.0005	<0.0005	0.0021	0.0016 - 0.0024
Cadmium					
No Séquence: 144080					
Cadmium	mg/L	< 0.005	<0.005	0.10	0.085 - 0.12
Chlorures					
No Séquence: 144457					
Chlorures	mg/L	< 0.5	< 0.5	25	22 - 28
Cobalt dissous					
No Séquence: 144562					
Cobalt dissous	mg/L	< 0.001	<0.001	0.009	0.008 - 0.012
Cobalt					
No Séquence: 144072					
Cobalt	mg/L	< 0.02	<0.02	0.34	0.34 - 0.46
Chrome dissous					
No Séquence: 144544					
Chrome dissous	mg/L	< 0.001	<0.001	0.012	0.008 - 0.012
Chrome					
No Séquence: 143973					
Chrome	mg/L	< 0.01	<0.01	0.40	0.34 - 0.46
Cuivre dissous					
No Séquence: 144566					
Cuivre dissous	mg/L	< 0.001	<0.001	0.020	0.016 - 0.024

Commentaires CQ

Séquence no. 144087 : Blanc positif soustrait des échantillons
 Séquence no. 144510 : Blanc positif soustrait des échantillons

LDR : Limite de détection rapportée

Annexe 1 du certificat no.156387 - Page 2 de 6

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:28 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.016/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Résultats du Contrôle de Qualité (CQ)

Paramètres (No. Séquence)	Unité	LDR	Blanc	Contrôle certifié	
				Obtenu	Attendu (Intervalle)
Cuivre					
No Séquence: 144063					
Cuivre	mg/L	< 0.01	<0.01	0.40	0.35 - 0.45
Dureté totale (en CaCO3)					
No Séquence: 143678					
Dureté totale (en CaCO3)	mg/L	< 2	< 2	56	54 - 66
Fer dissous					
No Séquence: 143964					
Fer dissous	mg/L	< 0.02	<0.02	0.49	0.4 - 0.6
Fer					
No Séquence: 144070					
Fer	mg/L	< 0.07	<0.07	2.0	1.7 - 2.3
Sulfures totaux (en H2S)					
No Séquence: 144489					
Sulfures	mg/L H2S	< 0.02	< 0.02	0.55	0.4 - 0.6
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)					
No Séquence: 144087					
Naphtalène	µg/L	< 0.02	0.04	1.4	1.2 - 2.8
1-Méthylnaphtalène	µg/L	< 0.01	0.01	1.3	1.2 - 2.8
2-Méthylnaphtalène	µg/L	< 0.01	0.02	0.71	0.72 - 1.7
1,3-Diméthylnaphtalène	µg/L	< 0.02	<0.02	1.4	1.2 - 2.8
Acénaphthylène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.5	1.2 - 2.8
Acénaphthène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.5	1.2 - 2.8
2,3,5-Triméthylnaphtalène	µg/L	< 0.02	<0.02	1.3	1.2 - 2.8
Fluorène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.6	1.2 - 2.8
Phénanthrène	µg/L	< 0.02	0.02	1.7	1.2 - 2.8
Anthracène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.6	1.2 - 2.8
Fluoranthène	µg/L	< 0.01	<0.01	2.1	1.2 - 2.8
Pyrène	µg/L	< 0.01	<0.01	2.1	1.2 - 2.8

Commentaires CQ

Séquence no. 144087 : Blanc positif soustrait des échantillons
 Séquence no. 144510 : Blanc positif soustrait des échantillons

LDR : Limite de détection rapportée

Annexe 1 du certificat no.156387 - Page 3 de 6

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:28 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.017/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Résultats du Contrôle de Qualité (CQ)

Paramètres (No.Séquence)	Unité	LDR	Blanc	Contrôle certifié	
				Obtenu	Attendu (Intervalle)
Benzo (c) phénanthrène	µg/L	< 0.01	<0.01	2.3	1.2 - 2.8
Benzo (a) anthracène	µg/L	< 0.02	<0.02	2.2	1.2 - 2.8
Chrysène	µg/L	< 0.02	<0.02	2.2	1.2 - 2.8
Benzo (b, j et k) fluoranthènes	µg/L	< 0.03	<0.03	6.5	4.8 - 11
7,12-Diméthylbenzo (a) anthracène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.1	1.2 - 2.8
Benzo (e) pyrène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.7	1.2 - 2.8
Benzo (a) pyrène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.6	1.2 - 2.8
3-Méthylcholanthrène	µg/L	< 0.02	<0.02	2.9	2.4 - 5.6
Indéno (1,2,3-cd) pyrène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.7	1.2 - 2.8
Dibenzo (a,h) anthracène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.7	1.2 - 2.8
7H-Dibenzo (c,g) carbazole	µg/L	< 0.02	<0.02	1.6	1.2 - 2.8
Benzo (g,h,i) pérylène	µg/L	< 0.01	<0.01	1.7	1.2 - 2.8
Dibenzo (a,i) pyrène	µg/L	< 0.08	<0.08	1.4	1.2 - 2.8
Dibenzo (a,e) pyrène	µg/L	< 0.08	<0.08	1.8	2.4 - 5.6
Dibenzo (a,i) pyrène	µg/L	< 0.08	<0.08	2.5	2.4 - 5.6
Dibenzo (a,h) pyrène	µg/L	< 0.04	<0.04	0.99	2.4 - 5.6
Mercure dissous					
No Séquence: 144112					
Mercure dissous	mg/L	< 0.0001	<0.0001	0.0043	0.0035 - 0.0065
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)					
No Séquence: 144051					
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	µg/L	< 100	<100	1700	1400 - 3400
Potassium dissous					
No Séquence: 144834					
Potassium dissous	mg/L	< 0.1	< 0.1	4.7	4.2 - 5.8
Manganèse					
No Séquence: 144067					
Manganèse	mg/L	< 0.01	<0.01	0.25	0.21 - 0.29

Commentaires CQ

Séquence no. 144087 : Blanc positif soustrait des échantillons
 Séquence no. 144510 : Blanc positif soustrait des échantillons

LDR : Limite de détection rapportée

Annexe 1 du certificat no.156387 - Page 4 de 6

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 90 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:29 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.018/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Résultats du Contrôle de Qualité (CQ)

Paramètres (No.Séquence)	Unité	LDR	Blanc	Contrôle certifié	
				Obtenu	Attendu (Intervalle)
Manganèse dissous					
No Séquence: 144511					
Manganèse dissous	mg/L	< 0.01	< 0.01	0.26	0.21 - 0.29
Molybdène dissous					
No Séquence: 146101					
Molybdène dissous	mg/L	< 0.001	< 0.001	0.022	0.016 - 0.024
Molybdène					
No Séquence: 143977					
Molybdène	mg/L	< 0.05	< 0.05	0.94	0.8 - 1.2
Sodium dissous					
No Séquence: 144531					
Sodium dissous	mg/L	< 0.1	< 0.1	4.8	4 - 6
Nickel dissous					
No Séquence: 144570					
Nickel dissous	mg/L	< 0.001	< 0.001	0.029	0.02 - 0.03
Nickel					
No Séquence: 144079					
Nickel	mg/L	< 0.02	< 0.02	0.37	0.35 - 0.45
Plomb dissous					
No Séquence: 144547					
Plomb dissous	mg/L	< 0.001	< 0.001	0.018	0.016 - 0.024
Plomb					
No Séquence: 144081					
Plomb	mg/L	< 0.05	< 0.05	0.76	0.64 - 0.86
pH					
No Séquence: 143911					
pH				6.8	6.6 - 7

Commentaires CQ

Séquence no. 144087 : Blanc positif soustrait des échantillons
 Séquence no. 144510 : Blanc positif soustrait des échantillons

LDR : Limite de détection rapportée

Annexe 1 du certificat no.158367 - Page 5 de 6

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 90 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.31'2005 10:29 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #2194 P.019/019

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-158805**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Résultats du Contrôle de Qualité (CQ)

Paramètres (No.Séquence)	Unité	LDR	Blanc	Contrôle certifié	
				Obtenu	Attendu (Intervalle)
Antimoine dissous					
No Séquence: 144619					
Antimoine dissous	mg/L	< 0.001	<0.001	0.008	0.008 - 0.012
Sélénium dissous					
No Séquence: 144618					
Sélénium dissous	mg/L	< 0.001	<0.001	0.025	0.02 - 0.03
Solides dissous totaux					
No Séquence: 144332					
Solides dissous totaux	mg/L	< 10	< 10	300	230 - 350
Turbidité					
No Séquence: 144164					
Turbidité	UTN	< 0.1	< 0.1	10	8.5 - 12
Zinc dissous					
No Séquence: 144587					
Zinc dissous	mg/L	< 0.002	<0.002	0.051	0.04 - 0.06
Zinc					
No Séquence: 144082					
Zinc	mg/L	< 0.01	<0.01	0.50	0.44 - 0.56

Commentaires CQ

Séquence no. 144087 : Blanc positif soustrait des échantillons
 Séquence no. 144510 : Blanc positif soustrait des échantillons

LDR : Limite de détection rapportée

Annexe 1 du certificat no.156387 - Page 6 de 6

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.21'2005 15:52 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #1059 P.001/002



ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyse

Numéro de demande d'analyse: **05-159224**

Demande d'analyse reçue le: 17 octobre, 2005

Date d'émission du certificat: 19 octobre, 2005

Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
- Certificat d'analyse préliminaire

Requérant

M. JASMIN RAYMOND

124 RUE DES GRANS
LAC DELAGE, Québec, Canada
G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.

ND : non-défecté NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 154947 • Page 1 de 2

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exécution des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

OCT.21'2005 15:53 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #1059 P.002/002

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.
www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159224**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 751531
 Votre Références #P1100-12102005
 Matrice Eau s-terrain
 Prélevé par M. JASMIN RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ, MURDOCHVILLE
 Prélevé le 2005-10-12
 Reçu Labo 2005-10-17

Paramètre(s)

Méthode

Référence

Oxygène dissous


Lecture directe avec électrode O2.


méthode Intorno

Oxygène dissous

Préparation 2005-10-18
 Analyse 2005-10-18
 No. adéquation 144397
 mg/L O2 5.4

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.


 Chimiste



Certificat no. 154947 - Page 2 de 2

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 90 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:05 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.001/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyse

Numéro de demande d'analyse: **05-159965**
 Demande d'analyse reçue le: 21 octobre, 2005
 Date d'émission du certificat: 7 novembre, 2005
 Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant**M. JASMIN RAYMOND**

124 RUE DES CRANS
 LAC DELAGE, Québec, Canada
 G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.

ND : non-défecté NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 157329 - Page 1 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:05 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.002/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159965**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 755077
 Votre Référence #P1100-19102005
 Matrice Eau s-terrain
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCHVILLE
 Prélevé le 2005-10-19
 Reçu Labo 2005-10-21

Paramètre(s)	Préparation	2005-10-25
Méthode	Analyse	2005-10-25
Référence	No. séquence	145534
Argent dissous	mg/L	<0.002
GC046-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	Préparation	2005-10-25
Argent dissous	Analyse	2005-10-25
	No. séquence	145588
Alcalinité totale (en CaCO₃)	mg/L	98
OC008-95 / titrage pH 5.3 et/ou 4.5 SM2320B ou SM2310B	Préparation	2005-10-24
Alcalinité (en CaCO ₃)	Analyse	2005-10-24
	No. séquence	145404
Aluminium dissous	mg/L	<0.01
GC046-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Préparation	2005-10-25
Aluminium dissous	Analyse	2005-10-25
	No. séquence	NA
Arsenic dissous	mg/L	< 0.001
Dosage ICP ou ICP-MS Analyse en sous-traitance	Préparation	2005-10-24
Arsenic	Analyse	2005-10-24
	No. séquence	145403
Baryum dissous	mg/L	0.02
GC046-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Préparation	2005-10-25
Baryum dissous	Analyse	2005-10-25
	No. séquence	145510
Calcium dissous	mg/L	150
OC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	Préparation	2005-10-25
Calcium dissous	Analyse	2005-10-25
	No. séquence	145510

Certificat no. 157329 - Page 2 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:06 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.003/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159965**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 755077
Votre Référence #P1100-19102005
Matrice Eau s-teraine
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélevement MINES GASPÉ MURDOCHVILLE
Prélevé le 2005-10-19
Reçu Labo 2005-10-21

Paramètre(s)		
Cadmium dissous	Préparation	2005-10-24
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45um), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-10-24
	No. séquence	145401
	mg/L	0.0007
Chlorures	Préparation	2005-10-26
QC030-05 / colorimétrie thiocyanate Hg SM4500 Cl E / EPA105-A	Analyse	2005-10-26
	No. séquence	145749
	mg/L	39
Bioxyde de carbone libre (en CO2)		
Résultat par calcul (avec pH et alcalinité) SM4500-CO2 D		
	No. séquence	NA
	mg/L	6
Cobalt dissous	Préparation	2005-10-24
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45um), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-10-24
	No. séquence	145409
	mg/L	0.010
Chrome dissous	Préparation	2005-10-24
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45um), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-10-24
	No. séquence	145402
	mg/L	<0.001
Cuivre dissous	Préparation	2005-10-24
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45um), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-10-24
	No. séquence	145405
	mg/L	0.072

Certificat no. 157329 - Page 3 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques où selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:06 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.004/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159965**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 755077
 Votre Référence #P1100-19102005
 Matrice Eau s-terrine
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCHVILLE
 Prélevé le 2005-10-19
 Reçu Labo 2005-10-21

Paramètre(s)Méthode
Référence**Dureté calculée (en CaCO3)**

Résultat par calcul (à partir de Ca et de Mg)

	No. séquence	NA
Dureté (en CaCO3)	mg/L	400
Fer dissous	Préparation	2005-10-26
QC08-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.0 / SM 3111B ou E	Analyse	2005-10-26
	No. séquence	145978
Fer dissous	mg/L	0.04
Sulfures totaux (en H2S)	Préparation	2005-10-25
QC08-02 / distillation (au besoin), colorimétrie bleu méthylène MA300-S 1.0 / SM4500-02 D	Analyse	2005-10-25
	No. séquence	145549
Sulfures	mg/L H2S	< 0.02
Mercuré dissous	Préparation	2005-10-25
QC06-09 / Digestion acide, Dosage AA (vapeur froide) SM3112 / MA200 Hg1.0	Analyse	2005-10-25
	No. séquence	145397
Mercuré dissous	mg/L	<0.0001
Potassium dissous	Préparation	2005-10-26
QC08-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.0 / SM 3111B ou E	Analyse	2005-10-26
	No. séquence	145778
Potassium dissous	mg/L	1.8
Magnésium dissous	Préparation	2005-10-27
QC08-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.0 / SM 3111B ou E	Analyse	2005-10-27
	No. séquence	145109
Magnésium dissous	mg/L	5.8

Certificat no. 157329 - Page 4 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:07 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.005/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159965**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 755077
Votre #P1100-19102005
Référence

Matrice Eau s-terrain
Prélevé par M. RAYMOND

Lieu de MINES GASPÉ
prélèvement MURDOCHVILLE

Prélevé le 2005-10-19
Reçu Labo 2005-10-21

Paramètre(s)			
Méthode			
Référence			
Manganèse dissous	Préparation	2005-10-26	
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-26	
MA 200 Met.1.0 , SM 3111B ou E	No. séquence	148029	
Manganèse dissous	mg/L	0.07	
Molybdène dissous	Préparation	2005-10-27	
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-27	
SM 3113B	No. séquence	146101	
Molybdène dissous	mg/L	0.33	
Sodium dissous	Préparation	2005-10-26	
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-10-26	
MA 200 Met.1.0 , SM 3111B ou E	No. séquence	145773	
Sodium dissous	mg/L	25	
Nickel dissous	Préparation	2005-10-24	
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-24	
SM 3113B	No. séquence	145406	
Nickel dissous	mg/L	0.013	
Oxygène dissous	Préparation	2005-10-21	
Lecture directe avec électrode O2.	Analyse	2005-10-21	
méthode interne	No. séquence	NA	
Oxygène dissous	mg/L O2	2.6	
Plomb dissous	Préparation	2005-10-24	
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-10-24	
SM 3113B	No. séquence	145468	
Plomb dissous	mg/L	<0.001	

Certificat no. 157329 - Page 5 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:07 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.006/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159965**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 765077
Votre Référence #P1100-19102005
Matrice Eau s-teraine
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCHVILLE
Prélevé le 2005-10-19
Reçu Labo 2005-10-21

Paramètre(s)	Préparation	2005-10-21
pH OC021-02 / pH-mètre (avec sonde compensatrice de température) MA 100-pH1.1 / SM4500-HH B	Analyse	2005-10-21
	No. séquence	145195
		7.5
Antimoine dissous OC050-02 / Digestion acide (su. baccin), dosage génération d'hydruie par AA SM3114C	Préparation	2005-10-26
	Analyse	2005-10-26
	No. séquence	145730
	mg/L	0.003
Sélénium dissous OC050-02 / Digestion acide (su. baccin), dosage génération d'hydruie par AA SM3114C	Préparation	2005-10-25
	Analyse	2005-10-25
	No. séquence	145414
	mg/L	0.001
Solides dissous totaux OC055-05 / Séchage à 100°C. Gravimétrie SM 2545 C	Préparation	2005-10-21
	Analyse	2005-10-24
	No. séquence	145159
	mg/L	680
Turbidité OC020-05 / turbidimètre SM2130B	Préparation	2005-10-21
	Analyse	2005-10-21
	No. séquence	145202
	UTN	0.6
Zinc dissous OC040-02 / Filtration (membrane 0.45um), dosage AA MA 200 Met.1.D. SM 3111B ou E	Préparation	2005-10-27
	Analyse	2005-10-27
	No. séquence	148009
	mg/L	0.16

Certificat no. 157329 - Page 6 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:07 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.007/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 - TÉL: (418) 871-8722 - FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159965**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. **755077**
 Votre Référence #P1100-19102005
 Matrice Eau s-terrine
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCHVILLE
 Prélevé le 2005-10-19
 Reçu Labo 2005-10-21

Paramètre(s)Méthode
Référence**Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)**OC003-97 / extraction hexane, dosage GC-FID
MAA10-Mye. 1.0**Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)**Préparation 2005-10-28
Analyse 2005-10-28
No. séquence 148243
µg/L <100**Commentaire:****755077** #P1100-19102005

* Présence des bactéries du fer Leptothrix sp. et Naumaniella sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Christian Robort
 Chimiste



Certificat no. 157329 - Page 7 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:08 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3732 P.008/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-159965**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 755077
 Votre Référence #P1100-19102005
 Matrice Eau s-terrain
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCHVILLE
 Prélevé le 2005-10-19
 Reçu Labo 2005-10-21

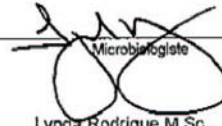
Paramètre(s)	Analyse	2005-10-24
Bactéries du fer	No. séquences	NA
Bactéries du fer - SMA02400	NPP/100 mL	> 2400

Commentaire:

755077 #P1100-19102005

* Présence des bactéries du fer Leptothrix sp. et Naumaniella sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.


 Microbiologiste
 Lynda Rodrigue M.Sc.
 microbiologiste

Certificat no. 157329 • Page 8 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:09 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.001/008

Bodycote ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC. www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyse

Numéro de demande d'analyse: **05-160630**
 Demande d'analyse reçue le: 27 octobre, 2005
 Date d'émission du certificat: 8 novembre, 2005
 Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant

M. JASMIN RAYMOND

124 RUE DES CRANS
 LAC DELAGE, Québec, Canada
 G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.

ND : non-détecté NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 157596 - Page 1 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:09 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.002/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-160630**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 758942
Votre Référence #P1100-28102005
Matrice Eau s-teraine
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-28
Reçu Labo 2005-10-27

Paramètre(s)		
Méthode		
Référence		
Argent dissous	Préparation	2005-10-28
CC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	Analyse	2005-10-28
	No. séquence	146273
Argent dissous	mg/L	<0.002
Alcalinité totale (en CaCO3)	Préparation	2005-10-28
CC009-05 / Titrage pH 8.3 et/ou 4.5 SM2320B ou SM2312B	Analyse	2005-10-28
	No. séquence	146135
Alcalinité (en CaCO3)	mg/L	98
Aluminium dissous	Préparation	2005-10-31
CC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-10-31
	No. séquence	146476
Aluminium dissous	mg/L	0.04
Arsenic dissous	Préparation	2005-11-02
Dosage ICP ou ICP-MS Analyse en sous-stance	Analyse	2005-11-03
	No. séquence	NA
Arsenic	mg/L	<0.001
Baryum dissous	Préparation	2005-10-31
CC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-10-31
	No. séquence	146484
Baryum dissous	mg/L	0.02
Calcium dissous	Préparation	2005-11-02
CC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	Analyse	2005-11-02
	No. séquence	146884
Calcium dissous	mg/L	180

Certificat no. 157596 - Page 2 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 90 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:10 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.003/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-160630**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 758942
 Votre Référence #P1100-28102005
 Matrice Eau s-terreine
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
 Prélevé le 2005-10-28
 Reçu Labo 2005-10-27

Paramètre(s)	Préparation	No. séquence	Unité	Résultat
Cadmium dissous <small>QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 31138</small>	2005-10-31	146488	mg/L	0.0006
Chlorures <small>QC050-05 / colorimétrie thiocyanate Hg SM4500 Cl E / EPA105-A</small>	2005-11-01	146488	mg/L	43
Bioxyde de carbone libre (en CO2) <small>Résultat par calcul (avec pH et alcalinité) SM4500-CO2 D</small>	NA	NA	mg/L	6
Cobalt dissous <small>QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 31138</small>	2005-10-31	146482	mg/L	0.012
Chrome dissous <small>QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 31138</small>	2005-10-31	146485	mg/L	<0.001
Cuivre dissous <small>QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 31138</small>	2005-10-31	146482	mg/L	0.070

Certificat no. 157596 - Page 3 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:10 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.004/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-160630**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 758942
Votre #P1100-26102005
Référence

Matrice Eau a-terrain
Prélevé par M. RAYMOND

Lieu de MINES GASPÉ
prélèvement MURDOCVILLE

Prélevé le 2005-10-26
Reçu Labo 2005-10-27

Paramètre(s)

Méthode

Référence

Dureté calculée (en CaCO₃)

Résultat percolou (à partir du Ca et du Mg)

	No. séquence	NA
Dureté (en CaCO₃)	mg/L	480
Fer dissous	Préparation	2005-11-02
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-11-02
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	146962
Fer dissous	mg/L	0.08
Sulfures totaux (en H₂S)	Préparation	2005-11-03
QC018-02 / distillation (au bœsein), colorimétrie bleu méthylène	Analyse	2005-11-03
MA300-S 1.0 / SM4500-02 D	No. séquence	147126
Sulfures	mg/L H ₂ S	<0.04
Mercuré dissous	Préparation	2005-11-03
QC098-09 / Digestion acide, Dosage AA (vapeur froide)	Analyse	2005-11-03
SM3112 / MA200 Hg1.0	No. séquence	147151
Mercuré dissous	mg/L	<0.0001
Potassium dissous	Préparation	2005-11-02
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-11-02
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	146928
Potassium dissous	mg/L	2.0
Magnésium dissous	Préparation	2005-11-03
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-11-03
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	147132
Magnésium dissous	mg/L	5.9

Certificat no. 157596 - Page 4 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:11 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.005/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-160630**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 758942
Votre Référence #P1100-26102005
Matrice Eau s-terreine
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélevement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-26
Reçu Labo 2005-10-27

Paramètre(s)		
Manganèse dissous		
Préparation	2005-11-02	
Analyse	2005-11-02	
No. séquence	147033	
Manganèse dissous	mg/L	0.08
Molybdène dissous		
Préparation	2005-10-31	
Analyse	2005-10-31	
No. séquence	148463	
Molybdène dissous	mg/L	0.38
Sodium dissous		
Préparation	2005-11-02	
Analyse	2005-11-02	
No. séquence	148823	
Sodium dissous	mg/L	23
Nickel dissous		
Préparation	2005-10-31	
Analyse	2005-10-31	
No. séquence	148488	
Nickel dissous	mg/L	0.014
Oxygène dissous		
Préparation	2005-10-27	
Analyse	2005-10-27	
No. séquence	148169	
Oxygène dissous	mg/L O2	2.3
Plomb dissous		
Préparation	2005-10-31	
Analyse	2005-10-31	
No. séquence	148501	
Plomb dissous	mg/L	<0.001

Certificat no. 157396 - Page 5 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:11 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.006/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9558

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-160630**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 758942
Votre #P1100-28102005
Référence

Matrice Eau s-terraine
Prélevé par M. RAYMOND

Lieu de MINES GASPÉ
prélèvement MURDOCVILLE

Prélevé le 2005-10-26
Reçu Labo 2005-10-27

Paramètre(s)	Préparation	2005-10-27
pH	Préparation	2005-10-27
QC021-02 / pH-mètre (avec sonde compensatrice de température)	Analyse	2005-10-27
MA 100-pH1.1 / SM4500-H+ B	No. séquence	146140
pH		7.5
Antimoine dissous	Préparation	2005-11-01
QC050-02 / Digestion acide (au besoin), dosage génération d'hydruure par AA	Analyse	2005-11-01
SM3114C	No. séquence	146798
Antimoine dissous	mg/L	0.003
Sélénium dissous	Préparation	2005-11-03
QC050-02 / Digestion acide (au besoin), dosage génération d'hydruure par AA	Analyse	2005-11-03
SM3114C	No. séquence	147247
Sélénium dissous	mg/L	0.001
Solides dissous totaux	Préparation	2005-10-28
QC026-06 / Séchage à 100°C, Gravimétrie	Analyse	2005-10-31
SM 2540 C	No. séquence	146282
Solides dissous totaux	mg/L	710
Turbidité	Préparation	2005-10-27
QC022-06 / turbidimétrie	Analyse	2005-10-27
SM2130B	No. séquence	146128
Turbidité	UTN	0.6
Zinc dissous	Préparation	2005-11-02
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-11-02
MA 200 Met.1.0, SM 3111B ou E	No. séquence	146854
Zinc dissous	mg/L	0.10

Certificat no. 157596 - Page 6 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:11 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.007/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.ns.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-160630**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 758942
Votre #P1100-26102005
Référence

Matrice Eau e-terrine
Prélevé par M. RAYMOND

Lieu de MINES GASPÉ
prélèvement MURDOCVILLE

Prélevé le 2005-10-26
Reçu Labo 2005-10-27

Paramètre(s)Méthode
Référence**Commentaire:**

758942 #P1100-26102005 Présence de la bactérie du fer Naumanella sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Christian Robert
 Chimiste



Certificat no. 157596 - Page 7 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques où selon les instructions écrites du client.

NOV.09'2005 10:12 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #3733 P.008/008

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-nt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-160630**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

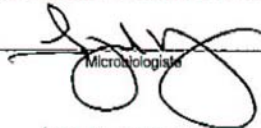
No Labo. 768942
Votre Référence #P1100-26102005
Matrice Eau s-terrine
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélevement MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le 2005-10-26
Reçu Labo 2005-10-27

Paramètre(s)	
Méthode	
Référence	
Bactéries du fer	Analyse 2005-10-28
Bactéries cu fer	
Bactéries cu fer - SM-9240D	No. séquence NA
Bactéries du fer	NPP/100 mL 170

Commentaire:

768942 #P1100-26102005 Présence de la bactérie du fer Naumaniella sp.

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.


 Microbiologiste

Lynda Rodrigue M.Sc.
 microbiologiste

Certificat no. 157586 - Page 8 de 8

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

DEC.05'2005 10:23 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #7343 P.001/002

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande d'analyse: **05-162132**

Demande d'analyse reçue le: 9 novembre, 2005

Date d'émission du certificat: 15 novembre, 2005

Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant**M. JASMIN RAYMOND**124 RUE DES CRANS
LAC DELAGE, Québec, Canada
G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	MINE GASPÉ MURDOCVILLE	M. JASMIN RAYMOND

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.
 ND : non-déTECTÉ NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 158437 - Page 1 de 2

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

DEC.05'2005 10:24 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #7343 P.002/002

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-ml.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-162132**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	MINE GASPÉ MURDOCVILLE	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo.	766786	766786
Votre Référence	P1100-19102005 (755077)	P1100-26102005 (758042)
Matrice	Eau s-terrain	Eau s-terrain
Prélevé par	VOTRE REPRÉSENTANT	VOTRE REPRÉSENTANT
Lieu de prélevement	MINES GASPÉ MURDOCVILLE	MINES GASPÉ MURDOCVILLE
Prélevé le	2005-10-19	2005-10-28
Reçu Labo	2005-11-09	2005-11-09

Paramètre(s)

Microbia

Référence

SulfatesQC031-95 / turbidimétrie
SM4500-SO4 E

Sulfates

Préparation	2005-11-14	2005-11-14
Analyse	2005-11-14	2005-11-14
No. séquence	148548	148549
mg/L	320	350

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Christian Robert
Chimiste



Certificat no. 158437 - Page 2 de 2

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 90 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

DEC.05'2005 14:22 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #7359 P.001/004

Bodycote ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC. www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyse

Numéro de demande d'analyse: **05-163453**
 Demande d'analyse reçue le: 22 novembre, 2005
 Date d'émission du certificat: 30 novembre, 2005
 Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant

M. JASMIN RAYMOND

124 RUE DES CRANS
 LAC DELAGE,, Québec, Canada
 G0A4P0

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.
 ND : non-défecté NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Certificat no. 160258 - Page 1 de 4

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

DEC.05'2005 14:22 1 419 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #7359 P.002/004

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-nt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-163453**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 774132
Votre Référence #RCO-20112005
Matrice Eau surface
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ,
 MURDOCHVILLE
Prélevé le 2005-11-20
Reçu Labo 2005-11-22

Paramètre(s)		
Méthode		
Référence		
Argent dissous	Préparation	2005-11-26
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Met.1.D, SM 3111B ou E	Analyse	2005-11-26
	No. séquence	150608
	mg/L	<0.002
Aluminium dissous	Préparation	2005-11-25
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-11-25
	No. séquence	150186
	mg/L	0.02
Baryum dissous	Préparation	2005-11-25
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-11-25
	No. séquence	150128
	mg/L	0.03
Cadmium dissous	Préparation	2005-11-25
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-11-25
	No. séquence	150173
	mg/L	<0.0005
Cobalt dissous	Préparation	2005-11-25
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-11-25
	No. séquence	150189
	mg/L	0.005
Chrome dissous	Préparation	2005-11-25
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse	2005-11-25
	No. séquence	150176
	mg/L	<0.001

Certificat no. 190258 - Page 2 de 4

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

DEC.05'2005 14:23 1 419 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #7359 P.003/004

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-163453**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 774132
Votre Référence #RCC-20112005
Matrice Eau surface
Prélevé par M. RAYMOND
Lieu de prélèvement MINES GASPÉ,
MURDOCHVILLE
Prélevé le 2005-11-20
Reçu Labo 2005-11-22

Paramètre(s)	Préparation	2005-11-25
Cuivre dissous Méthode Référence CC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Analyse No. séquence	2005-11-25 150170
Cuivre dissous	mg/L	0.098
Dureté totale (en CaCO3) CC008-05 / complexométrie EDTA SM234CC	Préparation Analyse No. séquence	2005-11-23 2005-11-23 149952
Dureté totale (en CaCO3)	mg/L	300
Fer dissous CC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA MA 200 Mat.1.0, SM 3111B ou E	Préparation Analyse No. séquence	2005-11-26 2005-11-26 150619
Fer dissous	mg/L	<0.02
Manganèse dissous CC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Préparation Analyse No. séquence	2005-11-28 2005-11-28 150817
Manganèse dissous	mg/l	0.020
Molybdène dissous CC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Préparation Analyse No. séquence	2005-11-25 2005-11-25 150188
Molybdène dissous	mg/L	0.17
Nickel dissous CC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA SM 3113B	Préparation Analyse No. séquence	2005-11-25 2005-11-25 150179
Nickel dissous	mg/L	0.062

Certificat no. 160259 - Page 3 de 4

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

DEC.05'2005 14:23 1 418 871 9556

BODYCOTE ESSAIS DE MATERIAUX STE #7359 P.004/004

Bodycote

ESSAIS DE MATÉRIAUX CANADA INC.

www.na.bodycote-mt.com

1818, RTE DE L'AÉROPORT, STE-FOY, QUÉBEC CANADA G2G 2P8 • TÉL: (418) 871-8722 • FAX: (418) 871-9556

Certificat d'analyseNuméro de demande: **05-163453**Client: **M. JASMIN RAYMOND**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	NA	M. JASMIN RAYMOND

Échantillon(s)

No Labo. 774132
 Votre Référence #RCO-20112005
 Matrice Eau surface
 Prélevé par M. RAYMOND
 Lieu de prélèvement MINES GASPÉ, MURDOCHVILLE
 Prélevé le 2005-11-20
 Reçu Labo 2005-11-22

Paramètre(s)	Préparation	
Méthode	2005-11-25	
Référence	2005-11-25	
Plomb dissous	2005-11-25	
QC049-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage GFAA	Analyse	2005-11-25
SM 3113B	No. séquence	150182
Plomb dissous	mg/L	<0.001
Zinc dissous	2005-11-25	
QC048-02 / Filtration (membrane 0.45µm), dosage AA	Analyse	2005-11-25
MA 200 Met.1 D, SM 3111B ou E	No. séquence	150462
Zinc dissous	mg/L	0.025

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionnés.

Christian Robert
 Chimiste



Certificat no. 160258 - Page 4 de 4

Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du laboratoire. Les échantillons mentionnés plus haut seront conservés pendant 30 jours à partir de la date d'émission du Certificat, à l'exception des paramètres microbiologiques ou selon les instructions écrites du client.

Annexe 3- Reportage photographique



Photo 1. Forage du puits d'observation PO-115.

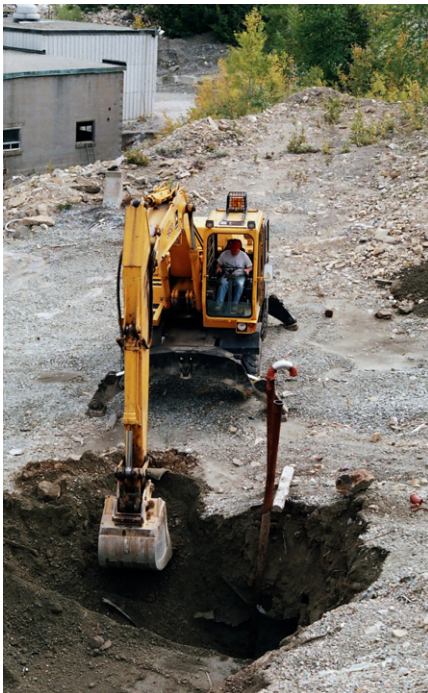


Photo 2. Excavation des sols au-dessus du puits 1100.



Photo 3. Visionnement de l'intérieur du puits 1100 à l'aide d'une caméra submersible.



Photo 4. Dessous de la plaque d'acier sous le capuchon de béton du puits 1100.



Photo 5. Paroi de roc à l'intérieur du puits 1100.



Photo 6. Ouverture du capuchon de béton au puits 1100.



Photo 7 et 8. Descente de la poutre d'acier dans le puits 1100.



Photo 9. Descente de la pompe submersible dans le puits 1100.



Photo 10. Installations de surface au puits 1100 lors de l'essai de pompage.



Photo 11. Décharge de l'eau souterraine pompée au puits 1100.



Photo 12. Mesure du débit d'eau pompée au compteur d'eau lors de l'essai de pompage.



Photo 13. Vue d'ensemble du site durant l'essai de pompage.



Photo 14. Vue d'ensemble du site après l'essai de pompage.



Photo 15. Boîte d'acier au-dessus de l'ouverture du puits 1100 après l'essai de pompage.



Photo 16 et 17. Équipements installés lors des travaux : enregistreur de données (gauche) et pluviomètre (droite).