

2009YE003-01

LES MINES JAG LTEE - RECHERCHE DE GAZ ET DE PETROLE ET MISE EN VALEUR DE LA PROPRIETE
CHARLEVOIX - RAPPORT SUR LEVE GRAVIMETRIQUE DES REGIONS DE BAIE-ST-PAUL ET ST-URBAIN

Documents complémentaires

Additional Files



Licence

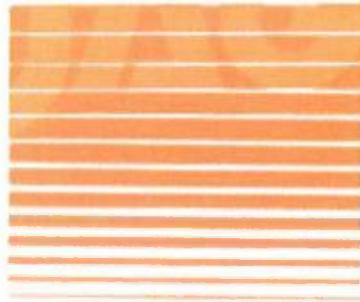


Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 



J.A.G. Mines Ltd

**Les Mines JAG Itée
Recherche de gaz et de pétrole
et mise en valeur
de la**

PROPRIÉTÉ CHARLEVOIX

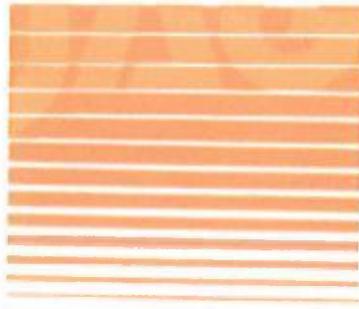
**Rapport sur le levé gravimétrique des régions de
Baie-St-Paul et de St-Urbain**

RAPPORT préparé par :

Marc R.-LaFlèche, Ph.D. géo

INRS-ETE

Septembre 2009



J.A.G. Mines Ltd

Les Mines JAG Itée
Recherche de gaz et de pétrole
et mise en valeur
de la

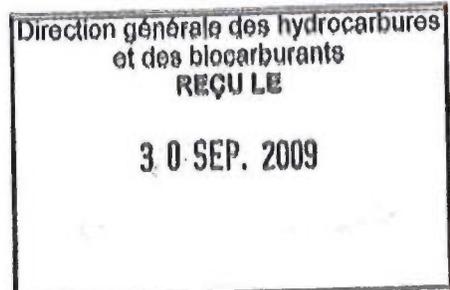
PROPRIÉTÉ CHARLEVOIX

Rapport sur le levé gravimétrique des régions de
Baie-St-Paul et de St-Urbain

RAPPORT préparé par :

Marc R.-LaFlèche, Ph.D. géo

INRS-ETE



Septembre 2009

SOMMAIRE

Ce rapport présente les résultats d'un levé gravimétrique réalisé dans les parties ouest et sud-ouest de la propriété Charlevoix entre la fin février et le début de juin 2009. Le levé gravimétrique, réalisé dans les secteurs de Baie-St-Paul et St-Urbain, a permis de mesurer plus de 566 stations gravimétriques. Ces données ont été mesurées à l'aide d'un gravimètre CG5 de Scintrex. Un GPS RTK a été utilisé pour localiser les stations avec une précision centimétrique. Les données gravimétriques relatives mesurées par le CG5 ont été rattachées à la station gravimétrique 9353-1974 de Baie-St-Paul (réseau de normalisation canadien de gravimétrie).

La variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie de Bouguer (complète) montre la présence de hauts et creux gravimétriques correspondants à des éléments tectoniques reconnus dans la région. Ces données gravimétriques permettent de préciser certaines grandes caractéristiques géologiques du secteur du graben de la rivière du Gouffre.

Trois dépressions gravimétriques sont localisées le long de la vallée du Gouffre. Ces dépressions reflètent la présence d'unités lithologiques cambro-ordoviciennes dominées par la présence de roches calcaires et surmontées de dépôts quaternaires. Ces zones sédimentaires devraient être considérées comme zones d'exploration prioritaires dans la partie ouest de la propriété Charlevoix.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	6
1.1 LOCALISATION DE LA PROPRIÉTÉ CHARLEVOIX	7
1.2 PHYSIOGRAPHIE RÉGIONALE	9
2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	11
2.1 GÉOLOGIE	11
3. MÉTHODOLOGIE	13
3.1 LEVÉ GRAVIMÉTRIQUE (MÉTHODOLOGIE)	13
3.2 CORRECTION DES DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES	17
3.2.1 Correction pour l'effet de marée :	19
3.2.2 Correction pour la hauteur de l'instrument :	19
3.2.3 Correction pour la dérive instrumentale:	19
3.2.4. Calcul de la gravité absolue	20
3.2.5. Calcul de la gravité théorique (latitude)	20
3.2.6. Correction air libre (anomalie air libre)	21
3.2.7. Correction de Bouguer et de l'anomalie de Bouguer	21
4. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	23
4.1 Présentation des données en section	23
4.1.1 Section 1 (Littoral)	25
4.1.2 Section 2 (Terres agricoles au sud de Baie St-Paul)	26
4.1.3 Section 3 (zone urbaine de Baie St-Paul, sud de la route 138)	26

4.1.4	Section 4 (Baie-St-Paul : terre agricole et quartier résidentiel de la ville).	29
4.1.5	Section 5 (Baie-St-Paul : de l'usine d'épuration au chemin de l'Équerre).	29
4.1.6	Section 6 (Baie-St-Paul, terre agricole partie nord de la ferme Simard).	30
4.1.7	Section 7 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).	31
4.1.8	Section 8 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).	32
4.1.9	Section 9 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).	33
4.1.10	Section 10 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).	33
4.1.11	Section 11 (section de la côte à Matou, rang St-Georges).	34
4.1.12	Section 12 (St-Urbain : section agricole du côté nord de la route 138).	35
4.1.13	Section 13 (section agricole secteur de St-Urbain).	36
4.1.14	Section 14 (St-Urbain : secteur agricole).	36
4.1.15	Section 15 (St-Urbain : section de la rue Ste-Anne et de la côte St-Paul).	37
4.2	PRÉSENTATION DES DONNÉES EN PLAN	39
4.2.1.	Données altimétriques	40
4.2.2.	Gravité absolue	44
4.2.3.	Anomalie air libre	46
4.2.4.	Anomalie de Bouguer	48
4.2.4.1.	<i>Correction de terrain</i>	48
4.2.4.2.	<i>Anomalie de Bouguer complète</i>	50

4.3. ANOMALIE DE BOUGUER (DÉRIVÉE VERTICALE)	53
4.4. CONTINUITÉ VERTICALE VERS LE BAS DES VALEURS DE L'ANOMALIE DE BOUGUER COMPLÈTE	55
4.5. ÉCART-TYPE DES VALEURS MESURÉES PAR LE CG-5 ET IMPLICATIONS GÉOLOGIQUES.	59
5. DISCUSSION ET CONCLUSION	65
6. REMERCIEMENTS	68
7. RÉFÉRENCES	69

1. INTRODUCTION

La propriété Charlevoix fait partie d'un groupe de propriétés d'exploration gazière et pétrolière détenu par Les Mines JAG (Laroche et Richer-LaFlèche, 2006; Laroche et al., 2008). Le présent rapport présente les résultats d'un levé gravimétrique régional réalisé entre février 2009 et le début de juin 2009.

L'intervention de terrain et le protocole instrumental déployés dans cette étude visaient à documenter et évaluer la variabilité spatiale de la gravité dans les parties sud-ouest et ouest de la propriété Charlevoix (secteurs de Baie-St-Paul et de St-Urbain). L'identification d'anisotropies gravimétriques locales ou régionales est importante pour contraindre certaines interprétations géologiques qui sont pertinentes à l'étude du potentiel en hydrocarbures d'une région. Dans le cas des régions de Baie St-Paul et St-Urbain, la géologie du bassin de roches ordoviciennes est relativement mal documentée car relativement peu de travaux géologiques y ont été réalisés (Camiré et Richer-LaFlèche, 2007). De plus, le secteur de la vallée du Gouffre est recouverte d'une imposante couverture de sédiments quaternaires glacio-marins (Richer-LaFlèche et al., 2008). De plus, à l'exception d'un court sondage réalisé en bordure de l'estran de Baie-St-Paul, le secteur n'a pas fait l'objet de levés sismiques à forte pénétration ni d'implantation de puits d'exploration pétrolier ou gazier.

La localisation de hauts et de creux gravimétriques est un exercice fréquemment utilisé pour étudier le potentiel en hydrocarbures de séquences sédimentaires (ex. Jorgensen, 2004; Keto et Tianyou, 2006; Reeh et Aïfa, 2008). Les hauts gravimétriques correspondent souvent à des remontées du socle rocheux présent sous la couverture de roches sédimentaires. Parfois ils peuvent être associés à la présence de roches plutoniques ou volcaniques. Les creux gravimétriques sont souvent associés à des zones de failles avec présence de dépôts superficiels non consolidés ou à la présence d'unités lithologiques contenant des roches de faibles densités (ex. grès poreux, évaporite). L'identification de zones de faille à forte

continuité verticale est importante car ces dernières peuvent focaliser localement le transfert des hydrocarbures vers des réservoirs et dans certains cas permettre la formation de réservoirs par dolomitisation des roches carbonatées (dolomies hydrothermales) (ex. Davies et Smith, 2006).

Compte tenu de la géométrie particulière de la vallée du Gouffre, un levé linéaire au 250m d'intervalle a été réalisé le long de sections recoupant les différentes unités et structures régionales. Les principales sections sont orientées OSO-ENE. Des sections secondaires, orientées NNO-SSE, ont également été réalisées dans certains secteurs.

1.1 LOCALISATION DE LA PROPRIÉTÉ CHARLEVOIX

Mines JAG Itée détient trois propriétés d'exploration gazière et pétrolière dans la partie sud du Québec (Fig. 1). La propriété Charlevoix, située sur la rive nord du St-Laurent, occupe une partie importante de la région administrative de Charlevoix. Le périmètre de la propriété suit grossièrement la forme du bassin de roches paléozoïques qui s'étend de Baie St-Paul à la Malbaie.

La propriété Charlevoix occupe une zone de 39 258 hectares. Elle est située dans les unités sédimentaires ordoviciennes des grabens des rivières du Gouffre et de La Malbaie. Le secteur est relativement inexploré pour son potentiel en hydrocarbures. Même si elle en est éloignée géographiquement, on considère que la propriété Charlevoix fait partie du bassin des Basses-Terres du St-Laurent.

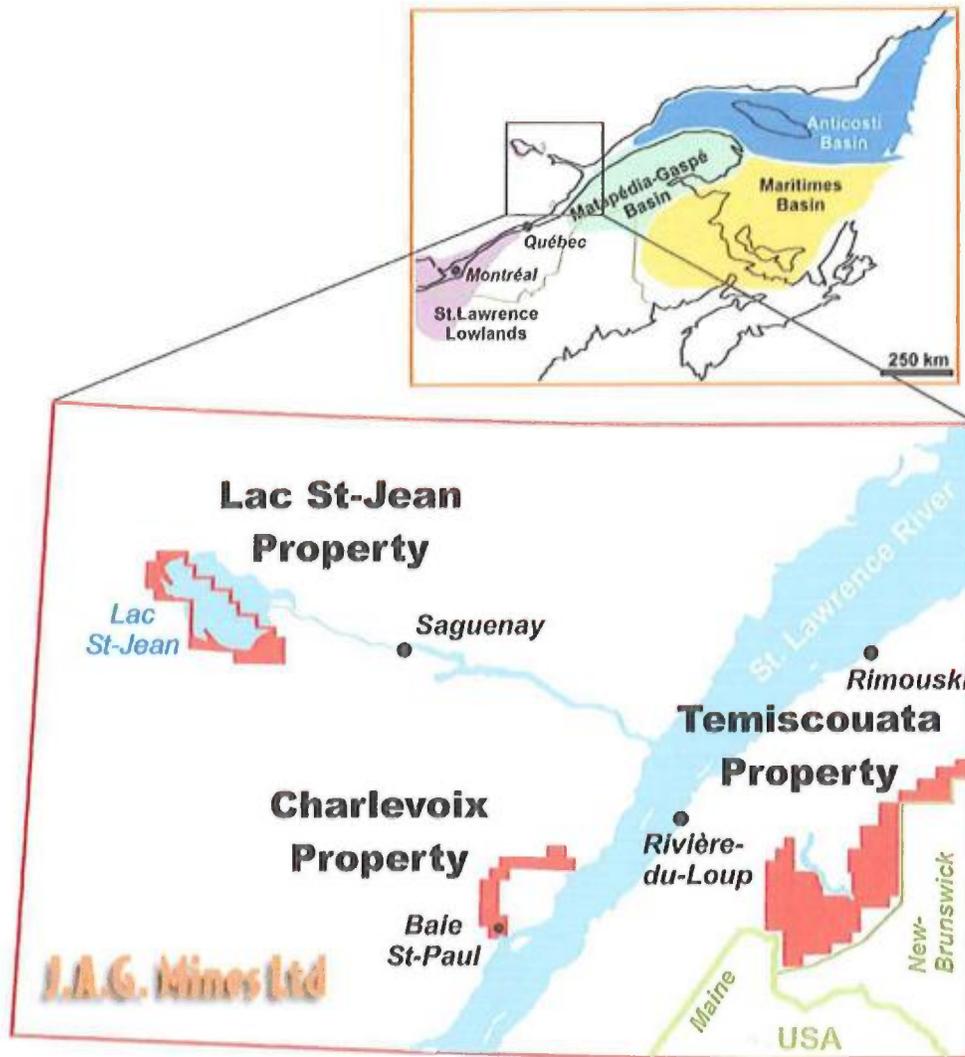


Figure 1. Localisation des trois propriétés de Mines JAG Itée dans le sud du Québec.

La propriété Charlevoix comprend les deux permis d'exploration # 2006PG844 et 2006PG845 (Fig. 2). Le permis 845 suit essentiellement la vallée du Gouffre entre Baie-St-Paul et St-Urbain. Le permis 844, orienté est-ouest, débute au nord de St-Urbain et se termine dans la municipalité de La Malbaie

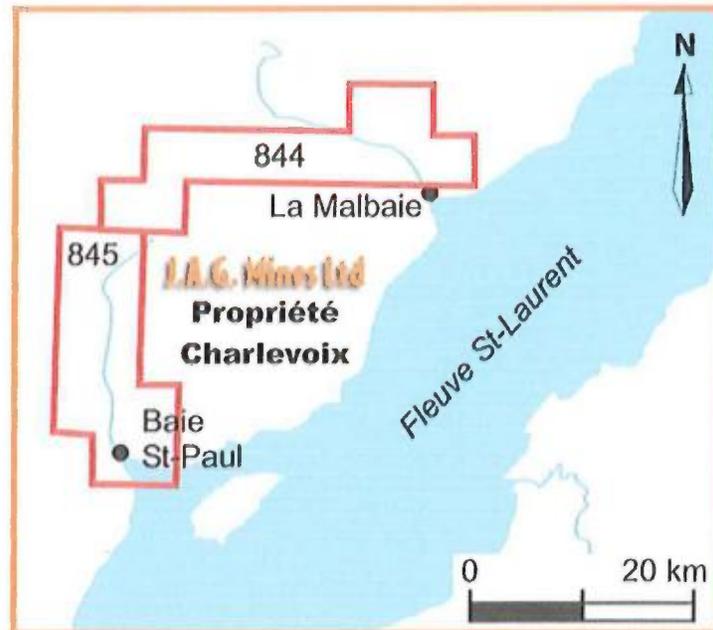
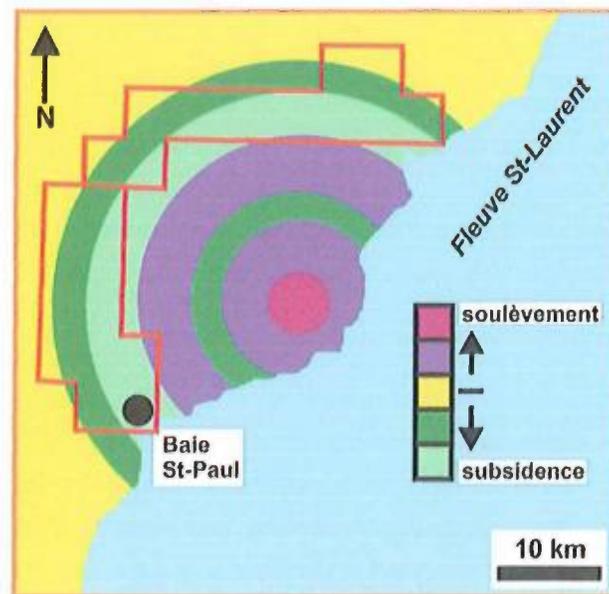


Figure 2. Localisation de la propriété Charlevoix, Les Mines JAG Ltée.

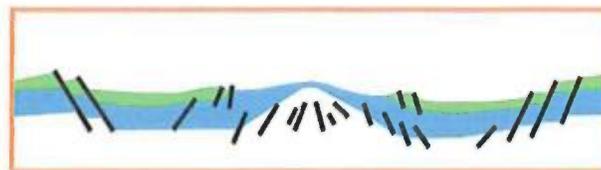
1.2 PHYSIOGRAPHIE RÉGIONALE

La région de Baie St-Paul présente une géomorphologie très complexe en raison de la multitude d'évènements géologiques ayant affectés la région depuis le précambrien tardif. Vers la fin du précambrien (1100 et 900 Ma), l'orogénèse grenvillienne termine le processus d'édification de chaînes de montagne affectant le bouclier canadien. Par la suite, des évènements distensifs reliés à l'ouverture de l'océan lapétus (vers 700 Ma) et localement des déformations appalachiennes reliées à la fermeture de l'océan lapétus (vers 450 Ma) ont affectés les roches situées en bordure du St-Laurent (Lemieux, 2001; Lamontagne et al., 2004). Vers 350 Ma, l'impact du météorite de Charlevoix provoque un affaissement généralisé des roches

du socle et de couverture présentes dans une structure annulaire marquant la partie externe du cratère météoritique de Charlevoix (ex. Lemieux, 2001) (Fig. 3). Dans sa partie centrale (secteur des Éboulements), le socle a subi une remontée de l'ordre kilométrique. Durant le Quaternaire, la vallée du Gouffre a été particulièrement affectée par les grandes glaciations continentales, l'activité fluviale et par des transgressions marines. Ces événements ont localement accentués le relief et ont permis l'accumulation de terrasses sédimentaires. Ces terrasses étagées sont constituées de dépôts graveleux, sablo-graveleux et sableux. Les parties les plus basses de la vallée du Gouffre contiennent des argiles marines parfois impliquées dans des glissements de terrain.



Géomorphologie
structure d'impact de Charlevoix



Modifié de Lemieux et al. (2003)

Figure 3. Géomorphologie de la propriété Charlevoix, Les Mines JAG Ltée (Modifié de Lemieux et al. (2003).

2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

2.1 GÉOLOGIE

La propriété Charlevoix est caractérisée par la présence de roches sédimentaires paléozoïques qui, malgré l'érosion, sont demeurées sur le socle précambrien. Ces roches ont été préservées dans une zone d'effondrement de la plateforme autochtone des Basses-Terres du Saint-Laurent. Ces roches sédimentaires de plateforme sont présentes juste au nord de la limite des roches sédimentaires allochtones du front des Appalaches (Fig. 4). La région de Charlevoix est aussi caractérisée par la présence d'un cratère d'impact météoritique d'âge Dévonien¹, vieux d'environ 350 Ma. Le météorite a causé un effondrement marqué du socle et de la plateforme dans la partie externe de la structure d'impact (Fig. 3 et 5).

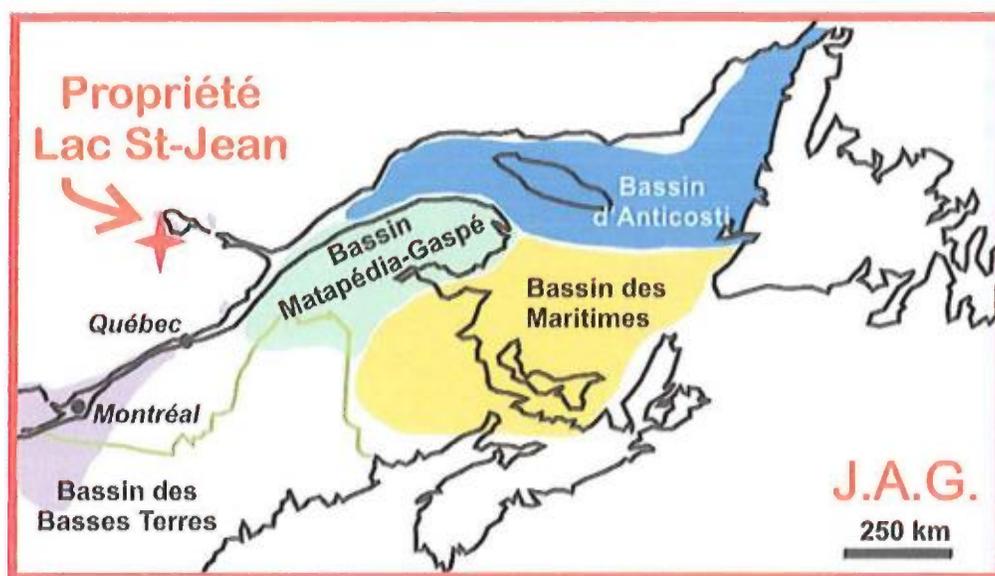
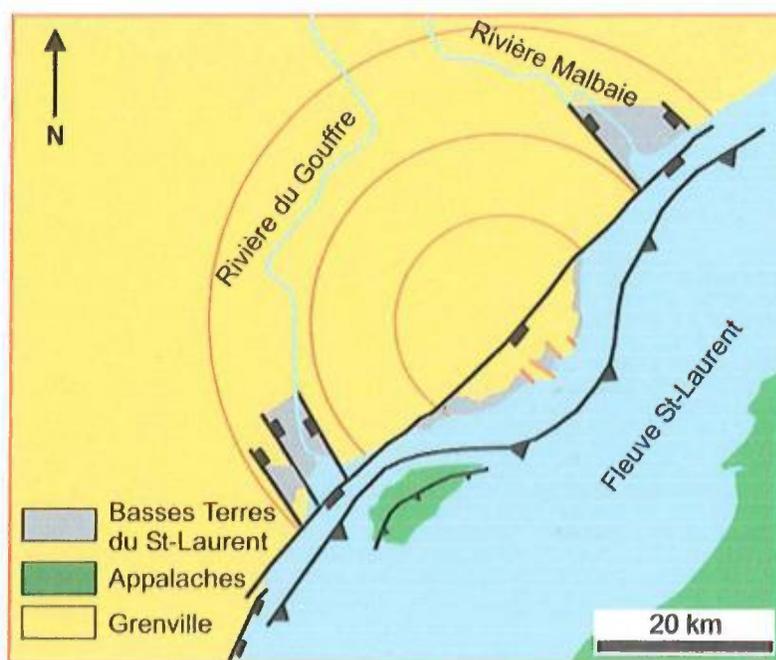


Figure 4.. Carte des principaux bassins sédimentaires paléozoïques du sud du Québec et des provinces maritimes de l'est du Canada.

Les roches sédimentaires siliciclastiques et les calcaires des Basses-Terres du Saint-Laurent ont été déposés au Paléozoïque (Ordovicien) sur le socle cristallin d'âge protérozoïque de la province de Grenville. D'autres séquences de roches sédimentaires ordoviciennes ont ensuite été juxtaposées sur cet ensemble lors de l'orogène appalachien (affleurant au sud à l'Île-aux-Coudres).

JAG cherche ici à explorer le potentiel en hydrocarbures de ces séquences de roches sédimentaires préservées de l'érosion et qui seraient semblables à celles retrouvées ailleurs dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, un bassin dans lequel ont été découverts et exploités les gisements de gaz naturel de St-Flavien et de Pointe-du-Lac.



Modifié de Lemieux et al. (2003)

Figure 5. Géologie de la propriété Charlevoix, Les Mines JAG Ltée (figure tirée de Laroche et Richer-LaFlèche, 2006).

3. MÉTHODOLOGIE

3. 1 LEVÉ GRAVIMÉTRIQUE (MÉTHODOLOGIE)

Dans le cadre de ce projet nous avons réalisé un levé gravimétrique totalisant 566 stations. Un gravimètre de type CG5 de la compagnie Scintrex (Ontario, Canada) a été utilisé (modèle 2009) (Fig. 6). Cette nouvelle génération de gravimètre permet entre autre une saisie des données automatisée permettant l'enregistrement de milliers de données gravimétriques pour une seule station. Dans certaines situations, ces données peuvent être filtrées à l'aide de transformées de Fourier afin d'éliminer les perturbations reliées à certaines vibrations du sol (ondes sismiques, vibrations anthropiques). Ce filtrage des données permet l'obtention de données gravimétriques de qualité.



Figure 6.. Gravimètre CG5 (Scintrex) utilisé pour le gravimétrie à Baie St-Paul et St-Urbain.

Afin d'obtenir une qualité optimale des données, nous avons programmé le gravimètre CG5 dans un mode d'acquisition avec 5 réplicats de 45 secondes par station. Un filtre sismique ainsi qu'une correction de marée ont été automatiquement calculés par le processeur du CG5.

Le levé dans les parties ouest et sud-ouest de la propriété Charlevoix a été relativement complexe en raison du très fort dénivelé topographique et d'une vibration résiduelle fréquemment élevée du sol dans les parties basses de la vallée de la Rivière du Gouffre. Ces secteurs sont souvent recouverts d'une importante couche de dépôts non consolidés riches en argiles marines.

Pour les secteurs où le sol était mou (terres agricoles), nous avons utilisé un trépied en acier. Ce trépied a été enfoui dans le sol à l'aide d'une masse (environ 30 cm de profondeur).

Pour le déplacement sur la propriété Charlevoix, nous avons utilisé un camion avec cabine fermée pour protéger l'équipement du vent, de la neige, de la pluie et du froid (Fig. 7) Le camion était muni d'un système DGPS avec écran cartographique de navigation marine permettant de vérifier la localisation des stations (mesure de l'espacement entre les stations).

En l'absence de chemins carrossables dans les coteaux et dans certains secteurs montagneux, situés du côté ouest de la vallée du Gouffre, nous avons réalisé des levés gravimétriques à pied.



Figure 7. Véhicules utilisés lors du levé gravimétrique à Baie St-Paul.

À chacune des stations, nous avons enfoncé un piquet de bois numéroté pour faciliter l'identification la localisation précise de la station gravimétrique.

La figure 8 montre la station de base du système RTK ProMark 500 (Magellan) utilisé lors du levé gravimétrique. L'antenne émettant le signal correctif est de type Pacific Crest. La précision est de l'ordre du centimètre et parfois mieux. Pour l'arpentage des différentes stations gravimétriques, nous avons utilisé plusieurs stations géodésiques du Gouvernement du Québec. Localement nous avons également utilisé des stations géodésiques de la ville de Baie St-Paul.



Figure 8. Figure montrant la station de base RTK ProMark 500 de Magellan et la station émettrice Pacific Crest utilisées lors du levé gravimétrique.

3.2 CORRECTION DES DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES

Les données gravimétriques enregistrées par le gravimètre CG5 sont de type relatives. Pour obtenir des données absolues, nous avons normalisé nos données par rapport à la valeur de gravité absolue de la station 9353-1974 du réseau de normalisation canadien de gravimétrie (Commission géologique du Canada). La station 9353-1974 a une valeur de 980802,220 mgals. Elle est située dans la ville Baie St-Paul et plus précisément au pied de l'escalier sud de l'église catholique du centre ville. Pour établir la valeur de la station de base INRS de Baie St-Paul (station *Baie St-Paul-99999*) nous avons fait plusieurs cycles de lecture des stations 9353-1974 et *Baie St-Paul-99999* dans une journée. Après correction des données pour la dérive instrumentale et l'effet de marée, nous avons fixé une valeur de 980802, 8951 mgals à la station de base *Baie-St-Paul-99999*. Notez que la station *Baie-St-Paul-99999* est située à la coordonnée (UTM-Nad83) 385948,7E et 5255295 N et son altitude est de 16,04m (stationnement de l'école secondaire de Baie St-Paul).

Les données gravimétriques brutes, enregistrées par le gravimètre CG5, ont été transférées dans un ordinateur. Ces dernières ont été regroupées en fonction du numéro de la station, de la journée d'acquisition et de l'heure GMT.

Une fois les données transférées et vérifiées, pour éliminer les erreurs de numérotation ou pour détecter des données aberrantes en raison de problèmes d'instabilité du gravimètre, les corrections suivantes ont été apportées aux données gravimétriques:

- 1) correction pour l'effet de marée
- 2) correction pour la hauteur de l'instrument
- 3) correction pour la dérive instrumentale
- 4) calcul de la gravité absolue
- 5) calcul de la gravité théorique (latitude)
- 6) calcul de la correction air libre et de l'anomalie air libre
- 7) calcul de la correction de Bouguer et de l'anomalie de Bouguer
- 8) calcul de l'anomalie de Bouguer complète incluant la correction de terrain

Pour plus d'informations sur ces corrections le lecteur peut consulter les ouvrages de Cogbill (1990) et de Hinze et al. (2003, 2005).

3.2.1 Correction pour l'effet de marée :

Nous avons utilisé le programme interne du gravimètre CG5 pour calculer la correction de marée. Cette dernière a été calculée en fonction de la date, de l'heure GMT et de la position des stations de mesure.

3.2.2 Correction pour la hauteur de l'instrument :

L'équation suivante a été utilisée pour corriger les données gravimétriques pour compenser l'effet d'élévation du gravimètre par rapport au niveau du sol.

$$R_h = R_t + 0,30859 * H_i$$

R_h : Valeur corrigée (en mgals) pour compenser la hauteur de l'instrument

R_t : Valeur corrigée (en mgals) pour compenser l'effet de marée sur la mesure gravimétrique enregistrée par le gravimètre CG5

H_i : Hauteur de l'instrument par rapport au niveau du sol (en mètres)

3.2.3 Correction pour la dérive instrumentale:

Pour compenser la dérive instrumentale reliée au mécanisme interne du gravimètre CG5 nous avons appliqué une dérive linéaire basée sur la différence de valeur mesurée à la station de base entre le début et la fin d'un cycle d'acquisition. Cette dérive est exprimée en mgals par unité de temps. Pour une mesure prise à l'intérieur du cycle d'acquisition, la valeur de la correction est donnée par la formule suivante :

$$Cor_{der} = Dérive * Temps$$

Cor_{der} : correction de dérive (en mgals)

$Dérive$: en mgals/unité de temps

$Temps$: temps depuis le début du cycle d'acquisition (heure décimale).

Cette valeur de correction est soustraite à la mesure de gravité corrigée pour la hauteur de l'instrument et pour l'effet de marée.

3.2.4. Calcul de la gravité absolue

La gravité absolue d'une station est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$G_a = G_{b1} + (R_h - R_{b1}) - (T - T_{b1})D$$

G_a : Gravité absolue (en mgals)

G_{b1} : Gravité absolue de la station de base (en mgals)

R_h : Valeur mesurée de la gravité corrigée pour la hauteur de l'instrument à la station de mesure (en mgals)

R_{b1} : Valeur mesurée à la station de base (en mgals)

T : Heure de lecture à la station de mesure (en heure décimale)

T_{b1} : Heure de lecture de la station de base (en heure décimale)

D : Dérive instrumentale (en milligals / heure décimale)

3.2.5. Calcul de la gravité théorique (latitude)

Pour compenser l'effet de la latitude sur la valeur de la gravité mesurée à une station nous avons utilisé l'équation suivante :

$$G_l = 978032,7 * (1 + 0,0053024 \sin^2(l) - 0,0000058 \sin^2(2l))$$

G_l : Gravité théorique en milligals (correction de latitude)

l : latitude géodésique de la station (à multiplier par $\pi / 180$)

Cette correction résulte de la distorsion elliptique de la Terre reliée à sa rotation et en partie à la force centrifuge qui est maximale à l'équateur et nulle aux pôles. Entre l'équateur et le pôle nord, cette différence est de 5185,9 mgals.

3.2.6. Correction air libre (anomalie air libre)

L'attraction gravitationnelle diminue en fonction du carré de la distance verticale en s'élevant au dessus du niveau de la mer. Pour compenser ce phénomène nous devons appliquer une correction dite de l'air libre (*Free Air Effect*).

L'équation que nous avons utilisée pour calculer l'anomalie air libre est la suivante :

$$G_{FA} = G_A - G_l + 0,308596 \cdot h_s$$

G_{FA} : Anomalie air libre (mgals)

G_A : Gravité absolue (en mgals)

G_l : Correction de latitude (en mgals)

h_s : Élévation de la station de mesure (en mètres)

3.2.7. Correction de Bouguer (anomalie de Bouguer)

L'anomalie de Bouguer observée sur les cartes gravimétriques peut provenir de plusieurs sources. Par exemple, ces sources peuvent être des structures très profondes associées à des variations dans le socle métamorphique présent sous un bassin sédimentaire paléozoïque. Des éléments présents à des profondeurs intermédiaires comme des formations évaporitiques ou des roches plutoniques (formations de sel) incluses dans un empilement de roches sédimentaires peuvent aussi produire des anomalies gravimétriques. Finalement, dans de nombreux cas, des anomalies de plus faibles amplitudes sont associées à des éléments de faible profondeur comme des variations de l'épaisseur de mort-terrain pouvant être parfois associées à la présence de zones de faille.

D'une façon prévisible, plus la source de l'anomalie est profonde plus l'anomalie correspondante sera évasée.

L'équation générale suivante a été utilisée pour calculer l'anomalie de Bouguer. Notez que cette équation permet entre autre de tenir compte de l'effet de la glace et de l'eau lors d'un levé hivernal sur la glace d'un lac. Dans le cas présent, nous avons fixé h_w et $h_i = 0$ car le levé a été réalisé essentiellement sur des chemins de terre ou sur des routes asphaltées de la propriété Charlevoix.

$$G_{ba} = G_{fa} - 0,0419088 * (\rho h_s + (\rho_w - \rho) h_w + (\rho_i - \rho_w) h_i)$$

G_{ba} : anomalie de Bouguer (mgals)

G_{fa} : anomalie air librev(mgals)

ρ : densité de Bouguer des roches (g/cc)

ρ_w : densité de Bouguer de l'eau douce (g/cc)

ρ_i : densité de Bouguer de la glace (g/cc)

h_s : élévation de la station de mesure (m)

h_w : profondeur de la colonne d'eau (m)

h_i : épaisseur de la glace (m)

4. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

4.1 PRÉSENTATION DES DONNÉES EN SECTION

Dans cette partie du rapport, les sections sont présentées du sud vers le nord (stations 1 à 15). La première section longe le littoral de Baie St-Paul et la dernière est située dans le village de St-Urbain (section 15) (Fig. 9). Les sections présentées sont orientées grossièrement est-ouest (en réalité OSO-ENE). Sur les diagrammes, elles sont systématiquement présentées de l'est vers l'ouest. Pour simplifier l'interprétation des sections nous avons ajouté la localisation approximative du bassin de roches ordoviciennes et celle du socle précambrien. Cette localisation est approximative car en de nombreux endroits le pendage des calcaires est relativement faible. Ceci résulte en un passage très graduel du bassin sédimentaire ordovicien au socle gneissique de la région.

Les sections 1 à 15 permettent d'évaluer rapidement l'importance des contrastes topographiques sur le terrain et de juger de l'effet 'topographie' sur les données gravimétriques. Ceci est particulièrement évident en comparant l'altitude et les valeurs de l'anomalie air libre sur les sections. Aussi elles permettent d'évaluer l'efficacité des corrections apportées aux données gravimétriques lors du calcul de l'anomalie de Bouguer complète. Dans le cas présent, il est important de souligner que nous avons fixé à $2,67 \text{ g/cm}^3$ la densité moyenne des roches de la région. En réalité, nous ne connaissons pas avec exactitude la nature des roches et surtout l'épaisseur de sédiments quaternaires non-consolidés présents dans le fond de la vallée du Gouffre. Lorsque des données sur l'épaisseur des sédiments quaternaires seront disponibles (levés sismiques et tomographie géoélectrique) les valeurs de l'anomalie de Bouguer pourront être recalculées.

Localisation des sections gravimétriques

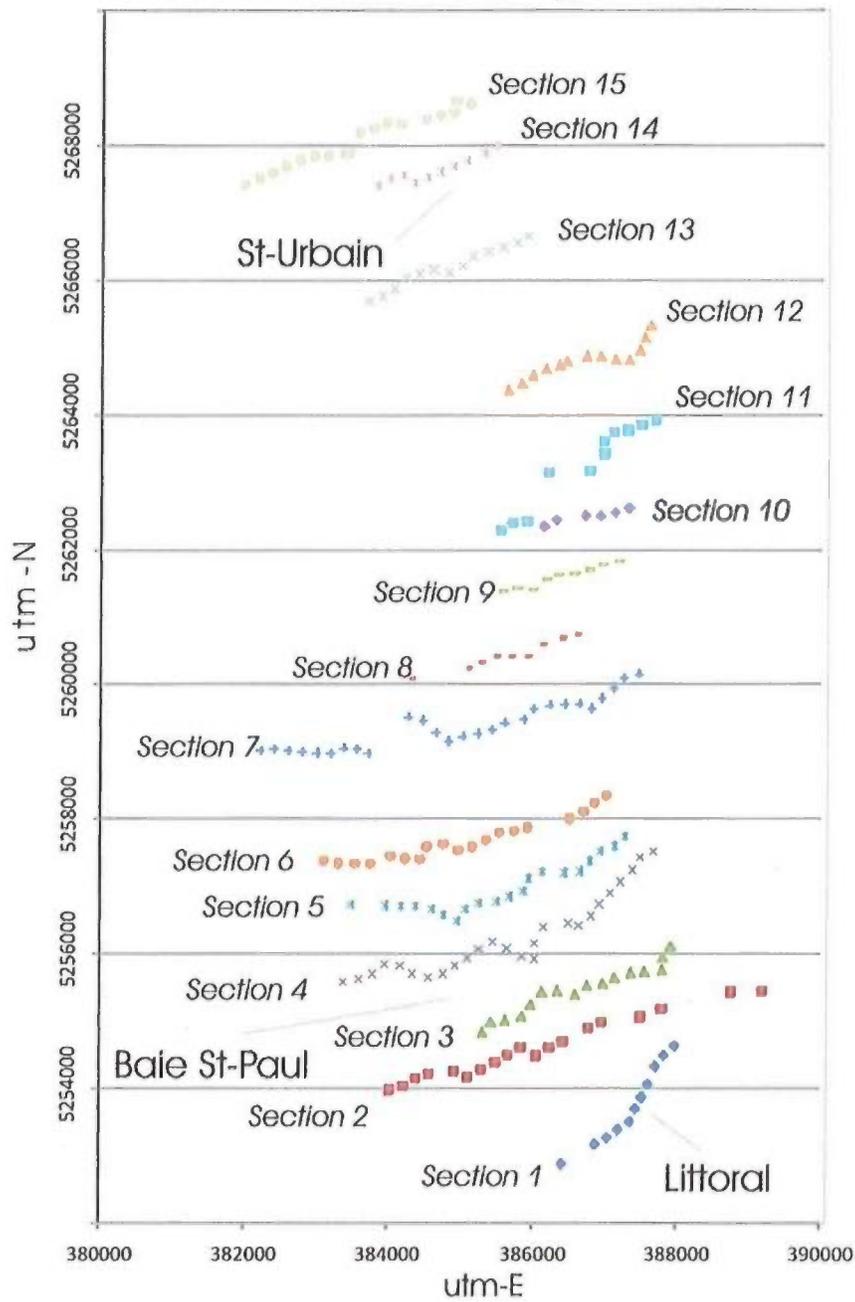


Figure 9. Carte de localisation des différentes sections gravimétriques est-ouest réalisées dans les régions de Baie-St-Paul et St-Urbain.

4.1.1 Section 1 (Littoral)

Cette section, située en bordure de mer (estran de Baie St-Paul) (Fig. 9 et 19), montre une variation d'altitude de 2,87 à 10,81m (Fig. 10). Le long de cette section, l'anomalie air-libre varie de -37,39 à -30,09 mgals et l'anomalie de Bouguer complète varie de -36,45 à -23,07 mgals. La plus haute valeur de l'anomalie de Bouguer complète est observée en fin de section (secteur ouest). L'augmentation abrupte de l'anomalie de Bouguer dans ce secteur indique nécessairement un fort contraste dans la distribution des matériaux géologiques du secteur. Dans le cas présent, l'augmentation rapide de l'anomalie de Bouguer correspond à l'approche d'une très forte anomalie du champ magnétique total interprétée comme une remonté probable du socle rocheux dans ce secteur (Richer-LaFlèche et Aznar, 2008).

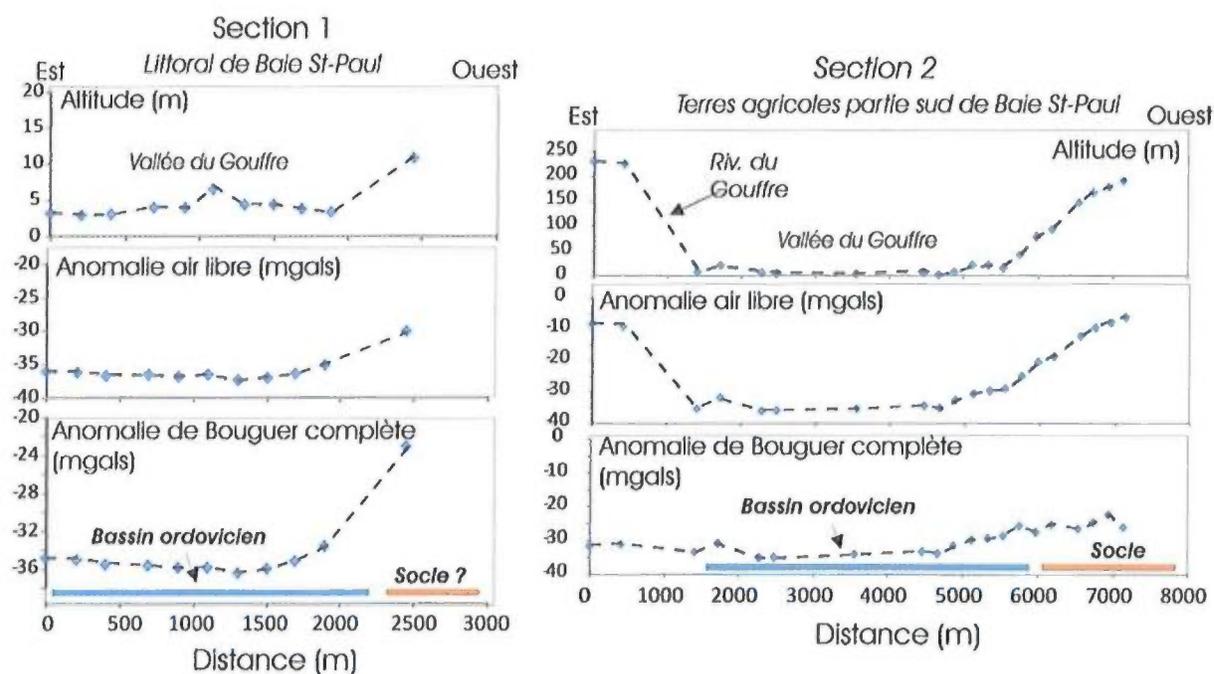


Figure 10. Sections 1 et 2 de la région de Baie St-Paul. La section 1 longe le littoral et la section 2 les terres agricoles de la partie sud de la ville de Baie-St-Paul.

4.1.2 Section 2 (Terres agricoles au sud de Baie St-Paul)

Cette longue section, de plus de 7 km, passe de part et d'autre de la vallée du Gouffre (Fig. 10). Elle débute dans la montagne à l'est de la vallée (Cap-aux-Rets) et se termine dans la montagne à l'ouest de la vallée (côte St-Antoine) (Fig. 9 et 19). Cette section passe dans les dernières terres agricoles au sud de la ville de Baie St-Paul. Le long de cette section, l'altitude varie de 2,1 à 231m. L'anomalie air libre varie de -36,49 à -6,37 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -35,22 à -22,50 mgals. La distribution des valeurs de l'anomalie de Bouguer souligne la présence d'un plateau de faibles valeurs dans la partie centrale de la vallée et des remontées des valeurs de l'anomalie de Bouguer aux extrémités est et ouest de la section (Fig. 10). Sur cette section, nous avons de plus localisé la position approximative du bassin de roches ordoviciennes dans ce secteur. La section semble recouper ce bassin sur une longueur d'environ 3,5 à 4 km.

4.1.3 Section 3 (zone urbaine de Baie St-Paul, sud de la route 138)

Cette section, d'environ 3,3 km de longueur, débute dans la partie sud-est de Baie St-Paul, traverse le centre-ville et se termine dans un secteur agricole. Le long de cette section, l'altitude varie de 6 à 122m. L'anomalie air libre varie de -36,23 à -20,96 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -37,11 à -30,93 mgals (Fig. 11). La distribution des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète montre un plateau dans la partie centrale de la section et des remontées aux extrémités est et ouest. La variation des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète suggère un passage plus abrupte du bassin de roches sédimentaires au socle gneissique du côté est que du côté ouest de la vallée du Gouffre. Ceci est compatible avec l'observation de forts pendages des roches calcaires dans le secteur du Cap-aux-Rets (Fig 12b). A l'opposé, nos observations géologiques montrent la présence de faibles pendages des roches calcaires dans le secteur de la côte St-Antoine (extrémité ouest de la section) (Fig. 12a).

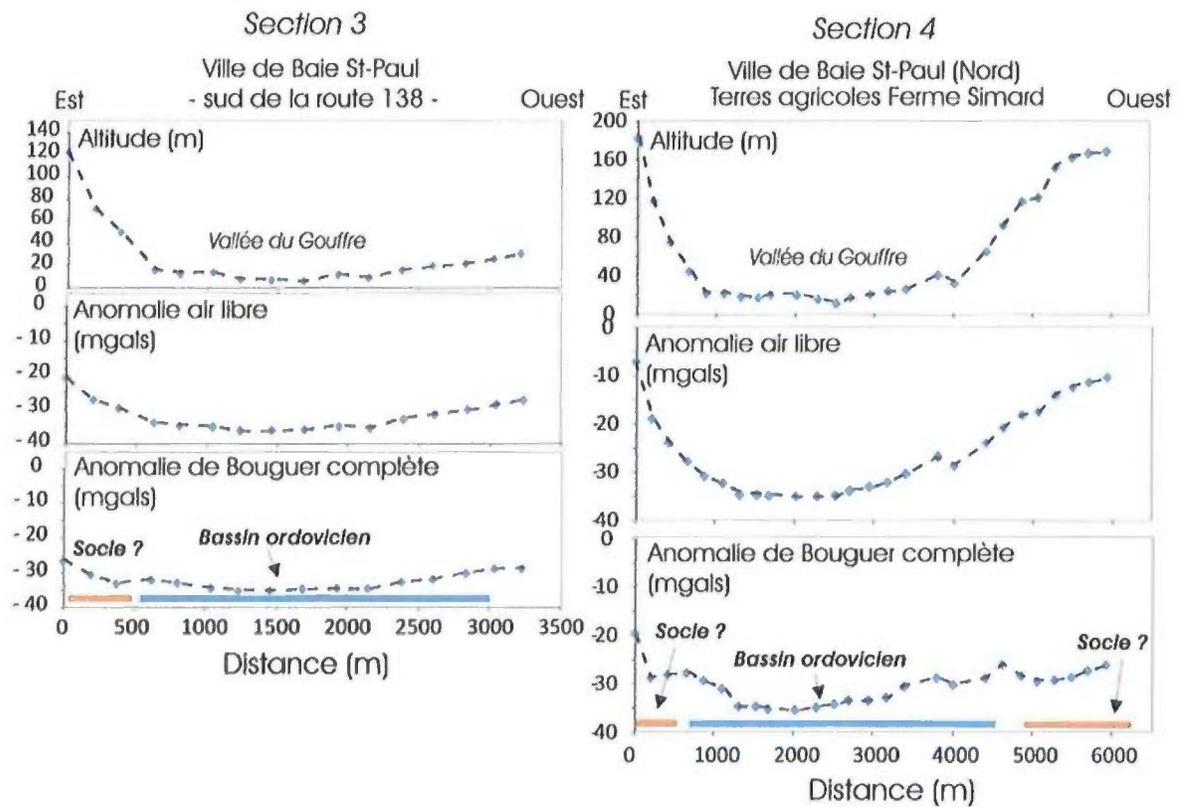


Figure 11. Sections 3 et 4 de la région de Baie St-Paul. La section 3 débute dans la partie sud-est de Baie St-Paul et traverse le centre-ville. La section 4 débute dans une zone agricole du côté est de Baie St-Paul et traverse la ville pour se terminer dans le secteur de la côte St-Antoine (vers l'ouest).



Figure 12. Variation du pendage des unités de roches calcaires des extrémités ouest (terre agricole au sud de la côte St-Antoine : A) et est (secteur du Cap-aux-Rets : B) de la vallée du Gouffre (secteur de Baie St-Paul).

4.1.4 Section 4 (Baie-St-Paul : terre agricole et quartier résidentiel de la ville).

Cette longue section, d'environ 6 km de longueur, débute sur des terres agricoles bordant le chemin St-Laurent, passe dans un quartier résidentiel de Baie St-Paul et se termine vers l'ouest dans le secteur de la côte St-Antoine (Fig. 9 et 19). Le long de la section, l'altitude varie de 10 à 182m. L'anomalie air libre varie de -35,20 à 7,27 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -37,34 à -27,64 mgals (Fig. 11). Ces valeurs montrent la présence d'une dépression gravimétrique correspondant probablement au bassin de roches ordoviciennes. Du côté ouest de la vallée du Gouffre, le changement des valeurs de l'anomalie de Bouguer est abrupt par opposition au côté est qui montre un passage graduel vers des valeurs plus élevées. Il serait possible que le passage du bassin sédimentaire ordovicien vers le socle précambrien soit affecté par la présence d'une faille dans ce secteur (Fig. 11).. L'examen des affleurements rocheux du côté de la Ferme du Gouffre (ch. St-Laurent) montre la présence de calcaires avec des pendages faibles à modérés vers l'ouest ce qui pourrait expliquer la lente augmentation des valeurs de l'anomalie de Bouguer vers l'est. Ce contexte diffère de celui observé plus au sud dans le secteur du Cap-aux-Rets.

4.1.5 Section 5 (Baie-St-Paul : de l'usine d'épuration au chemin de l'Équerre).

Cette section, d'environ 4,5 km de longueur, débute à l'est près de la station d'épuration des eaux usées et se termine le long du chemin de l'Équerre dans la partie ouest de la vallée du Gouffre. Le long de la section, l'altitude varie de 15,5 à 173m. L'anomalie air libre varie de -35,83 à -8,06 mgals. Ces valeurs varient de -35,05 à -26,05 mgals. Ces valeurs montrent également la présence d'une dépression correspondant vraisemblablement au bassin de roches sédimentaires ordoviciennes (Fig. 13). Ces dernières sont observées localement dans les coteaux situés du côté ouest de la vallée. Notez que la variabilité des valeurs de l'anomalie de Bouguer dans la partie ouest de la

section suggère un passage plus progressif vers les roches du socle précambrien. Le pendage devrait être moindre dans ce secteur.

4.1.6 Section 6 (Baie-St-Paul, terre agricole partie nord de la Ferme Simard).

Cette section, d'environ 4,3 km de longueur, débute dans le secteur de la ferme du Gouffre (ch. St-Laurent) et se termine en altitude dans le secteur du rang St-Gabriel (Fig. 9 et 19). Du côté ouest de la rivière du Gouffre, cette section passe sur les terres agricoles de la Ferme Simard. Le long de la section, l'altitude varie de 27 à 222 m. L'anomalie air libre varie de -32,81 à -5,06 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -34,26 à -23,00 mgals (Fig. 13).

La signature gravimétrique du socle précambrien est bien évidente à partir de 3000m le long de la section. La partie centrale de la vallée est marquée par la présence d'un creux gravimétrique formant un plateau avec une valeur moyenne de -34 mgals.

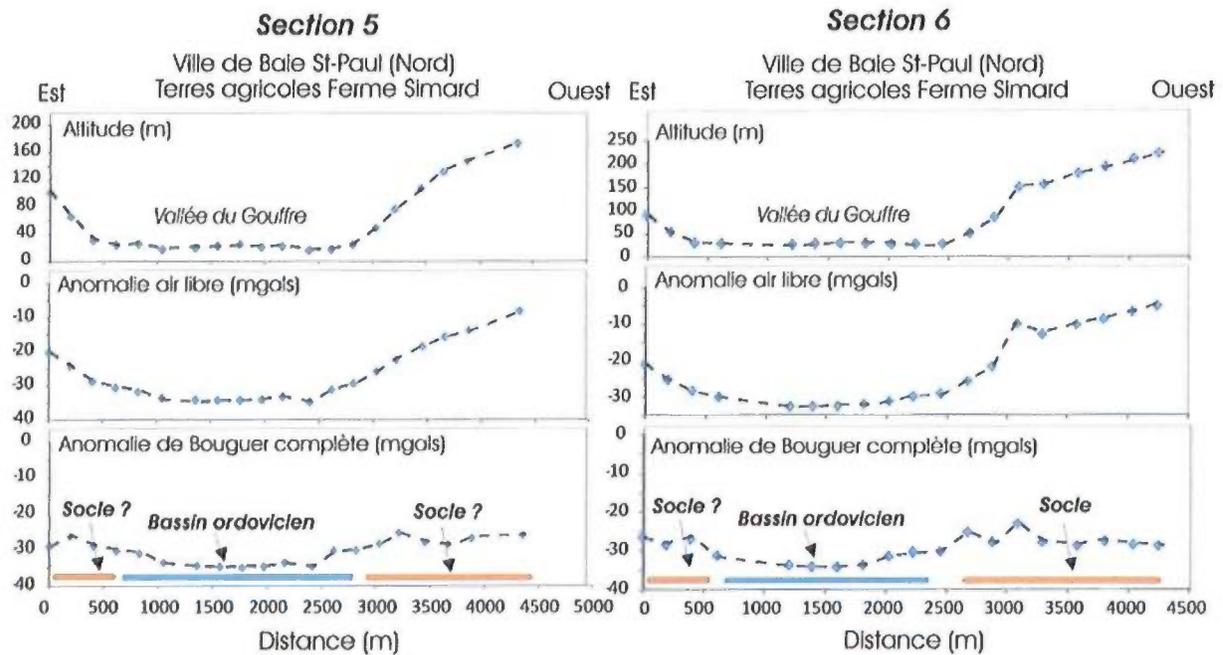


Figure 13. Sections 5 et 6 de la région de Baie St-Paul. Ces sections sont situées sur les terres agricoles de la Ferme Simard (partie nord de Baie-St-Paul).

4.1.7 Section 7 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).

Cette longue section, d'environ 6 km de longueur, débute dans la montagne Chez Amédée, traverse les zones agricoles de part et autre de la rivière du Gouffre et monte le cap de la Mare pour se terminer dans le rang St-Antoine (secteur du ruisseau de Louisbourg) (Fig. 9 et 19). Le long de la section, l'altitude varie de 25,9 à 232,9m. L'anomalie air libre varie de -30,78 à -2,88 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -31,90 à -24,6 mgals (Fig. 14). Ces valeurs montrent une grande variabilité de part et autre de la vallée. La partie centrale est encore marquée par la présence d'un creux gravimétrique. Ce dernier est bordé vers l'est et vers l'ouest par des hauts gravimétriques correspondants à la présence du socle précambrien en altitude. La largeur du bassin de roches ordoviciennes dans ce secteur semble être de l'ordre de 2,5 km.

4.1.8 Section 8 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).

Cette courte section agricole, d'environ 2,4 km de longueur (Fig. 9 et 19), débute du côté est de la rivière du Gouffre près du ch. St-Larent et se termine vers l'ouest dans le secteur de la rivière de la Mare (entre le cap de la Mare et le cap à Diamants). Le long cette section, l'altitude varie de 21,7 à 99,4m. L'anomalie air libre varie de -30,56 à -19,51 mgals (Fig. 14). Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -31,78 à -27,73 mgals. Ces valeurs montrent une faible variabilité dans ce secteur. Le premier kilomètre de la section semble occupé par la présence des roches calcaires ordoviciennes et le dernier 1,5 km vers l'ouest par un passage progressif au socle précambrien. La largeur du bassin sédimentaire ordovicien le long de la section 8 ne semble pas dépasser le kilomètre (Fig. 14).

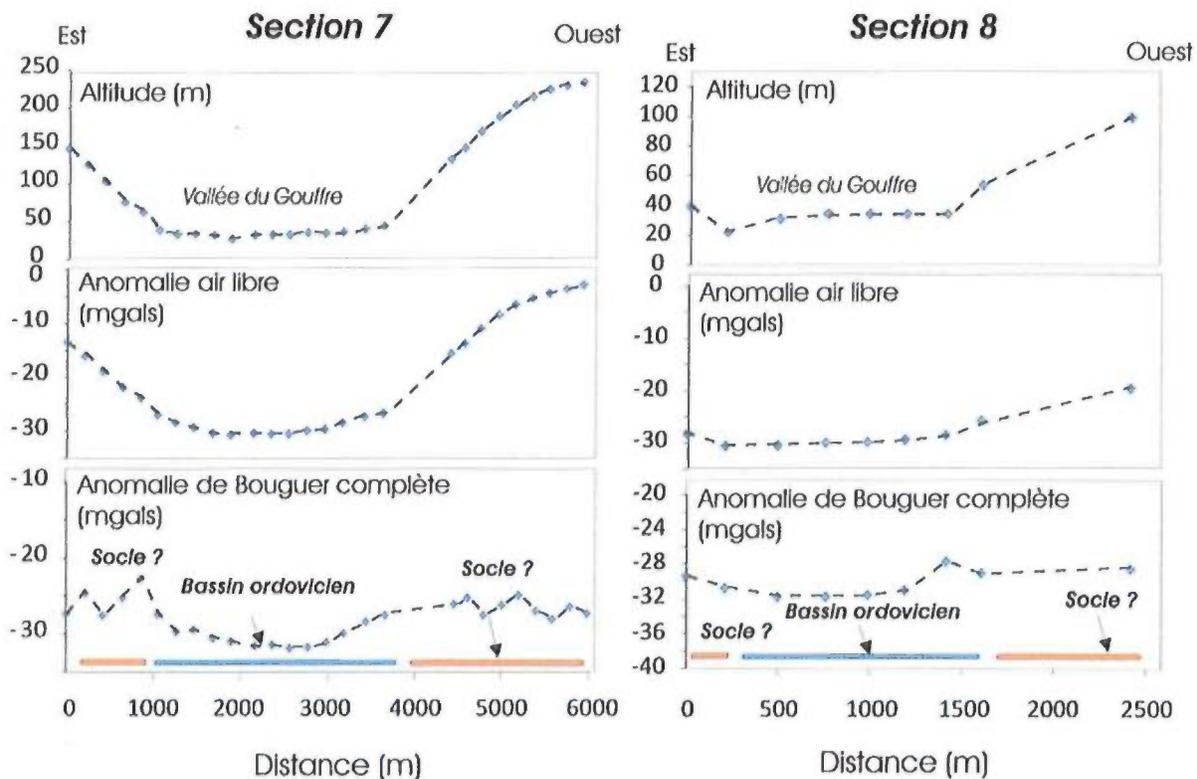


Figure 14. Sections 7 et 8 du secteur agricole au nord de Baie St-Paul. Ces sections passent sur des terres agricoles et se terminent vers l'ouest dans les secteurs du cap de la Mare et du cap à Diamants.

4.1.9 Section 9 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).

Cette courte section, d'environ 1,7 km, débute du côté est de la rivière du Gouffre et se termine sur une terre agricole vers l'ouest (Fig. 9 et 19). Le long cette section, l'altitude varie de 29,1 à 64,4m. L'anomalie air libre varie de -31,15 à -26,19 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -32,34 à -28,33 mgals (Fig. 15). Dans ce secteur les faibles valeurs d'anomalie de Bouguer complète correspondent vraisemblablement au bassin de roches sédimentaires. L'augmentation progressive de ces valeurs vers l'est suggère la présence du socle gneissique et ou d'un amincissement graduel de l'épaisseur des roches calcaires dans ce secteur.

4.1.10 Section 10 (Baie-St-Paul nord, secteur agricole).

Cette courte section, d'environ 1,9 km, débute du côté est de la rivière du Gouffre près du chemin St-Laurent et se termine vers l'ouest sur une terre agricole se terminant au pied du cap à Diamants (Fig. 9 et 19). Le long cette section, l'altitude varie de 33,2 à 62m. L'anomalie air libre varie de -32,46 à -27,63 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -33,99 à -30,85 mgals (Fig. 15).

Dans ce secteur les valeurs d'anomalie de Bouguer complète varient peu. Les valeurs sont relativement faibles ce qui serait compatible avec la prédominance du bassin de roches sédimentaires ordoviciennes. Vers 1700m le long de la section, les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète augmentent ce qui suggère la présence du socle dans ce secteur. Notez qu'une certaine épaisseur de roches sédimentaires peut tout de même reposer sur le socle à cet endroit.

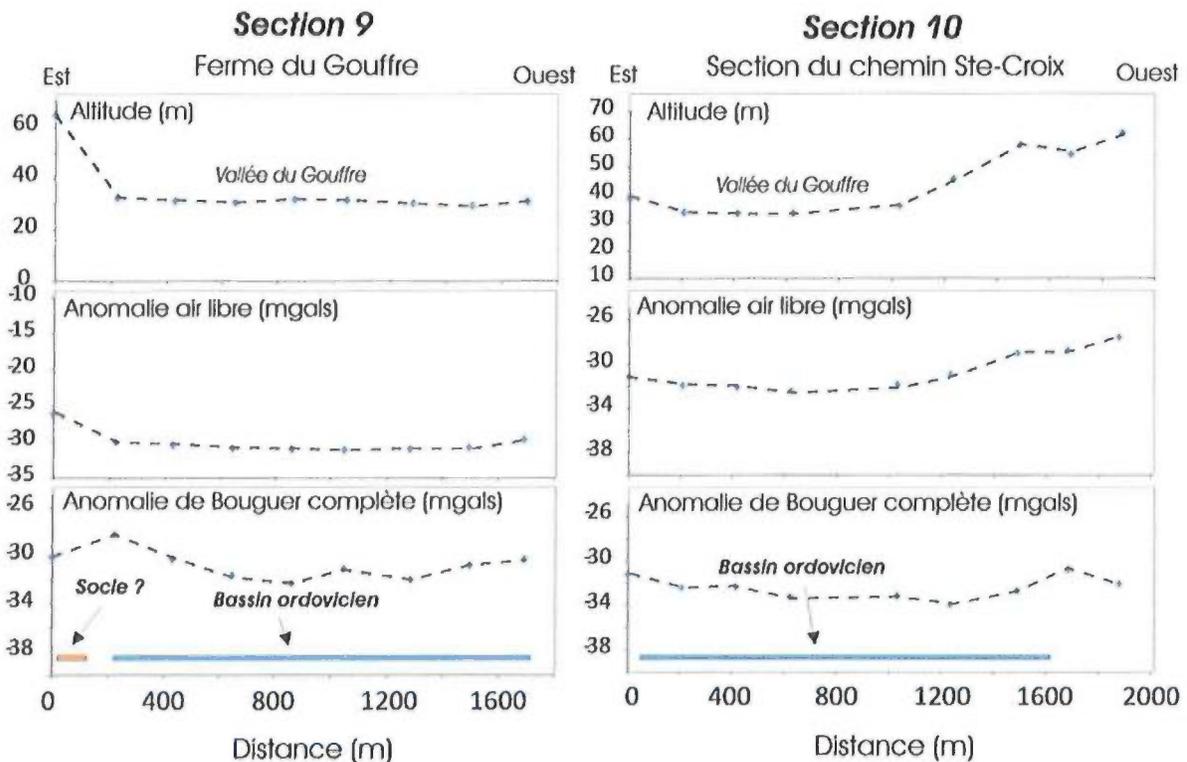


Figure 15. Sections 9 et 10 de la région de Baie St-Paul. La section 9 est située sur les terres de la Ferme du Gouffre et la section 10 le long du chemin Ste-Croix.

4.1.11 Section 11 (section de la côte à Matou, rang St-Georges).

Cette section, d'environ 3,1 km (Fig. 9 et 19), débute du côté est de la rivière du Gouffre le long de la route 138 dans le secteur de la côte à Matou et du rang St-Georges et se termine vers l'ouest de l'autre côté de la rivière du Gouffre et plus spécifiquement au pied de la montagne. Le long cette section, l'altitude varie de 34,5 à 147,3m. L'anomalie air libre varie de -32,98 à -19,46 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -34,47 à -30,85 mgals (Fig. 16).

Dans ce secteur les valeurs d'anomalie de Bouguer complète montrent une cassure vers 1250m. Cette dernière semble correspondre au début du bassin de roches sédimentaires. Ce bassin semble se prolonger jusqu'à 2600m (Fig 16). Par la suite, les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète remontent ce qui suggère la présence de roches du socle précambrien de ce côté de la vallée.

4.1.12 Section 12 (St-Urbain : section agricole du côté nord de la route 138).

Cette section, d'environ 2,5 km (Fig. 9 et 20), débute du côté est de la rivière du Gouffre dans un secteur agricole situé au nord de la route 138. Le long cette section, l'altitude varie de 32,2 à 169,7m. L'anomalie air libre varie de -38,61 à -20,22 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -42,42 à -39,20 mgals (Fig. 16). Les variations des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète dans ce secteur suggèrent la présence de roches sédimentaires ordoviciennes seulement à partir de 1300m (le long de la section). Notez qu'entre 0 et 1300m, les valeurs de l'anomalie de Bouguer sont trop élevées ce qui suggère la présence du socle précambrien dans ce secteur.

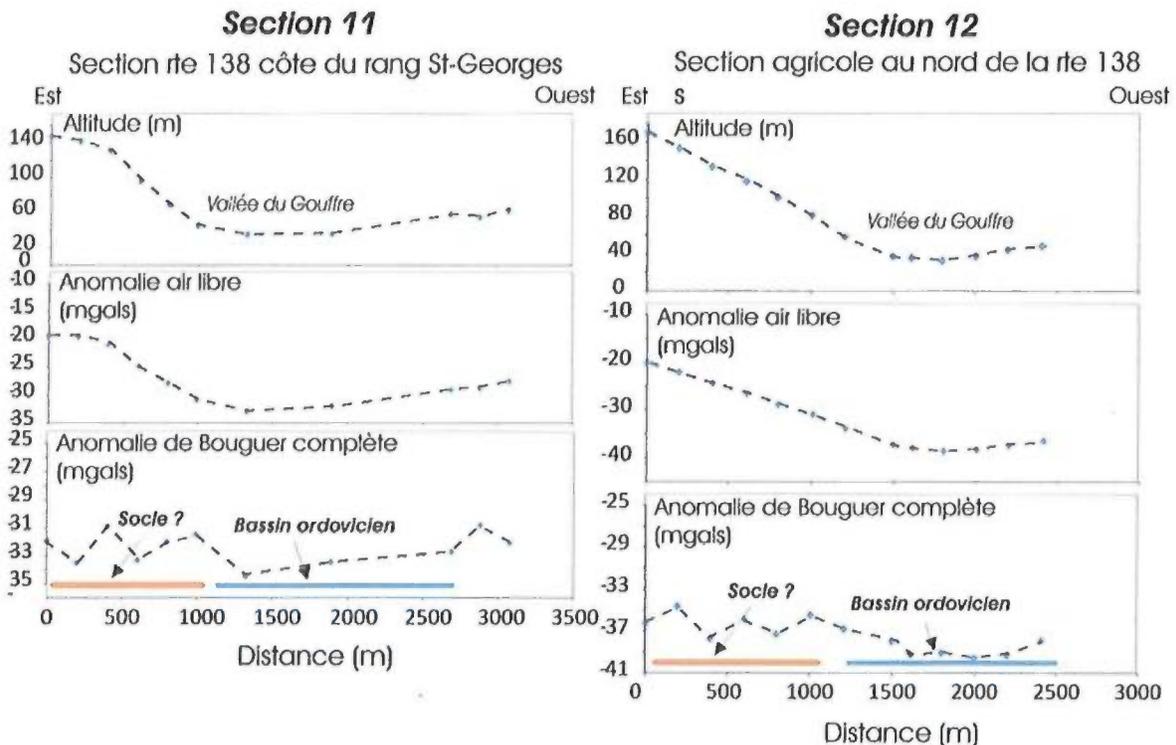


Figure 16. Sections 11 et 12 des régions de Baie St-Paul et de St-Urbain. La section 11 suit la rte 138 le long de la côte à Matou (rang St-Georges) et la section 12 une section agricole située du côté nord de la rte 138 dans le secteur de St-Urbain.

4.1.13 Section 13 (section agricole secteur de St-Urbain).

Cette section, d'environ 2,5 km (Fig. 9 et 20), débute du côté ouest de la rivière du Gouffre dans un secteur agricole situé le long de la route St-Édouard (village de St-Urbain). La section se termine vers l'ouest dans une zone montagneuse caractérisée par un fort dénivelé topographique. Le long cette section, l'altitude varie de 38,6 à 259m. Conséquemment, l'anomalie air libre varie de -40,64 à -8,16 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -37,14 à -45,24 mgals (Fig. 17).

La section du bassin sédimentaire semble occuper la zone comprise entre 500 et 1700m. Elle est marquée par un creux gravimétrique facilement identifiable. Une anomalie positive très locale est observée dans la partie inférieure de la montagne (vers 2,2 km). Cette anomalie pourrait être intéressante car une ancienne mine d'ilménite est présente un peu plus haut dans cette montagne. Ce secteur devrait faire l'objet d'une vérification pour la présence d'ilménite (minéral à très haute densité).

4.1.14 Section 14 (St-Urbain : secteur agricole).

Cette courte section, d'environ 1,9 km (Fig. 9 et 20), débute du côté ouest de la rivière du Gouffre près de la route St-Édouard (village de St-Urbain). La section se termine vers l'ouest dans la zone montagneuse décrite à la section 13. Le long de la section 14, l'altitude varie de 38,1 à 108,5m. L'anomalie air libre varie de -43,71 à -31,28 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -47,97 à -43,43 mgals (Fig. 17).

La section du bassin sédimentaire semble occuper la zone comprise entre 400 et 1400m. Elle est également marquée par une légère dépression gravimétrique.

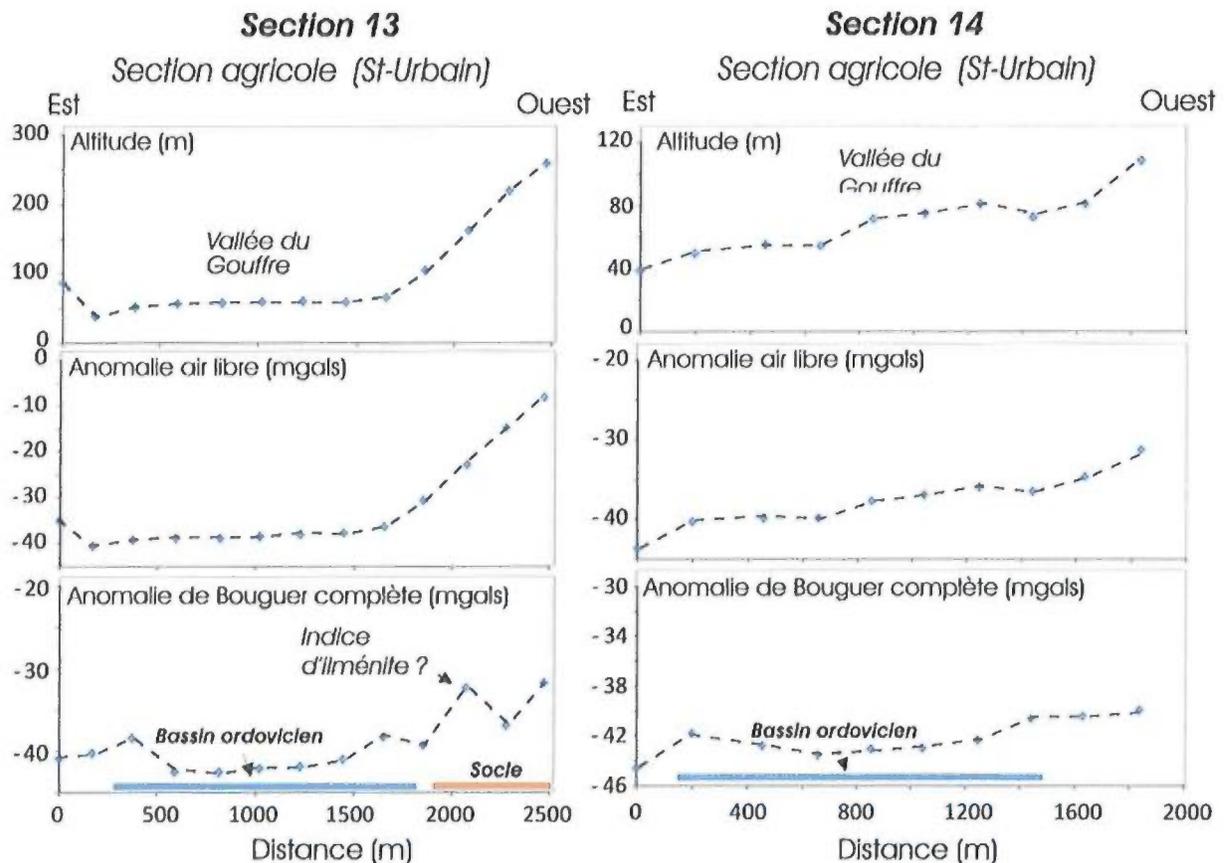


Figure 17. Sections 13 et 14. Ces sections agricoles sont situées au sud du village de St-Urbain.

4.1.15 Section 15 (St-Urbain : section de la rue Ste-Anne et de la côte St-Paul).

Cette section, d'environ 3,7 km (Fig. 9 et 20), débute du côté ouest de la rivière du Gouffre dans le village de St-Urbain et se termine vers le sommet de la montagne qui borde le côté ouest du village de St-Urbain. La section longe la rue Ste-Anne et par la suite monte la grande côte St-Paul. Elle se termine vers l'ouest à la jonction du rang St-Jérôme. Le long de la section 15, l'altitude varie de 53 à 343m. Conséquemment, l'anomalie air libre varie de -40,58 à -1,85 mgals. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète varient de -47,00 à -40,27 mgals (Fig. 18).

Le bassin sédimentaire ordovicien semble occuper la zone comprise entre 0 et 1400m. Notez qu'il est probable que des calcaires soient présents en moins grandes épaisseurs dans la partie inférieure de la montagne et ce jusqu'à une distance de 1700m le long de la section.

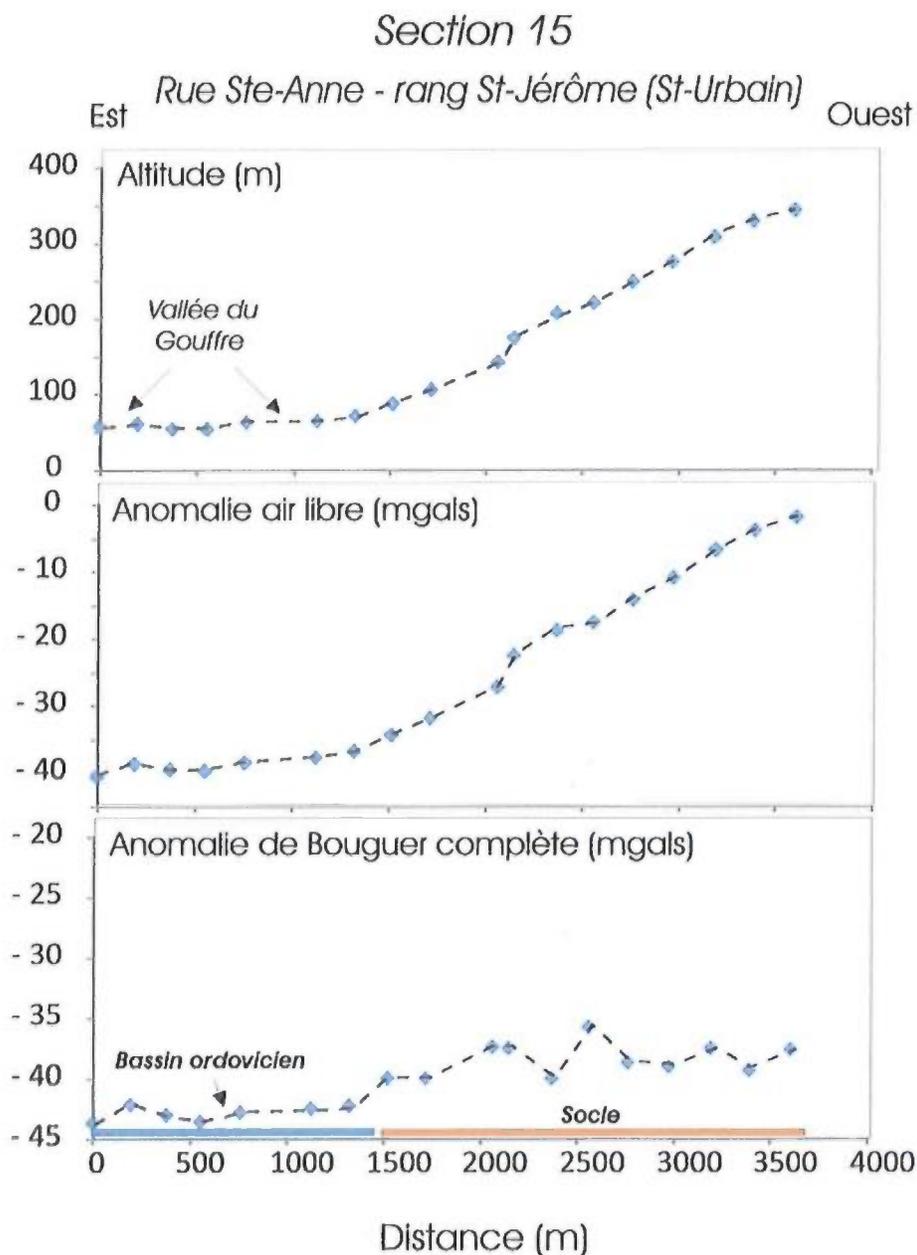


Figure 18. Section 15. Cette section est située à l'ouest de la rivière du Gouffre le long de la rue Ste-Anne et du chemin du rang St-Jérôme de St-Urbain.

4.2 PRÉSENTATION DES DONNÉES EN PLAN

Les trajectoires des différentes acquisitions gravimétriques sont indiquées sur les figures 19 et 20. Ces figures permettent de juger de la densité de la couverture gravimétrique du levé de 2009. L'accès aux différents secteurs de la propriété était fonction de la présence et de l'accessibilité des chemins et routes ainsi que de la topographie particulièrement accidentée de la région. Notez que nous avons maximisé la couverture des stations gravimétriques dans la vallée du Gouffre car les données géologiques disponibles suggèrent la présence d'un bassin de roches sédimentaires dans la vallée du Gouffre. Notez également que nous n'avons pas observé d'affleurements rocheux dans la partie centrale de la vallée du Gouffre. Les seuls affleurements de calcaires et grès observés sont présents dans des coteaux situés de part et d'autre de la vallée du Gouffre et en bordure de la mer au pied des falaises du Cap-aux-Rets.

Nous avons volontairement prolongés les levés gravimétriques vers l'est et l'Ouest pour obtenir des données gravimétriques permettant une modélisation ultérieure des données gravimétriques. L'objectif étant de produire des sections géologiques contraintes par les données gravimétriques.

4.2. 1. Données altimétriques

Les cartes topographiques régionales centrées sur la vallée du Gouffre montrent la présence d'une profonde dépression topographique bordée de hautes montagnes (Fig. 19 et 20). Près de Baie St-Paul, les éléments orographiques significatifs pour cette étude sont le Cap aux Rets, la montagne chez Amédée et la montagne de la Bécasse (côté est) et la côte St-Antoine, les caps de la Mare et à Diamants et la montagne des Florent du côté ouest (Fig. 19). Dans la partie ouest du secteur de Baie St-Paul, les hautes montagnes culminent vers 625 et 700 mètres (ex. montagnes La Pointue et St-Jean). La ville de Baie St-Paul est située dans le centre de la vallée du Gouffre à une altitude d'environ 20m.

La largeur de la vallée de la rivière du Gouffre varie de 4,2 km dans la partie centrale de l'estran à 1,21 km entre le cap à Diamants (ouest) et la montagne des Orignaux (est) (secteur de la section 10).

Nous avons projeté la position des stations et lignes gravimétriques sur les fonds topographiques pour faciliter la présentation des données (Fig. 19 et 20). Ceci permet de visualiser rapidement les variations topographiques et géomorphologiques le long des différentes sections.

Dans le secteur de St-Urbain les éléments orographiques significatifs sont le cap Martin et la montagne de la Bécasse situés du côté est de la rivière du Gouffre. Le cap Martin culmine à 320m et le dénivelé topographique est très accidenté de ce côté de la rivière. Du côté ouest le plateau situé au sommet de la zone montagneuse est à 370 mètres. La côte St-Paul menant au rang St-Jérôme est particulièrement très abrupte. Dans ce secteur, les terres agricoles sont situées dans les parties basses de la vallée du Gouffre entre 60 et 80m d'altitude. Une zone agricole est aussi présente le long du plateau du rang St-Jérôme (extrémité sud-ouest de la section 15).

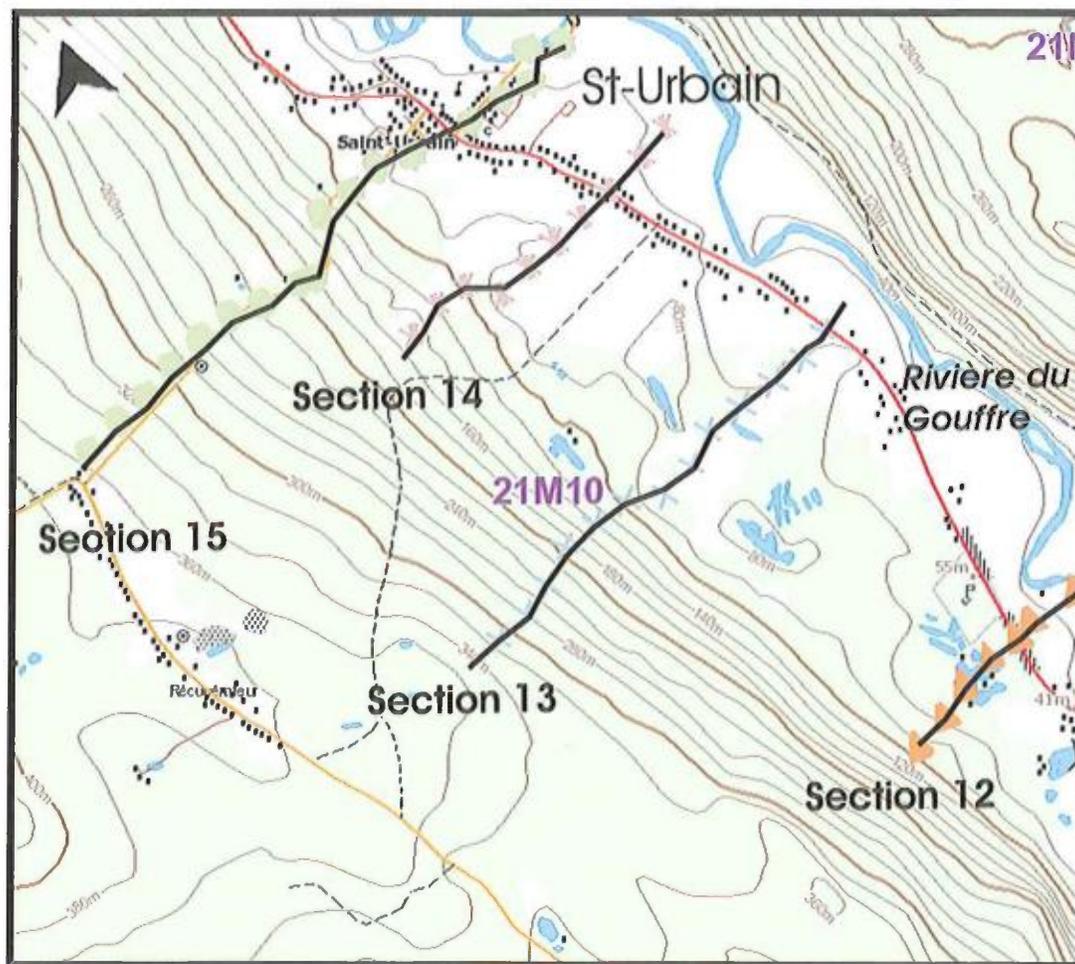


Figure 20. Carte topographique modifiée avec localisation des sections gravimétriques 12 à 15 du secteur de St-Urbain. La section 15 débute dans le village de St-Urbain et se termine dans le rang St-Jérôme situé à 370m d'altitude.

Les données altimétriques mesurées à l'aide du système GPS RTK ProMark-500 (Magellan) de précision centimétrique. Ces données sont présentées sous la forme d'une carte régionale krigée (Fig. 21). Sur cette carte, l'altitude varie de 2,05 à 436m pour une moyenne de 123m. La vallée du Gouffre est à une altitude variant de 2m en bordure de la mer à 120m dans la partie nord de St-Urbain.

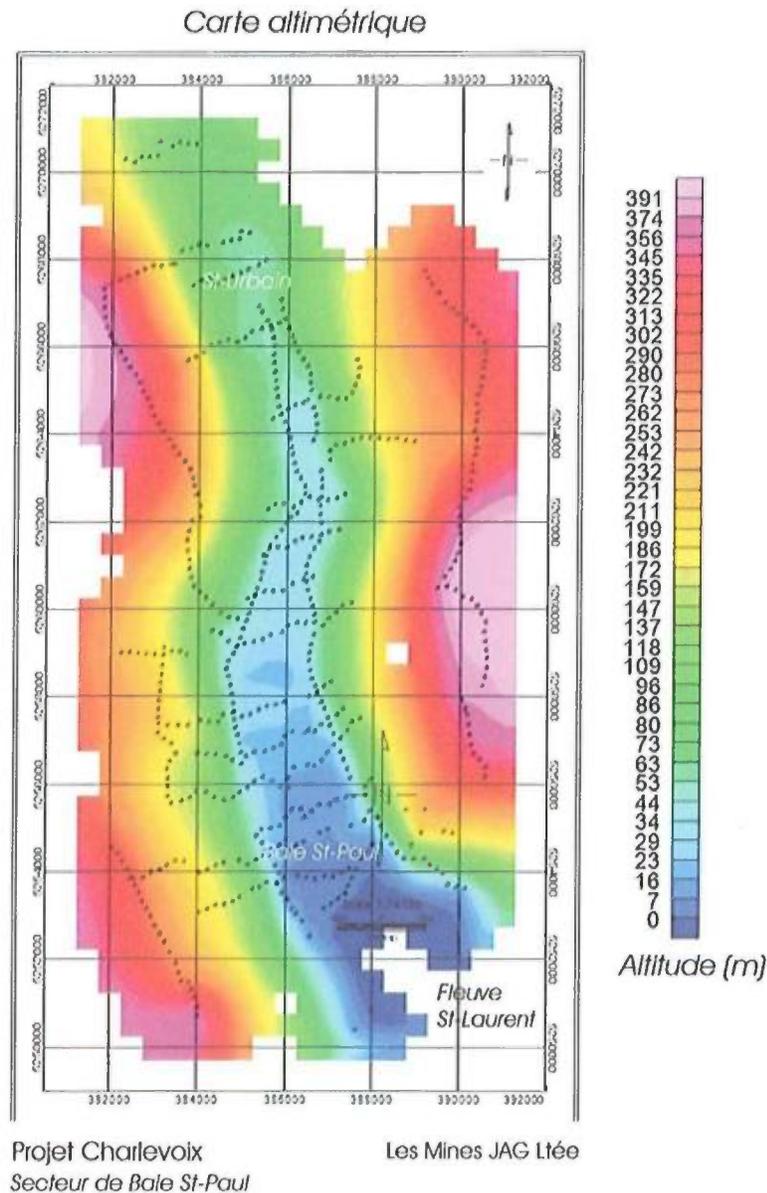


Figure 21. Carte altimétrique régionale obtenue à partir des données GPS-RTK mesurées aux stations gravimétriques du levé de 2009. La position des stations gravimétriques est indiquée par de petits cercles noirs. Les données altimétriques sont présentées en mètre. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

4.2.2. Gravité absolue

Les données de gravité absolues sont des valeurs corrigées pour la dérive instrumentale, l'effet de marée et la hauteur du gravimètre par rapport au sol. Ces données sont recalculées en fonction de la valeur de référence établie pour la station 9353-1974 du réseau de normalisation canadien de gravimétrie (Commission géologique du Canada). La station 9353-1974 de Baie St-Paul a une valeur de 980802,220 mgals.

Sur la carte présentée à la figure 22, les données de gravité absolue varient de 980728 à 980808 mgals. La moyenne et la médiane sont respectivement de 980786 et 980794 mgals. Notez que les données de gravité absolues ne sont pas corrigées pour l'effet combiné de la topographie et de la densité des matériaux présents sous les stations de mesure gravimétrique. Les données de gravité absolue montrent de très hautes valeurs dans les zones de creux topographiques. Ceci est particulièrement important pour l'ensemble de la vallée de la rivière du Gouffre.

Gravité absolue

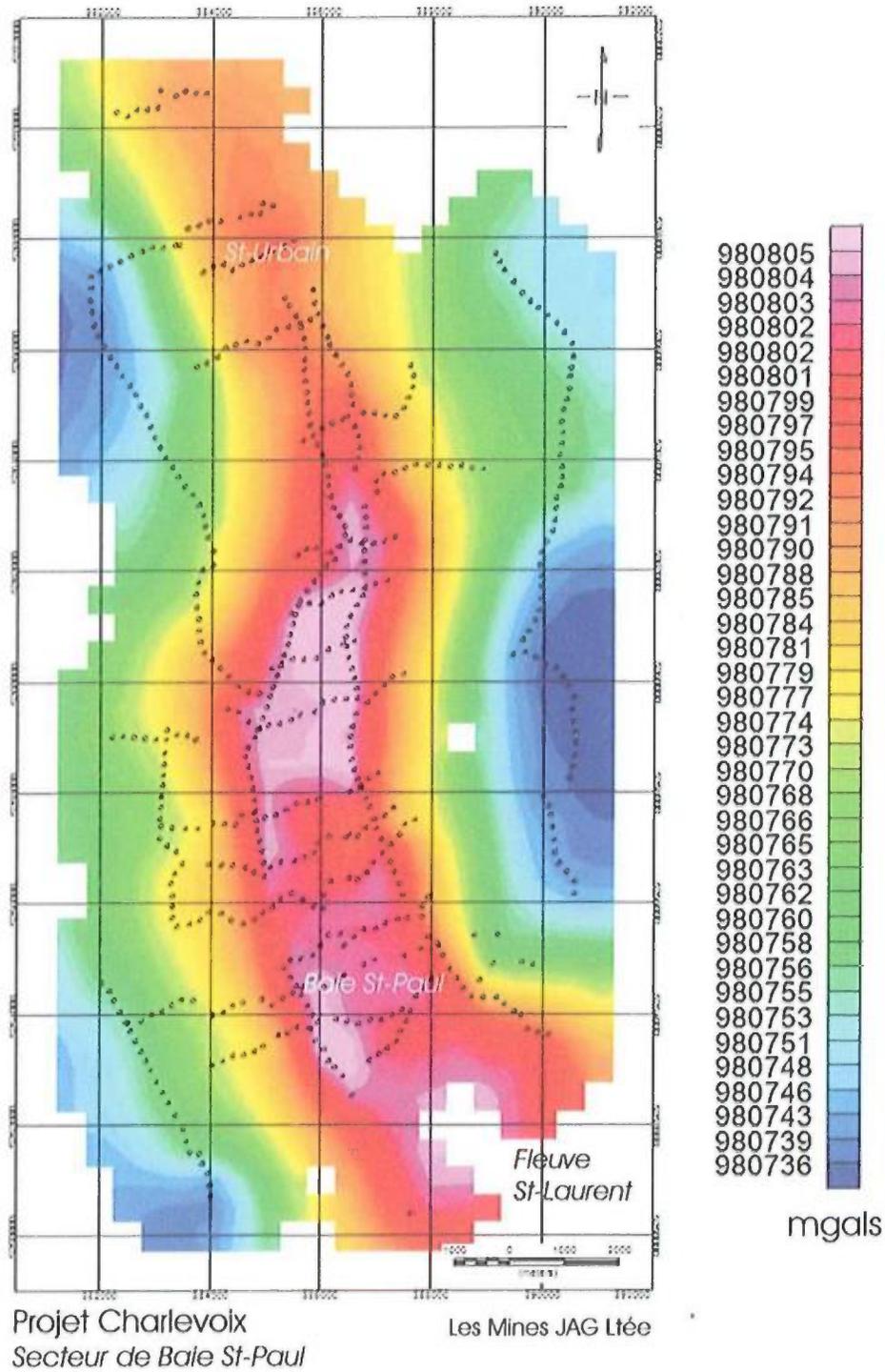


Figure 22. Carte des valeurs krigées de gravité absolue. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

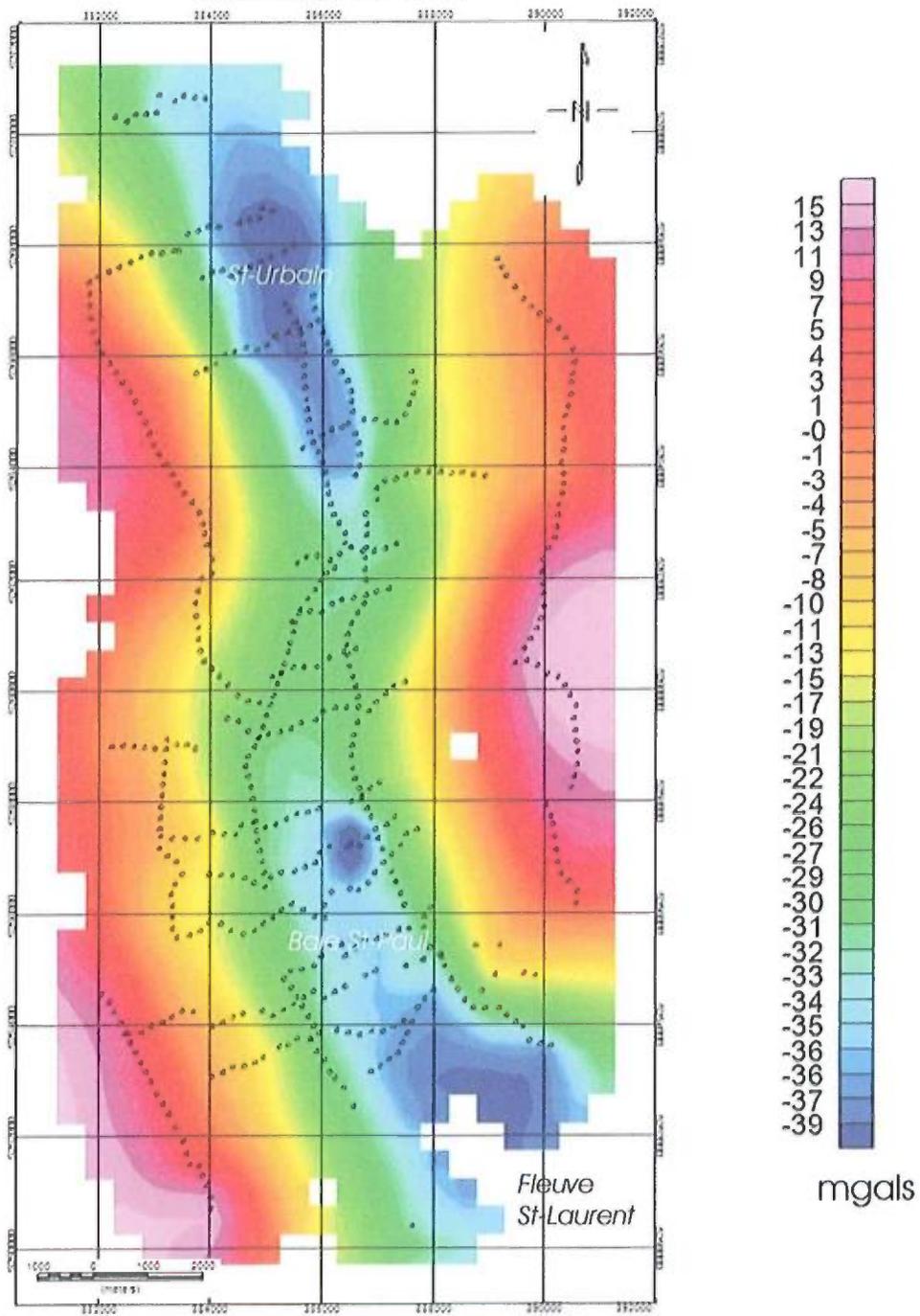
4.2.3. Anomalie air libre

Les données de l'anomalie air-libre sont des valeurs gravimétriques corrigées pour la correction de latitude (gravité théorique) et surtout pour l'élévation de la station de mesure par rapport au niveau de la mer. Compte tenu que l'attraction gravitationnelle diminue en fonction du carré de la distance verticale en s'élevant au dessus du niveau de la mer, ce type de correction est fondamental dans le traitement de données gravimétriques. Toutefois, il faut se rappeler que ces données ne sont pas corrigées pour tenir compte de la densité des matériaux.

Sur la carte de la figure 23 les données de l'anomalie air libre varient de -69,40 à 18,55 mgals. La moyenne et la médiane sont respectivement de -21,2 et -28,7 mgals.

Les valeurs de l'anomalie air libre montrent une distribution régionale qui rappelle fortement celle de la topographie. Les valeurs sont très faibles dans le fond de la vallée de la rivière du Gouffre et très élevées dans les montagnes qui bordent la vallée. Comme le souligne la figure 23, l'altitude ne suffit pas à expliquer la totalité de la variabilité observée dans les valeurs de l'anomalie air libre. Par exemple, dans la partie basse de la vallée en se déplaçant de Baie St-Paul (sud) vers St-Urbain (nord), l'anomalie de Bouguer tend à augmenter et par la suite diminuer. Cette observation implique nécessairement la présence d'un contraste local dans la densité des roches et sédiments non-consolidés présents dans la vallée. Ce contraste pourrait refléter des variations d'épaisseur du bassin de roches ordoviciennes en se dirigeant de Baie St-Paul à St-Urbain.

Anomalie air libre



Projet Charlevoix
Secteur de Baie St-Paul

Les Mines JAG Ltée

Figure 23. Carte des valeurs krigées l'anomalie air-libre. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

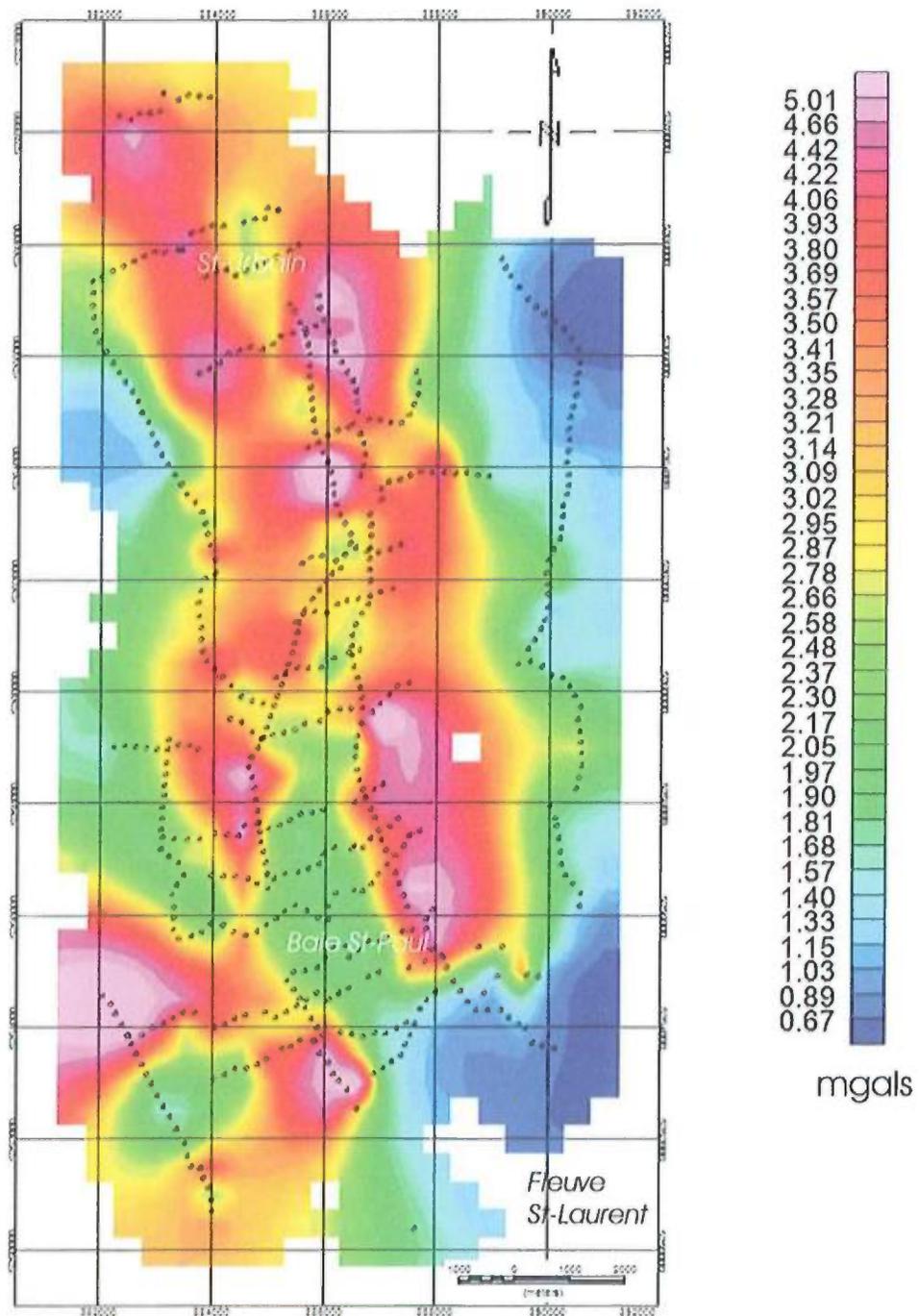
4.2.4. Anomalie de Bouguer

4.2.4.1. Correction de terrain

Dans cette section du rapport nous présentons la variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète. L'anomalie de Bouguer complète comporte un terme correctif additionnel qui est la correction de terrain. Cette dernière est obtenue à partir d'un modèle numérique de terrain (*MNT ou DEM*). Pour chacune des stations, le modèle compense pour l'effet de terrain (effet topographique). Dans le cas de la propriété Charlevoix (secteur de Baie St-Paul à St-Urbain), cette correction est variable et parfois forte en raison des hauts reliefs présents dans la région. Dans l'ensemble, les valeurs de correction de terrain varient de 0,39 à 8,67 mgals pour une moyenne de 2,93 et une médiane de 2,66 mgals.

La figure 24 montre la variabilité spatiale de la correction de terrain appliquée aux données gravimétriques mesurées sur le terrain. Le terme correctif est plus faible le long du littoral de Baie St-Paul et augmente en remontant la vallée de la rivière du Gouffre. L'effet orographique du secteur de St-Urbain est bien reflété par les fortes valeurs de corrections de terrain observées dans la vallée.

Correction de terrain



Projet Charlevoix
Secteur de Baie St-Paul

Les Mines JAG Ltée

Figure 24. Carte montrant la distribution spatiale des données de correction de terrain. Notez que les données ont été interpolées par krigeage. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

4.2.4.2. Anomalie de Bouguer complète

La carte de la figure 25 montre la variabilité de l'anomalie de Bouguer complète calculée et spatialement interpolée pour l'ensemble de la zone couverte dans le présent levé gravimétrique. Dans ce secteur, l'anomalie de Bouguer complète varie de -69,4 à 17,00 mgals pour une moyenne de -32 et une médiane de -31 mgals.

La figure 25 montre une distribution complexe des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète. Le secteur du village de St-Urbain est marqué par la présence d'un important creux gravimétrique (en bleu foncé sur la carte). Ce creux pourrait correspondre à un épaissement du bassin de roches sédimentaires ordoviciennes dans ce secteur. En se déplaçant vers le sud, dans la zone de diminution de largeur de la vallée (secteur du cap à Diamants), les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète augmentent pour se rapprocher des valeurs observées dans la partie inférieure des montagnes présentes de part et d'autre de la vallée. Ce secteur pourrait correspondre à une remontée du socle précambrien et ou à une forte érosion du bassin de roches sédimentaires dans ce secteur. En se dirigeant vers le sud, les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète redeviennent plus négatives ce qui témoigne de la présence de matériaux de plus faible densité dans ce secteur. La partie sud-est de l'estran de Baie St-Paul montre de faibles valeurs de l'anomalie de Bouguer compatibles avec la présence de roches calcaires observées le long des falaises du cap-aux-Rets. Les montagnes dans le secteur de la côte St-Antoine montrent de très fortes valeurs de l'anomalie de Bouguer complète. Ceci reflète probablement la présence d'une unité de roches plus dense dans cette partie du Bouclier précambrien. Notez que les valeurs de l'anomalie de Bouguer complète observées dans la montagne du côté est de la Vallée de Baie St-Paul sont systématiquement moins élevées que du côté ouest (Fig. 25). Ceci reflète nécessairement des contrastes lithologiques dans les unités constituantes du socle précambrien dans ce secteur.

Anomalie de Bouguer complète

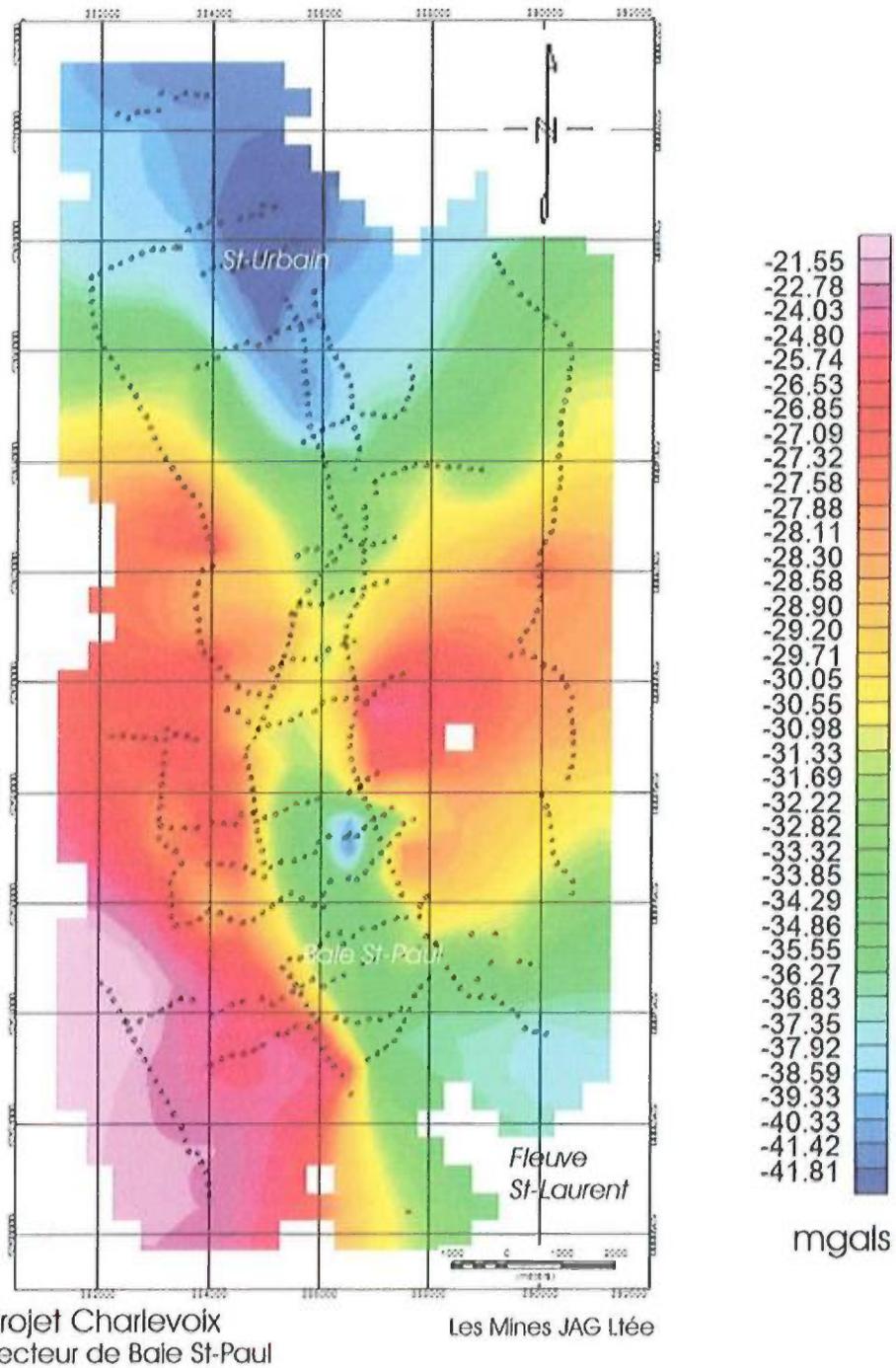


Figure 25. Carte des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète interpolées par krigeage. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

La figure suivante montre une carte semblable à celle de la figure 26. Les données de cette carte sont toutefois filtrées à l'aide d'un filtre passe-bas de type Butterworth. Ce filtre élimine les anomalies de hautes fréquences pouvant masquer certaines grandes caractéristiques régionales. Notez qu'après le filtrage des données, les faibles valeurs de la vallée sont encore bien évidentes sur la carte.

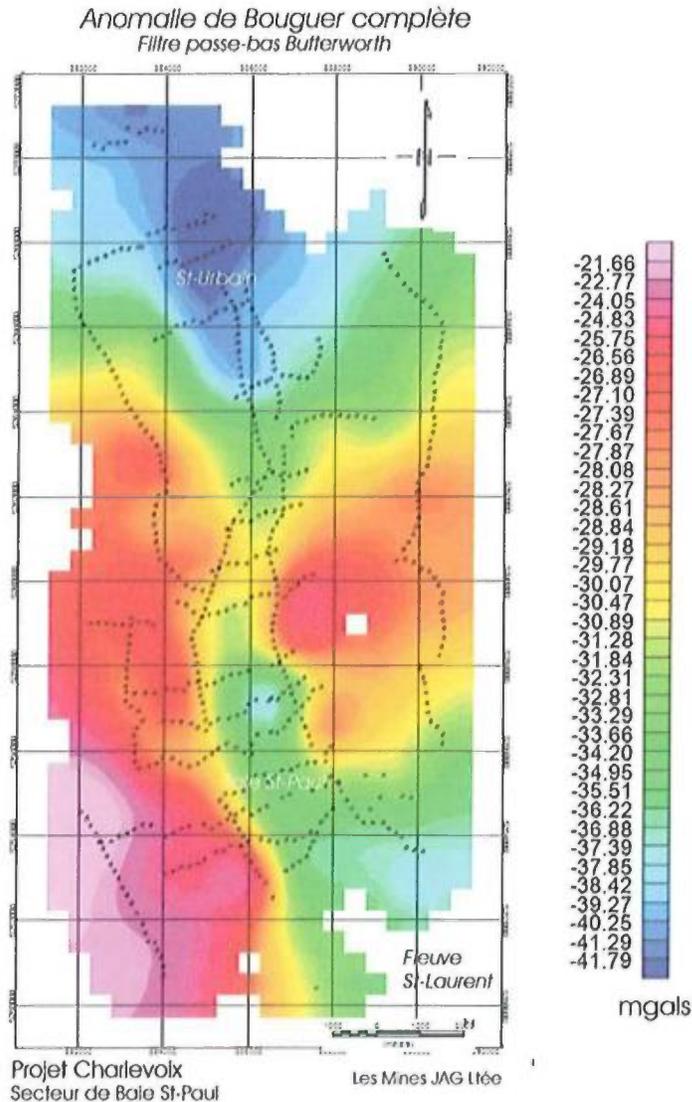


Figure 26. Carte des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète filtrées (*filtre passe-bas Butterworth*) et interpolées par krigeage. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

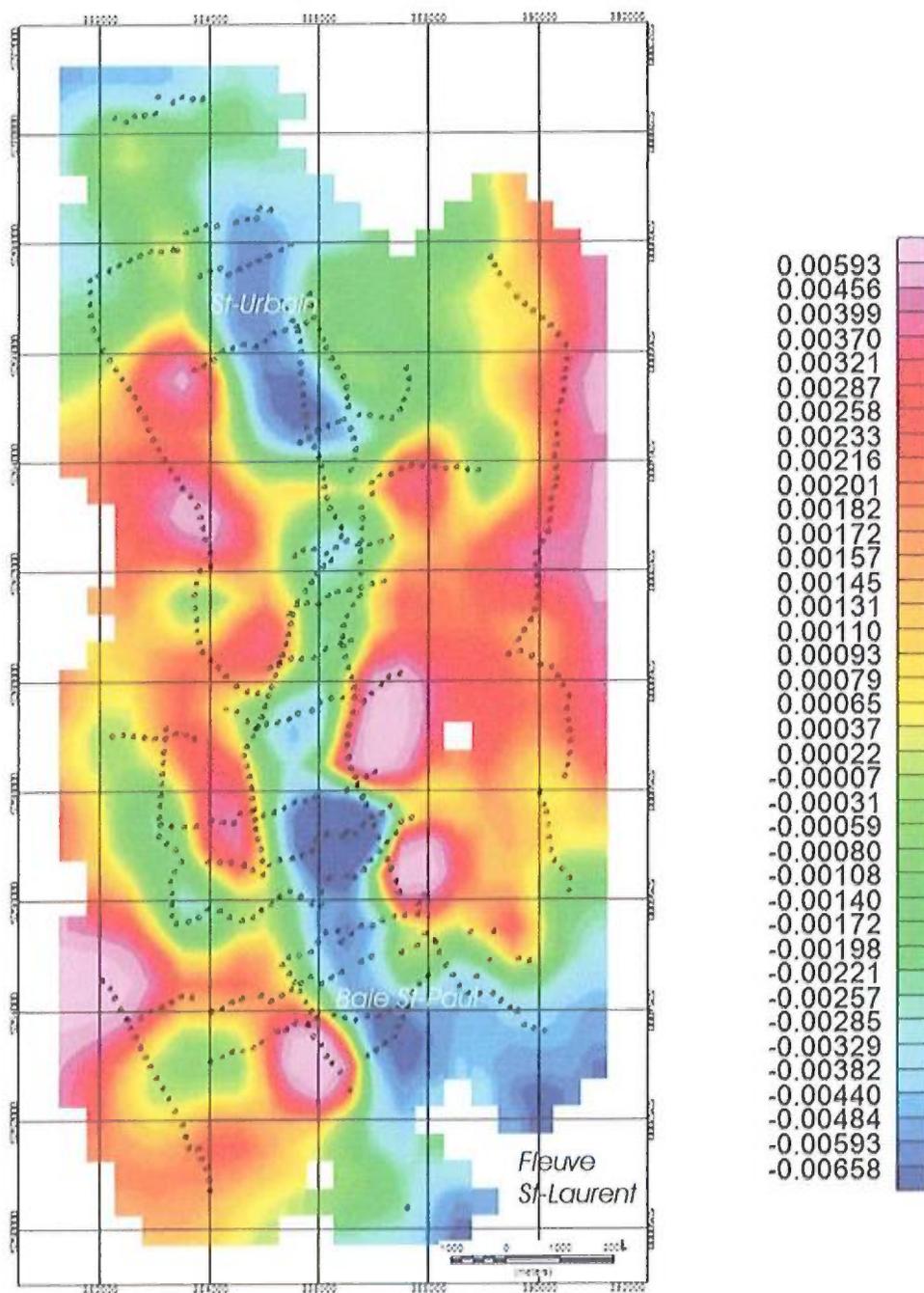
4.3. ANOMALIE DE BOUGUER (DÉRIVÉE VERTICALE)

La dérivée verticale appliquée à des données de champ potentiel (ex. Blakely, 1996) est une méthode utile pour distinguer les effets reliés à la présence de masses locales incluses dans une banque de données régionales (ex. Jorgensen, 2004; Aydemir et Ates, 2008). Notez que l'effet de petites masses ponctuelles est souvent masqué par la réponse de larges masses régionales.

La dérivée première permet de cerner la présence d'anomalies régionales et plus profondes tandis que la dérivée seconde permet de localiser et d'accentuer la présence d'anomalies reliées à des sources peu profondes (ex. Robinson and Silvia, 1981).

La figure 27 présente le résultat du calcul de la dérivée verticale pour la carte des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète des secteurs de Baie St-Paul et St-Urbain. Les contacts entre hauts et bas gravimétriques sont plus nets que pour la carte des figures 25 et 26. Des creux gravimétriques (en bleu foncé sur la carte) sont clairement visibles dans une zone s'étendant du littoral aux terres agricoles présentes immédiatement au nord de la ville de Baie St-Paul (secteur des fermes Simard et du Gouffre) et dans le secteur du village de St-Urbain (Fig...). Les valeurs de la dérivée première augmentent dans la vallée du Gouffre en passant près du cap à Diamants. Ceci serait compatible avec une forte diminution d'épaisseur du bassin de roches sédimentaires ordoviciennes dans ce secteur de la vallée du Gouffre.

Anomalie de Bouguer (dérivée première verticale)



Projet Charlevoix
Secteur de Baie St-Paul

Les Mines JAG Ltée

Figure 27 . Carte des valeurs krigées de la dérivée première verticale de l'anomalie de Bouguer complète. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

4.4. CONTINUITÉ VERTICALE VERS LE BAS DES VALEURS DE L'ANOMALIE DE BOUGUER COMPLÈTE

La transformation des données de l'anomalie de Bouguer par la technique de continuation verticale vers le bas permet de rehausser la réponse de sources en profondeur en rapprochant le niveau d'observation plus près de la source responsable de la formation de l'anomalie. Pour ce faire, il faut d'abord éliminer les anomalies de hautes fréquences. Afin de procéder aux calculs de continuité verticale vers le bas nous avons appliqué un filtre de type passe-bas (*low pass*) aux données de l'anomalie de Bouguer afin d'éliminer des perturbations très locales reliées à la présence de petites masses de roches anomaliques présentes à faibles profondeurs. Sans cette précaution préliminaire, le principe de continuité vers le bas ne peut être appliqué avec succès aux données gravimétriques. Notez que cette procédure est fréquemment utilisée dans le cadre d'études gravimétriques régionales portant sur des bassins sédimentaires (ex. Reeh et Aïfa, 2008).

Dans cette section nous présentons, sous la forme de cartes, les valeurs de l'anomalie de Bouguer recalculées pour différentes profondeurs d'observations (continuité verticale). Compte tenu du contexte géologique et de l'analyse du spectre de puissance radiale, nous avons sélectionné les profondeurs de 300, 600 et 1000m comme niveaux d'observation (Fig. 28 à 30).

Un effet important à souligner sur les cartes est l'élargissement des creux gravimétriques (valeurs de l'anomalie e Bouguer complète) dans la partie basse de la vallée en fonction de l'accroissement de la profondeur de continuation. Ceci pourrait refléter la signature des unités de roches calcaires présentes sous une couverture d'épaisseur variable de sédiments quaternaires non consolidés.

Anomalie de Bouguer (continuité vers le bas -300m)

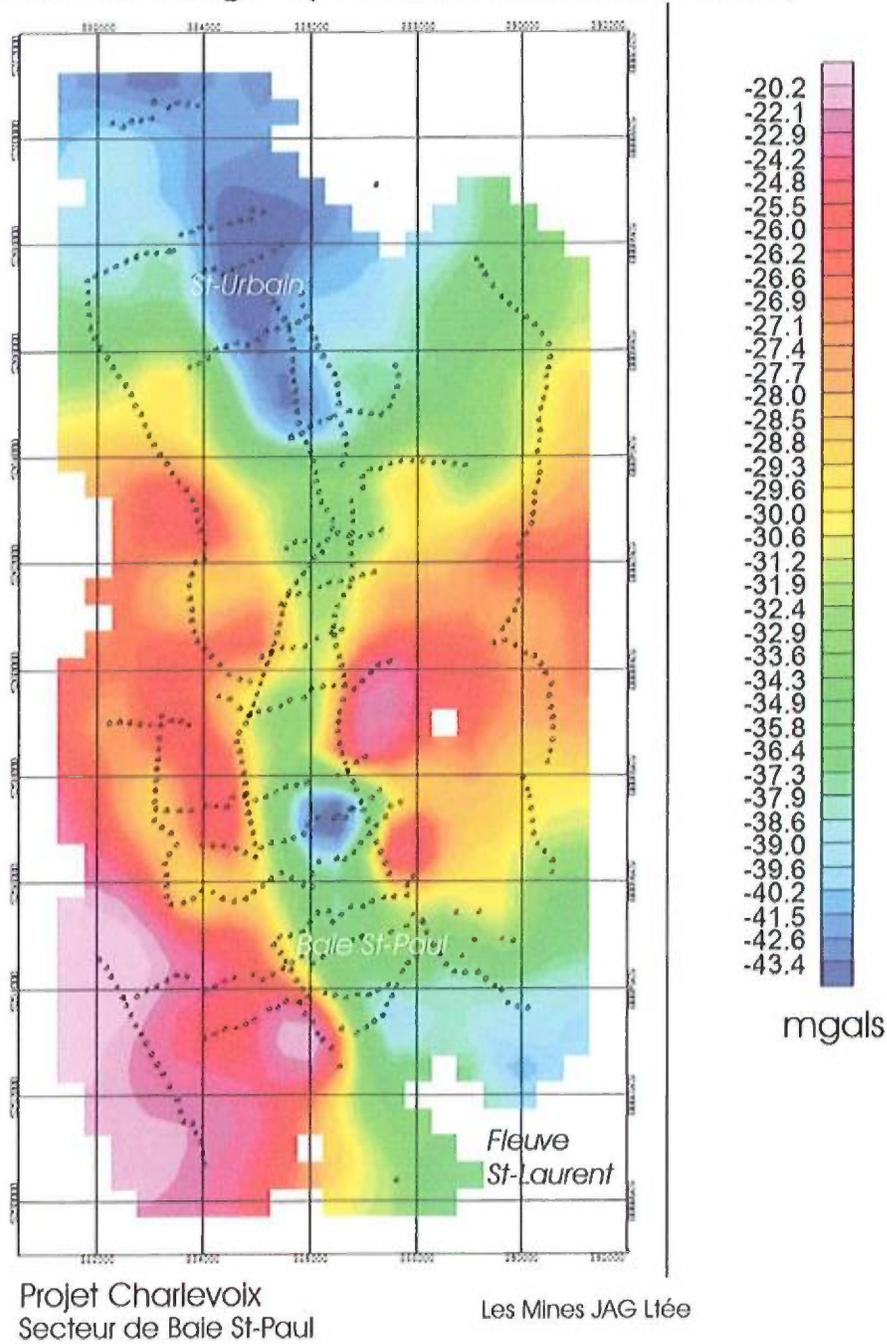
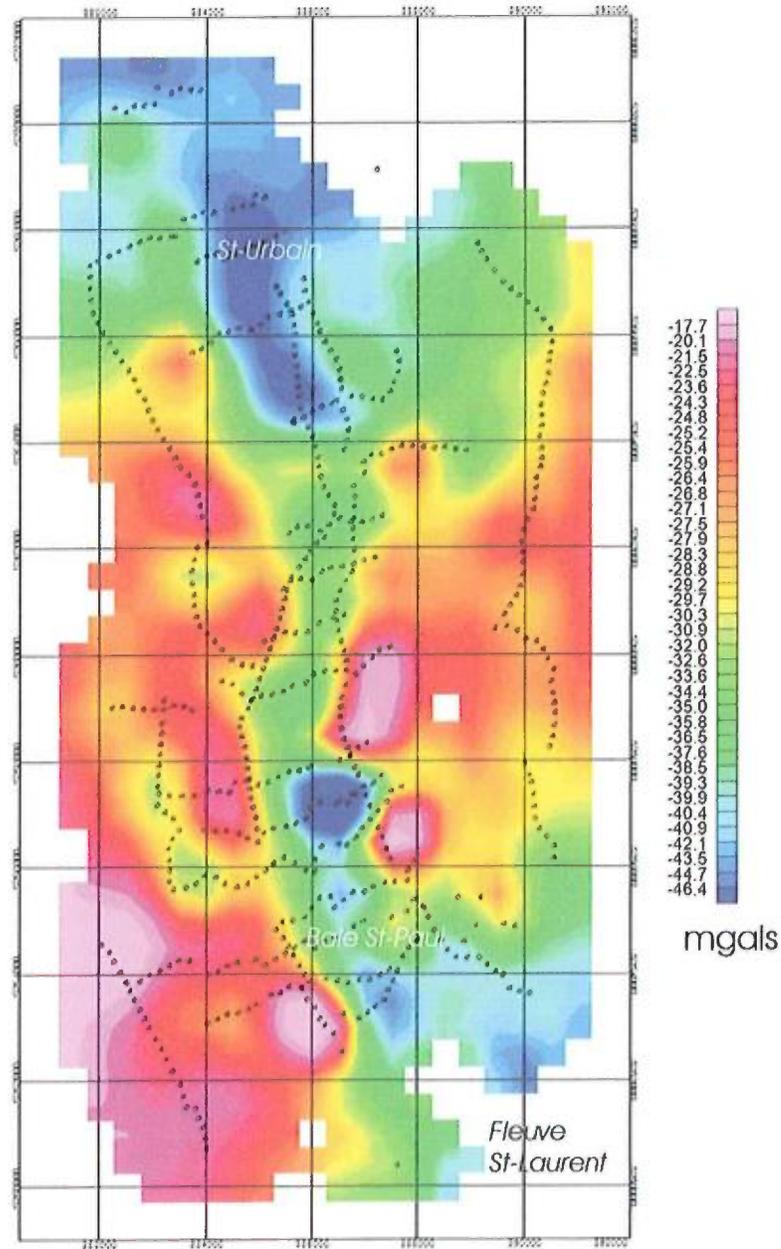


Figure 28. Carte des valeurs krigées de la continuité vers le bas des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète. Niveau d'observation de -300m. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

Anomalie de Bouguer (continuité vers le bas -600m)



Projet Charlevoix
Secteur de Baie St-Paul

Les Mines JAG Ltée

Figure 29. Carte des valeurs krigées de la continuité vers le bas des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète. Niveau d'observation de -600m. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

Anomalie de Bouguer (continuité vers le bas -1000m)

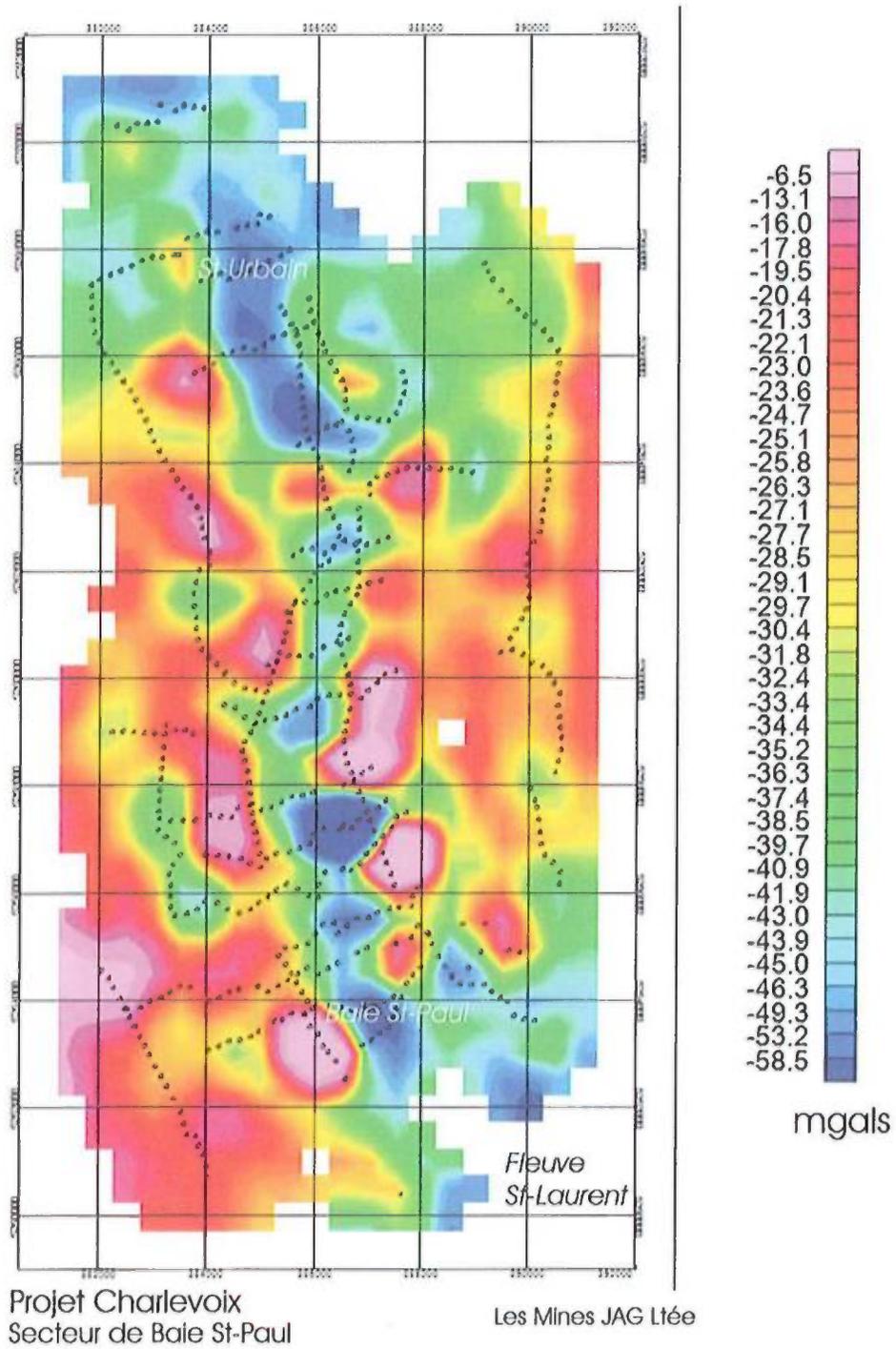


Figure 30. Carte des valeurs krigées de la continuité vers le bas des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète. Niveau d'observation de -1000m. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

4.5. ÉCART-TYPE DES VALEURS MESURÉES PAR LE CG-5 ET IMPLICATIONS GÉOLOGIQUES.

Nous avons projeté en plan l'écart-type des valeurs mesurées par le gravimètre CG5. Ces valeurs calculées à partir des données stationnaires du CG5 reflètent essentiellement l'état de vibration du sol au moment du levé. Cette dernière peut localement être attribuée à la circulation automobile, à l'effet du vent sur la structure du gravimètre, à l'état de vibration naturel des dépôts de sédiments non consolidés et parfois à des réajustements sismiques du socle rocheux. Dans le cas présent, nous avons monitoré la vitesse du vent à chacune des stations de mesure et noté la présence de sources de vibrations anthropiques pouvant influencer la qualité des données gravimétriques. Sur le terrain, nous avons rapidement constaté que l'écart-type enregistré par le processeur du CG5 pouvait montrer de très hautes valeurs et ce en l'absence de vent (vitesse inf. à 0,5 km/h) ou de trafic routier. Ceci était une démonstration directe de l'impact de la vibration naturelle du sol (et des sédiments quaternaires) présents le long de la vallée du Gouffre.

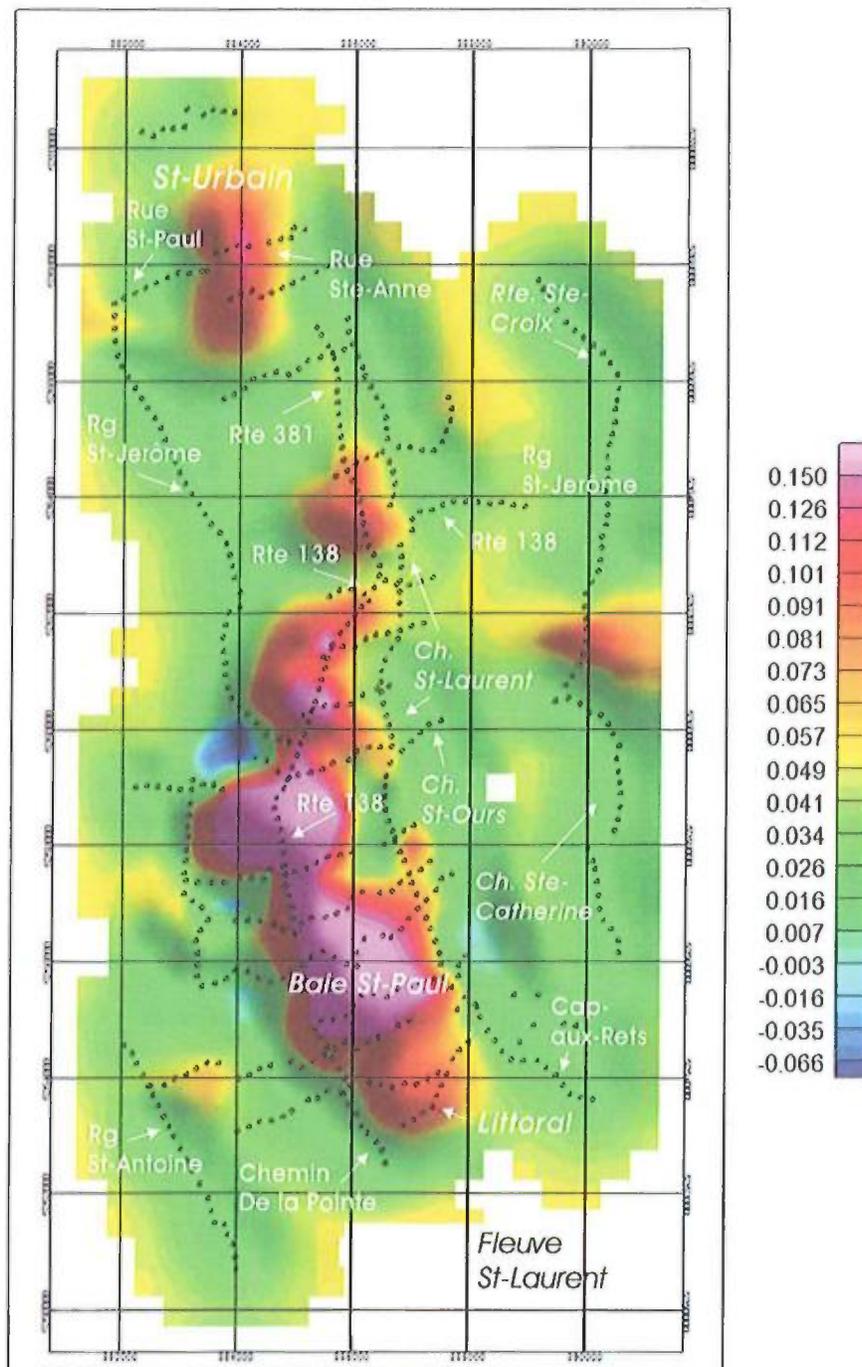
La carte de la figure 31 montre clairement la présence de fortes valeurs d'écart-type des données gravimétriques distribuées le long de la partie basse de la vallée de la rivière du Gouffre. La première zone est située entre le bas du cap-aux-Rets (est de la vallée) et le chemin de la Pointe (ouest de la vallée) et monte vers le nord en suivant grossièrement le tracé de la route 138. La zone anomalique s'atténue rapidement à la hauteur du ch. St-Ours. Les zones montagneuses de part et autre de la vallée montrent de faibles écart-types et ce indépendamment si le substrat est constitué de roc ou de tills glaciaires.

La forte vibration des sols et du substrat quaternaire dans la partie basse de la vallée du Gouffre est nécessairement un reflet de la nature des dépôts de sédiments non-consolidés présents dans le secteur. Les matériaux argileux, de type argiles marines, sont abondants dans cette partie de la vallée et probablement responsables d'un phénomène d'amplification des ondes sismiques. Pour l'exploration gazière et surtout pour la recherche de gîtes de gaz naturel quaternaires, la présence de fortes

épaisseurs de matériaux argileux peut être intéressante. Ces matériaux relativement imperméables peuvent confiner le gaz pouvant être stockés dans des anciens chenaux d'alluvions fluviales (ex. Pointe-du-Lac).

La carte de la figure 31 pourrait être utilisée par les municipalités de Baie St-Paul et de St-Urbain par la sécurité publique pour identifier les secteurs les plus sensibles à l'activité sismique et aux glissements de terrain dans la vallée de la rivière du Gouffre.

Écart-type (mesures gravimétriques CG5)



Projet Charlevoix
Secteur de Baie St-Paul

Les Mines JAG Ltée

Figure 31. Carte des valeurs krigées de l'écart-type des données gravimétriques mesurées par le gravimètre CG5. Ces données reflètent la présence de zones propices à l'amplification des ondes sismiques. Ces zones sont probablement riches en matériaux argileux. Propriété Charlevoix, secteurs Baie St-Paul et St-Urbain.

4.6. SIGNAL ANALYTIQUE ET ESTIMATION DE LA PROFONDEUR PAR LA MÉTHODE DE EULER.

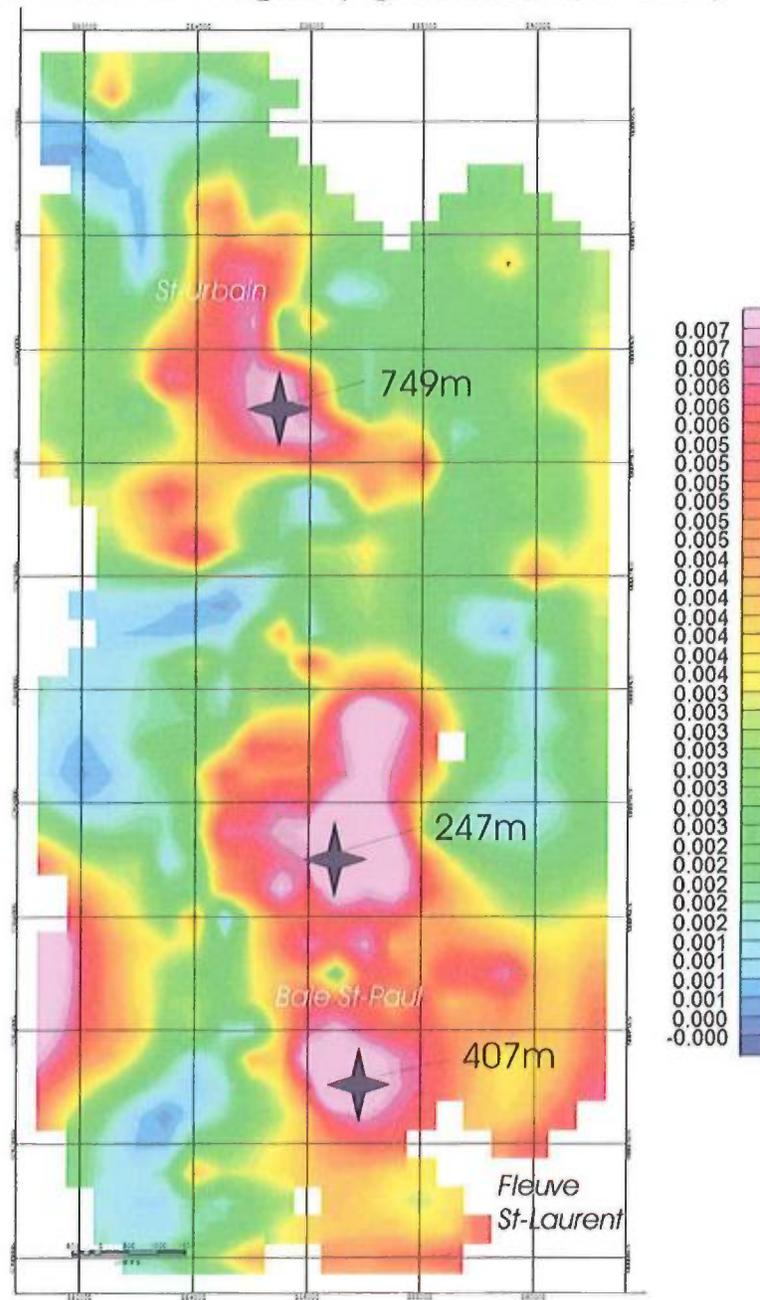
La méthode d'Euler permet d'estimer la profondeur d'une anomalie de champ potentiel. Les données magnétiques et gravimétriques sont souvent utilisées pour estimer la profondeur probable d'anomalies observées sur les cartes régionales. Dans le cas présent, nous avons utilisé le programme *MAGMAP* du logiciel *Oasis Montaj* pour estimer la profondeur des dépressions gravimétriques observées dans la vallée du Gouffre.

Avant de procéder à l'estimation de profondeur, la méthode calcule le signal analytique tridimensionnel. Ce signal analytique peut être très utile pour préciser certaines caractéristiques du socle sous la couverture de roches sédimentaires. Normalement, les valeurs maximales du signal analytique sont proximales aux bordures des corps géologiques responsables de la formation des anomalies gravimétriques ou magnétiques. Notez que le signal analytique d'une anomalie gravimétrique correspond à la racine carrée de la sommation des dérivées au carré en X, Y et Z (ex. Silva et Barbosa, 2003; Li et al., 2005).

La qualité de l'estimation de profondeur dépend principalement du choix de l'indice structural utilisé pour les calculs. En gravimétrie, l'indice structural varie généralement de 0 à 2. Pour des contacts géologiques (ou des dykes) une valeur de 0 devrait être sélectionnée. Pour une structure cylindrique verticale, une valeur de 1 serait indiquée et finalement pour une masse sphérique, une valeur de 2 devrait être utilisée. Toutefois, notez qu'une valeur de 0 implique que le champ potentiel (ex. gravité) est constant et ce indépendamment de la distance par rapport à la source modélisée. Ce cas étant physiquement impossible, ceci explique l'utilisation généralisée d'un indice structural de 0,5 pour une modélisation gravimétrique d'Euler pour des contacts géologiques. Cette valeur a été utilisée dans les calculs réalisés pour la vallée du Gouffre.

La figure 32 montre la localisation des trois principales solutions de Euler localisées (automatiquement) pour la vallée du Gouffre. La première anomalie est située dans le secteur urbain de Baie St-Paul. Sa profondeur serait de l'ordre de **407m**. La seconde est située sur les terres agricoles immédiatement au nord de la zone urbaine de Baie St-Paul (ferme Simard). Cette anomalie moins profonde serait de l'ordre de **247m**. La troisième anomalie située dans le village de St-Urbain atteint une profondeur de l'ordre de **749m**. La localisation de ces anomalies coïncide avec les dépressions gravimétriques observées sur la carte de la dérivée première verticale des valeurs de l'anomalie de Bouguer complète (Fig. 27). Malgré les incertitudes du modèle reliée à un effet de mort terrain difficilement pondérable dans le cas présent, les variations de profondeur suggèrent que les parties sud et nord de la vallée du Gouffre contiennent des bassins sédimentaires relativement profonds. La partie intermédiaire entre Baie St-Paul et St-Urbain semble contenir une plus faible épaisseur de roches sédimentaires ordoviciennes. Pour l'instant nous ne pouvons préciser l'épaisseur du bassin sédimentaire présent au sud de Baie St-Paul et plus précisément sous l'estran. Ce dernier devrait toutefois être relativement profond.

Anomalie de Bouguer (signal analytique Euler)



Projet Charlevoix
Secteur de Baie St-Paul

Figure 32. Carte des valeurs krigées du signal analytique calculé à partir des données de l'anomalie de Bouguer complète. Les principales solutions de Euler pour l'estimation de la profondeur sont indiquées par une étoile. La profondeur indiquée sur les cartes est en mètres.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats du levé gravimétrique, réalisé dans les parties ouest et sud-ouest de la propriété Charlevoix, montrent de très forts contrastes reliés à une géologie complexe impliquant le socle précambrien et un graben paléozoïque affectés au Dévonien par l'impact d'un météorite (Lamontagne et al., 2004). Le remonté de la partie centrale de la structure d'impact et l'affaissement de la ceinture périphérique (ex. vallée du Gouffre) ont permis la préservation de roches sédimentaires paléozoïques contenant des unités de calcaires, de grès et de shales. Les propriétés pétroligènes de la matière organique présente dans ces unités démontrent que ces roches sédimentaires sont dans le domaine de stabilité de l'huile et localement du gaz naturel (Camiré et Richer-LaFlèche, 2007). Dans un tel contexte, la présence ou l'absence de gîtes d'hydrocarbures est fonction de la qualité des réservoirs ainsi que de conditions propices au confinement des hydrocarbures.

Les données gravimétriques présentées dans cette étude suggèrent la présence de trois dépressions gravimétriques dans les parties basses de la vallée du Gouffre. Ces creux gravimétriques permettent d'identifier des zones probables d'épaississement des séquences de roches sédimentaires ordoviciennes. Le premier secteur est localisé dans le secteur de l'estran et des battures de Baie St-Paul. Le second est centré dans le secteur agricole des fermes Simard (ouest) et du Gouffre (est). La troisième est située dans le village de St-Urbain. Ces zones contiennent nécessairement des accumulations de roches sédimentaires paléozoïques et aussi une accumulation de dépôts quaternaires d'épaisseur variable. Ces secteurs devraient être priorisés pour l'exploration de gîtes d'hydrocarbures dans le roc ou dans les formations quaternaires.

Les variations des valeurs de l'anomalie de Bouguer entre le bassin de roches sédimentaires et le socle précambrien est souvent très graduel ce qui suggère une atténuation progressive de l'épaisseur de roches calcaires le long des coteaux de part et d'autre de la vallée. Toutefois, certaines sections montrent un passage abrupt qui

serait compatible avec la présence de failles. Ces structures pourraient être favorables à la fracturation des calcaires et surtout à la dolomitisation hydrothermale pouvant former des réservoirs d'hydrocarbures (ex. Davies et Smith, 2006). Une attention particulière devrait être portée à cette possibilité.

Le résultat du calcul du signal analytique obtenu à partir des données de l'anomalie de Bouguer, permet de localiser avec précision les trois principales dépressions gravimétriques et implicitement la position des principales accumulations de roches sédimentaires ordoviciennes dans le secteur. Ces données sont utilisées dans la méthode de Euler (3D) pour estimer la profondeur du contact entre le socle et la base du bassin sédimentaire. Pour la partie urbaine de Baie St-Paul la profondeur suggérée par le modèle est d'environ 407m et pour l'anomalie de St-Urbain une profondeur de 749m est suggérée. La zone agricole au nord de Baie St-Paul montre une valeur de 247m. Ces données préliminaires suggèrent un approfondissement du bassin de roches sédimentaires vers le sud (Estran de Baie St-Paul) et le nord (St-Urbain). Ces deux domaines seraient séparés par une remontée du socle rocheux localisée approximativement entre le cap à Diamants (est) et la montagne de la Bécasse (ouest).

La variabilité des données de l'anomalie de Bouguer observée dans les zones montagneuses bordant la vallée du Gouffre suggère la présence d'importants contrastes lithologiques et de densité dans le socle précambrien. Pour modéliser les données gravimétriques de ce levé, un échantillonnage lithologique approprié devra être complété pour obtenir des données densitométriques mesurées en laboratoire. A partir de ces données, il sera possible de produire des sections permettant de modéliser la forme du bassin sédimentaire présent sous la vallée de la rivière du Gouffre. Ces informations seront pertinentes pour évaluer le potentiel en hydrocarbures de la région.

Le programme d'exploration de JAG dans cette partie de la propriété Charlevoix devrait prévoir :

- 1) Réalisation d'un levé pédogéochimique pour les hydrocarbures C1-C4 présents dans les sols de la vallée du Gouffre.
- 2) Un échantillonnage des roches cambro-ordoviciennes et des gneiss et granitoïdes précambriens dans le but de pouvoir mesurer en laboratoire la densité des roches. Ces données devront être utilisées pour contraindre une modélisation en 2D des données gravimétriques. Cette modélisation devrait permettre l'obtention de sections géologiques contraintes par les données gravimétriques.
- 3) Poursuivre l'étude du potentiel pétrolière des roches sédimentaires ordoviciennes du côté ouest de la route 138 (partie ouest de la vallée) et plus spécifiquement le long des coteaux agricoles montrant la présence de nombreuses zones affleurantes.
- 4) Un levé de résistivité électrique et ou un levé de type audio-magnétotellurique à source contrôlée (CSAMT) recoupant les creux gravimétriques présents le long de la vallée de la rivière du Gouffre. Ces levés devraient permettre de préciser le contact entre le socle gneissique et le bassin de roches sédimentaires et d'observer des zones résistives dans le roc ou les sédiments quaternaires pouvant correspondre à des accumulations d'hydrocarbures.
- 5) Réaliser une carte radiométrique (U, Th et K) du périmètre du levé gravimétrique de 2009. Ce levé devrait permettre de préciser les contacts à la surface entre roches sédimentaires et roches précambriennes. Le levé devrait permettre de subdiviser spatialement les zones de tills quaternaires, les zones d'alluvions et les zones d'argiles marines. Dans l'éventualité de la présence de micro-fuites d'hydrocarbures, la cartographie des variations des concentrations en uranium devrait faciliter l'identification de cibles d'exploration.
- 6) Suite à ces travaux, il faudrait envisager la réalisation d'un levé de réflexion sismique.

6. REMERCIEMENTS

De très nombreuses personnes ont participé à la réalisation de ce projet. Le levé de terrain et le positionnement GPS RTK ont été réalisés par Jean-Francois Boily, François Pelletier et Nicolas Tremblay. Merci au Dr Geneviève Camiré pour ses nombreux conseils géologiques et aux Dr D. Lavoie (CGC-Qc) pour de nombreuses discussions sur la géologie et le potentiel en hydrocarbures de la région de Charlevoix. Merci à M. Richard Lachapelle de Scintrex (Toronto, Ontario) et à son équipe technique pour la formation technique sur le gravimètre CG5. Nous remercions le Dr Pierre Keatings et Diane Jobin de la Commission géologique du Canada pour d'importantes discussions techniques et scientifiques en gravimétrie. Merci à M. Pierre Gévry, Président de les Mines JAG Itée pour avoir soutenu et financé ce projet de recherche.

7. RÉFÉRENCES

- Aydemir, A. et Abdullah, A.**, 2008. Determination of hydrocarbon prospective areas in the Tuzgolu (Saltlake) Basin, central Anatolia, by using geophysical data. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 62, 36-44.
- Blakely, R.J.**, 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, UK.
- Cogbill, A.H.**, 1990. Gravity terrain corrections calculated using digital elevation models : *Geophysics*, v.55, no 1, p. 102-106.
- Davies, G.R. et Smith, L.B. Jr.**, 2006. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: an overview. *AAPG Bulletin*, 90: 1641-1690.
- Hinze, W. et al.**, 2005. New standards for reducing gravity observations : The North American Gravity Database, *Geophysics*, 70, 4, PP 25-32.
- Hinze, W., Aiken, C., Brozean, J., Coakley, B., Dater, D., Flanagan, G., Forsberg, R., Hildenbrand, T., Keller, G.R., Kellogg, J., Kucks, R., Li, X., Mainville, A., Morin, R., Pilkington, M., Plouff, D., Ravat, D., Roman, D., Urrutia-Fucugauchi, J., Véronneau, M., Webring, M. et Winester, D.**, 2003. New standards for reducing gravity observations : The Revised North American GravityDatabase : <http://paces.geo.utep.edu/research/gravmag//PDF/Final%20NAGDB%20Report%20091403.pdf>.
- Jorgensen, C.**, 2004. Tectonic interpretation using potential field data for the Sweetgrass Arch Area, Montana-Alberta, Saskatchewan. Rocky Mountain Section AAPG Meeting, Denver, Colorado, August 9-11, 2004. P. 1-7.
- Keto, T. et Tianyou, L.**, 2006. Modeling and interpreting gravity anomaly data in African Great Lakes Region. *Asian Journal of Information Technology*, 5(2) : 219-224, 2006.
- LaFlèche, M.R. et Aznar, J.C.**, 2008. Levés géophysiques dans le secteur de Baie St-Paul. Rapport de recherche R-1027 INRS-ETE pour les Mines JAG Ltée, 80 pages.
- Lamontagne, M., Beauchemin, M et Toutin, T.**, 2004. Earthquakes of the Charlevoix Seismic Zone, Quebec. *CSEG Recorder*, october 2004, 41-44.
- Laroche, P. et LaFlèche, M.R.**, 2006. Programme d'exploration proposé sur les permis de recherche de pétrole et de gaz des propriétés Témiscouata, Lac St-Jean et Charlevoix. Rapport 5501 préliminaire, Les Mines JAG Ltée, 43 p.
- Lemieux, Y.**, 2001. Analyse structurale des failles supracrustales de la région de Charlevoix, Québec: relations avec l'impact météoritique. Mémoire de maîtrise, Université du Québec, INRS-Géoressources, 71 p. et 1 carte.

- Lemieux, Y., Tremblay, A. et Lavoie, D., 2003.** Structural analysis of supracrustal faults in the Charlevoix area, Quebec: relation to impact cratering and the St-Laurent fault system. *Can. J. Earth Sciences*, 40: 221-235.
- Li, J., Morozov, I et Chubak, G., 2005.** Potential-field Investigations of the Williston Basin Basement. In Summary of Investigations 2005, Vol 1, Saskatchewan Geological Survey, Sask. Industry Resources, Misc. Rep. 2005-4-1, Paper A-5, 11p.
- Reeh, G. et Aïfa, T., 2008.** Age of the source of the Jarrafa gravity and magnetic anomalies offshore Libya and its geodynamic implications. *Journal of Geodynamics*, 45, 217-233.
- Rochefort, B., 1981.** Étude pédologique du comté de Témiscouata (Québec). Service de recherche en sols Direction de la recherche Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 113 pages.
- Robinson, E.A. et Silvia, M.T., 1981.** Digital foundations of time series analysis : vol. 2 – Wave equation space-time processing. Holden-Day Inc. CA, USA.
- Silva, J.B. et Barbosa, V.C., 2003.** 3D-Euler deconvolution : Theoretical basis for automatically selecting good solutions; *Geophysics*, 47, 31-27.

Complété à Québec, le 15 septembre 2009

Par : Marc Richer-LaFlèche



Marc Richer-LaFlèche, géo. (no. permis 1055)