# 2010YE001-01

Les Mines JAG ltée - Recherche de gaz et de pétrole et mise en valeur de la propriété lac St-Jean - Rapport sur les levés gravimétrique et magnétométrique du lac Saint-Jean (2009-2010)

**Documents complémentaires**

*Additional Files*

**Licence**

*License*

**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

2010YE001

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

# PROPRIÉTÉ LAC ST-JEAN

## Rapport sur les levés gravimétrique et magnétométrique du lac St-Jean (2009-2010)


RAPPORT préparé par :

Marc R.-LaFlèche, Ph.D. géo

En collaboration avec

J.C. Aznar, Ph.D., F. Rinfret, V. Antonoff
(levé magnétométrique)

N. Tremblay, J-F. Boily et Y. Asselin,
(levé gravimétrique)

INRS-ETE


Septembre 2010

# SOMMAIRE

Ce rapport présente les résultats d'un levé gravimétrique terrestre et d'un levé magnétométrique aquatique réalisé sur la propriété Lac St-Jean de Mines JAG ltée. Ce regroupement de permis d'exploration pour le gaz et pétrole couvre une grande partie du bassin du lac St-Jean.

Le levé gravimétrique, réalisé dans les secteurs de la Pointe St-Methode, St-Félicien, St-Prime, Pointe-Bleue, Roberval, Val-Jalbert, Chambord, Desbiens, Metabetchouan et St-Gédéon, comporte 1092 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 gravimétriques avec une précision centimétrique. Les données gravimétriques mesurées par le CG5 ont été rattachées à la station gravimétrique *9644-1965* de Val-Jalbert (réseau de normalisation canadien de gravimétrie).

La variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie de Bouguer ou de la gravité finale montre la présence de hauts et creux gravimétriques correspondants à des éléments tectoniques reconnus dans la région. Un haut gravimétrique est présent au large de Chambord dans la partie centrale du lac. Ce haut gravimétrique attribué à une remontée locale du socle précambrien délimite en deux sous-bassins la séquence de roches paléozoïques du lac St-Jean. Ces sous-bassins sont caractérisés par de faibles valeurs d'anomalie de Bouguer

Le levé magnétométrique aquatique, réalisé sur lac St-Jean, a permis d'acquérir 1 596 825 mesures magnétométriques (magnétomètres GEM System GSM19 et Geometrics G882). Ces données ont été géoréférencées grâce à l'utilisation d'un DGPS Novatel. Ces données ont été acquises le long de 58 sections, de 20 à 30 km de longueur, orientées NE-SO et aussi de quelques sections perpendiculaires orientées NO-SE. Les cartes magnétométriques montrent plusieurs éléments communs aux cartes gravimétriques. Par exemple, la présence de corps plutoniques intrusifs (fort champ magnétique et hautes valeurs d'anomalie de Bouguer) est évidente sur les deux types de cartes. A l'opposé, des anomalies magnétiques secondaires aux contacts relativement diffus semblent reliées à la présence de sédiments quaternaires deltaïques. Ces sédiments quaternaires occupent une vaste superficie dans la partie NO du lac St-jean.

En milieu terrestre, la présence des sous-basins NO et SE semble contrôlée la présence d'indices d'hydrocarbures $C_1$-$C_4$ dans les sols. Cette relation spatiale est importante pour orienter les stratégies d'exploration du gaz naturel et du pétrole.

# TABLE DES MATIÈRES


**1. INTRODUCTION** 9
1.1 LOCALISATION DE LA PROPRIÉTÉ LAC ST-JEAN 10

**2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET TRAVAUX ANTÉRIEURS** 11
2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE 11
2.1.1. Stratigraphie des roches sédimentaires ordoviciennes de la région du lac St-Jean 11
2.2. TRAVAUX ANTÉRIEURS 14
2.3 TRAVAUX D'EXPLORATION RÉALISÉS POUR MINES JAG LTÉE 15

**3. BATHYMÉTRIE DU LAC ST JEAN** 16

**4. MÉTHODOLOGIE** 18
4.1 LEVÉ MAGNÉTOMÉTRIQUE 18
4.1.1 Levé Geometrics G882 18
4.1.2 Levé GSM-19WG 19
4.2. STATIONS DE BASE ET MONITORING DE LA DÉRIVE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TOTAL 24
4. 3 LEVÉ GRAVIMÉTRIQUE 27
4.3.1 Corrections des données gravimétriques 29
4.3.1.1 Correction pour la hauteur de l'instrument 31
4.3.1.2 Correction pour la dérive instrumentale 31
4.3.1.3 Calcul de la gravité absolue 32
4.3.1.4 Calcul de la gravité théorique (latitude) 33
4.3.1.5 Correction air libre (anomalie air libre)
4.3.1.6 Correction de Bouguer et anomalie de Bouguer 33

**5. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES DONNÉES35**

5.1 DONNÉES MAGNÉTOMÉTRIQUES 35
5.1.1 Trajectoires du levé magnétométrique 35
5.1.2 Présentation des données magnétométriques 36
5.1.2.1 *Champ magnétique total (et IGRF)* *36*
5.1.2.2 *Dérivée verticale première du champ magnétique total* *41*

5.1.2.3 *Réduction au pôle des valeurs du champ magnétique total* *43*

5.1.2.4 Continuité verticale vers le bas *du champ magnétique total* 45

5.1.2.5. *Transformation des valeurs du champ magnétique total par la méthode du signal Analytique* 48

5.1.3 Présentation des données en section 50
5.1.3.1 *Sections des lignes 1 à 5* : 50
5.1.3.2 *Sections des lignes 6 à 15* : 52
5.1.3.3 *Sections des lignes 16 à 25* : 55
5.1.3.4 *Sections des lignes 26 à 35* : 58
5.1.3.5 *Sections des lignes 36 à 45* : 61
5.1.3.6 *Sections des lignes 46 à 58* : 64
5.2 DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES 68
5.2.1 Données altimétriques 68
5.2.2 Épaisseur des sédiments quaternaires dans la région 70
5.2.3 Gravité absolue 72
5.2.4 Anomalie air-libre (*Free air anomaly*) 74
5.2.5 Anomalie de Bouguer 76
5.2.5 Gravité finale 78
5.2.5.1 *Gravité finale (dérivée première verticale)* 80
5.3. INTÉGRATION DES DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES DE 2009 ET 2010 82
5.4. INTÉGRATION DES DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES, MAGNÉTOMÉTRIQUES ET D'HYDROCARBURES C1-C4 DANS LES SOLS. 85

**6. CONCLUSIONS** 89

**7. RÉFÉRENCES** 90

**8. REMERCIEMENTS** 92

# TABLE DES FIGURES

**Figure 1.** Localisation de la propriété Lac St-Jean, Les Mines **JAG** ltée. 10

**Figure 2.** Géologie de la propriété Lac St-Jean, Les Mines **JAG** ltée. 11

**Figure 3.** Stratigraphie de la propriété Lac St-Jean, Les Mines **JAG** ltée. 12

**Figure 4**. Carte altimétrique Radarsat du lac St-Jean et du Saguenay. Notez que le lac St Jean, représenté en bleu, est à une altitude d'environ 100m. Source : Ressources Naturelles Canada. 14

**Figure 5**. Carte bathymétrique du lac St-Jean. Notez la présence de fosses plus profondes dans les parties centre et est du bassin. Source: *Trak inc.* 17

**Figure 6**. Bateaux utilisés pour la réalisation du levé magnétométrique aquatique sur le lac St-Jean. Marina de Roberval. 20

**Figure 7.** Levé magnétométrique Geometrics G882 sur le lac St-Jean. Le magnétomètre subaquatique est fixé à une profondeur de 35cm sous le catamaran. 21

**Figure 8.** Levé magnétométrique Geometrics G882 sur le lac St-Jean. Fixation du câble électrique recouvert de kevlar (en vert) et du câble de traction en rouge. 22

**Figure 9.** Levé magnétométrique GSM-19WG avec DGPS sur la glace du lac St-Jean. 23

**Figure 10.** Variations diurnes du champ magnétique total observées à la station de base de Pointe-Bleue (Masteuiastch). 25

**Figure 11**. Variations diurnes du champ magnétique total observées à la station de base de Chambord. 26

**Figure 12.** Gravimètre CG5 (Scintrex) utilisé pour le projet Lac St-Jean. La photographie montre la station de base 99999 située en bordure du lac St-Jean dans la municipalité de Desbiens (secteur du musée archéologique). 27

**Figure 13.** Gravimètre CG5 (Scintrex) utilisé pour le projet Lac St-Jean. Opération du CG5 en bordure de chemin. Opérateur Nicolas Tremblay (étudiant en génie géologique, U. Laval). 28

**Figure 14.** Trajectoires du levé magnétométrique aquatique de 2010. 35

**Figure 15.** Carte montrant la variabilité spatiale de l'intensité du champ magnétique total mesuré sur le lac St-Jean. Les données du levé magnétométrique sont interpolées par krigeage. 39

**Figure 16.** Carte montrant la variabilité spatiale de l'intensité du champ magnétique total corrigé en éliminant la composante du champ géomagnétique régional (filtrage IGRF). Les données filtrées sont interpolées par krigeage. 40

**Figure 17.** Carte montrant la dérivée verticale première du champ magnétique total. Ces données sont interpolées par krigeage. 42

**Figure 18.** Carte montrant les données du champ magnétique total modifiées par la méthode de réduction au pôle. Ces données sont interpolées par krigeage. 44

**Figure 19.** Carte montrant la continuité verticale vers le bas du champ magnétique total. Niveau d'observation de -500m. 46

**Figure 20.** Carte montrant la continuité verticale vers le bas du champ magnétique total. Niveau d'observation de -1000m. 47

**Figure 21.** Carte montrant la variabilité du signal analytique calculée à partir des données du champ magnétique total. 49

**Figure 22.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 1 à 5. 51

**Figure 23.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 6 à 10. 53

**Figure 24.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 11 à 15. 54

**Figure 25.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 16 à 20. 56

**Figure 26.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 21 à 25. 57

**Figure 27.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 26 à 30. 59

**Figure 28.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 31 à 35. 60

**Figure 29.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 36 à 40. 62

**Figure 30.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 41à 45. 63

**Figure 31.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 46 à 50. 65

**Figure 32.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 51 à 55. 66

**Figure 33.** Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 56 à 58. 67

**Figure 34.** Carte altimétrique régionale obtenue à partir des données GPS-RTK.. Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée). 69

**Figure 35.** Variation de l'épaisseur des dépôts quaternaires et des alluvions récentes dans la région du Lac St-Jean. Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée). Données extraites des journaux de sondage de puits pour l'eau (*système d'information hydrogéologique SIH : www.mddep.gouv.ca*.). 71

**Figure 36.** Variabilité spatiale des valeurs de gravité absolue (données krigées). Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée). 73

**Figure 37.** Variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie air-libre (données krigées). Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée). 75

**Figure 38.** Variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie de Bouguer (données krigées).Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée). 77

**Figure 39.** Variabilité spatiale des valeurs de gravité finale (données krigées). Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée). 79

**Figure 40**. Carte de la dérivée verticale première des valeurs de gravité finale. Projet Lac St-Jean 2010. 81

**Figure 41**. Carte des valeurs de l'anomalie de Bouguer calculées pour les stations de mesure gravimétrique des levés 2009 (sur glace) et 2010 (terrestre). 83

**Figure 42**. Carte des valeurs de gravité finale calculées pour les stations de mesure gravimétrique des levés 2009 (sur glace) et 2010 (terrestre). 84

**Figure 43**. Cartes des données de gravité finale et du champ magnétique total. 86

# 1. INTRODUCTION

Le fort potentiel pétroligène des roches du bassin sédimentaire du lac St-Jean (ex. shales de Pointe-Bleue : Marchand, 1974; Camiré et LaFlèche, 2008) et la présence de très fortes anomalies en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ dans les sols de la région (LaFlèche et Aznar, 2008) expliquent l'intérêt grandissant de l'industrie pour l'exploration des hydrocarbures dans la région du lac St-Jean.

Compte tenu de la faible proportion d'affleurements rocheux et de la nature essentiellement immergée du bassin, l'obtention de données géophysiques régionales est essentiel à l'amélioration des connaissances géologiques régionales.

Dans ce rapport nous présentons les résultats de levés gravimétriques et magnétométriques réalisés sur le lac St-Jean ainsi que dans la partie basse de son bassin versant entre l'automne 2009 et le printemps 2010. Ces levés comportent un levé gravimétrique régionale terrestre et un levé magnétométrique aquatique.

Environ 1,6 millions de données magnétométriques géoréférencées ont été acquises sur le lac St-Jean et 1092 stations gravimétriques terrestres ont été mesurées entre la Pointe St-Méthode (Lac St-Jean Ouest) et St-Gédéon (Lac St-Jean Est).

Ces nouvelles données, intégrées aux données gravimétriques de 2009 (LaFlèche et al., 2009) et aux données d'hydrocarbures $C_1$-$C_4$ dans les sols, permettent de proposer de nouvelles orientations pour l'exploration de la région.

## 1.1. LOCALISATION DE LA PROPRIÉTÉ LAC ST-JEAN

**JAG** a acquis au lac St-Jean, une zone de 99 945 hectares, située dans les unités de roches sédimentaires ordoviciennes qui couvrent et entourent la partie ouest du lac St-Jean (Laroque et al., 2008). Le secteur demeure relativement inexploré jusqu'à maintenant pour son potentiel en hydrocarbures. Même si elle en est éloignée géographiquement, on considère cependant que la propriété Lac St-Jean fait partie du bassin des Basses-Terres du St-Laurent.

La propriété Lac St-Jean comprend cinq permis : 2006PG839, 2006PG840, 2006PG841, 2006PG842 et 2006PG843 (Fig. 1). Ces permis occupent une large superficie du côté ouest du lac St-Jean.

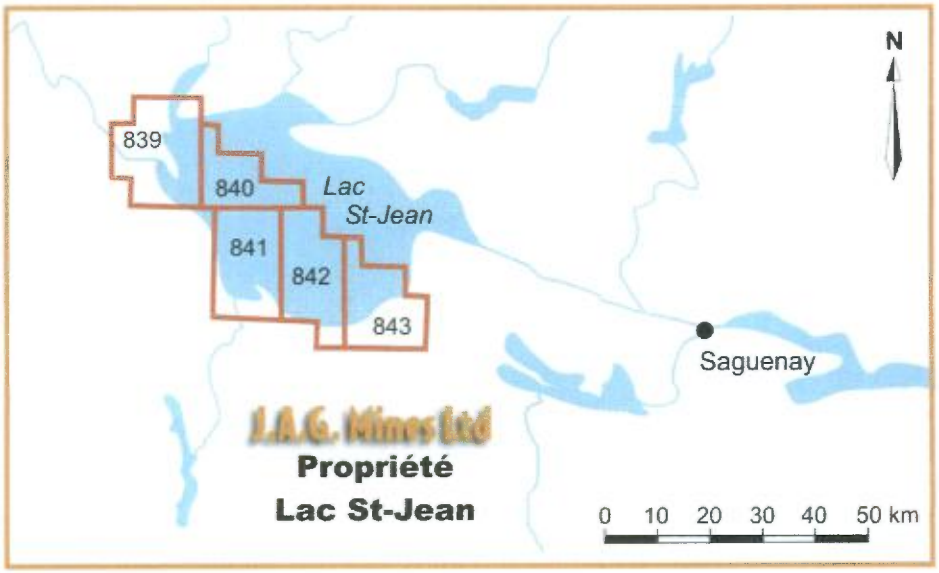



**Figure 1.** Localisation de la propriété Lac St-Jean, Les Mines **JAG** ltée.

# 2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET TRAVAUX ANTÉRIEURS

## 2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Bien que la grande région du lac St-Jean fasse partie de la province de Grenville, des roches sédimentaires ordoviciennes recouvrent en discordance stratigraphique les roches ignées et métamorphiques précambriennes le long de la rive sud-ouest du lac (Fig. 2). La séquence de roches sédimentaires totalise au moins 80m d'épaisseur sur la terre ferme, mais l'épaisseur des roches sédimentaires qui pourraient être présentes sous le lac St-Jean demeure inconnue.

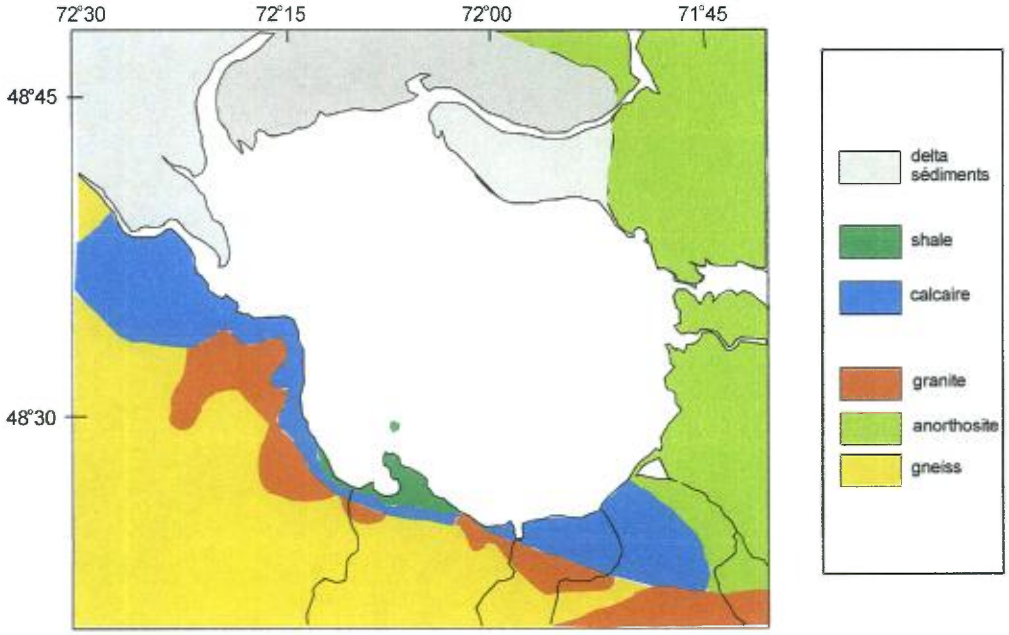


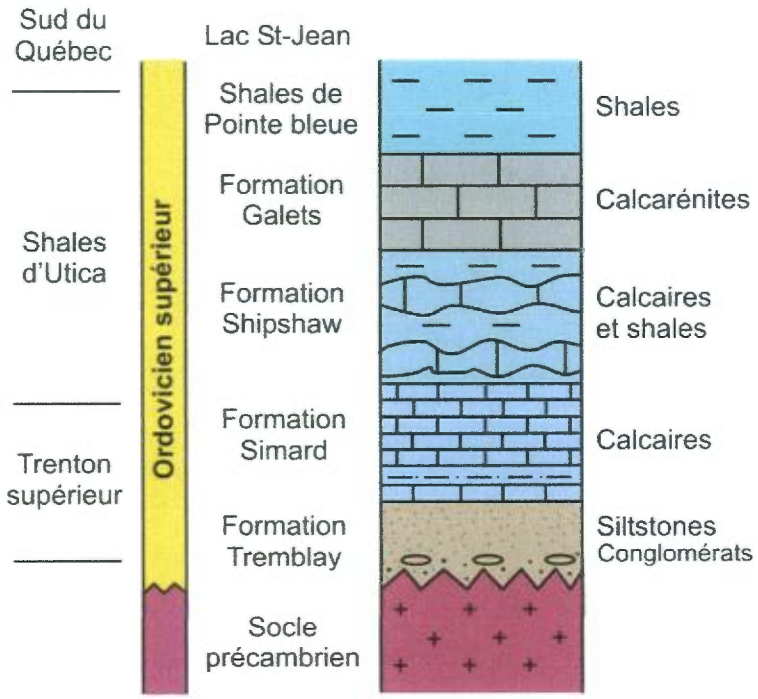

**Figure 2.** Géologie de la propriété Lac St-Jean, Les MInes **JAG** ltée.

### 2.1.1. Stratigraphie des roches sédimentaires ordoviciennes de la région du lac St-Jean

La séquence sédimentaire ordovicienne comprend quatre formations calcareuses surmontées de shales (bitumineux) de Pointe Bleue.

La Formation Tremblay repose en discordance sur le socle précambrien (Fig. 3). D'une épaisseur maximale de 5 m en milieu terrestre, elle est composée de conglomérats, de grès calcareux et de siltstones. La transition entre la Formation Tremblay et la Formation Simard sus-jacente est graduelle et placée là, où les lits de calcaire représentent plus de 50 % de la séquence rocheuse.

Des calcaires à grain fin sont présents à la base de la formation Simard. Le contenu en bioclastes augmente graduellement vers le sommet de la Formation dont l'épaisseur maximale est de 27 m (Desbiens et Lespérance, 1988; Lavoie et Asselin, 1998).




*Modifié de Lavoie et Asselin (1998)*

**Figure 3.** Stratigraphie de la propriété Lac St-Jean, Les Mines **JAG** ltée.

La transition entre les Formations Simard et Shipshaw (environ 20 m d'épaisseur) est aussi graduelle et marquée par une augmentation de la proportion de shales interlités aux calcaires qui atteint de 10 à 25 %.

La Formation Galets est principalement composée de calcarénites à bioclastes d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Elle est surmontée par les shales de Pointe Bleue, qui marquent, dans la région, l'enfouissement de la marge continentale à la fin de l'Ordovicien supérieur.

Stratigraphiquement, les calcaires de la région sont des équivalents du Trenton et les shales de Pointe-Bleue sont équivalents des shales d'Utica. Comparativement aux shales d'Utica présents dans le sud du Québec, les shales de Pointe-Bleue ont un plus grand potentiel pétroligène (Camiré et LaFlèche, 2008) d'où le qualificatif de shales bitumineux utilisé dans plusieurs rapports.

Suite à la dernière glaciation, la fonte des glaciers et l'enfoncement isostasique de la région ont provoqué l'apparition de la mer de Laflamme connectée directement au fleuve St-Laurent. Les rives de cette mer d'eau salée se situaient au pied du mont Lac-Vert au sud, puis à Lamarche et Saint-Ludger-de-Milot au nord. Au fil du temps, les eaux se sont retirées pour former le lac que l'on connaît aujourd'hui.

La carte altimétrique *Radarsat,* présentée à la **figure 4,** permet d'estimer l'étendu de l'ancienne mer quaternaire (zones en bleu sur la carte). Sur cette carte, la zone en bleu foncé correspond à une altitude de 100m (niveau actuel du lac St-Jean). Les zones en jaune, orangé et rouge sont des secteurs topographiquement plus élevés correspondants aux terrains gneisso-granitiques du bouclier précambrien (province tectonique du Grenville). Une zone structurale majeure orientée approximativement NO-SE et suivant le fjord du Saguenay correspond au graben du Saguenay. Ce dernier, datant de la fin

du précambrien au début du Cambrien serait responsable du développement d'un important réseau de fracturation ainsi que de la mise en place de magmas alcalins et possiblement de kimberlites.

Carte altimétrique du bassin du lac St-Jean

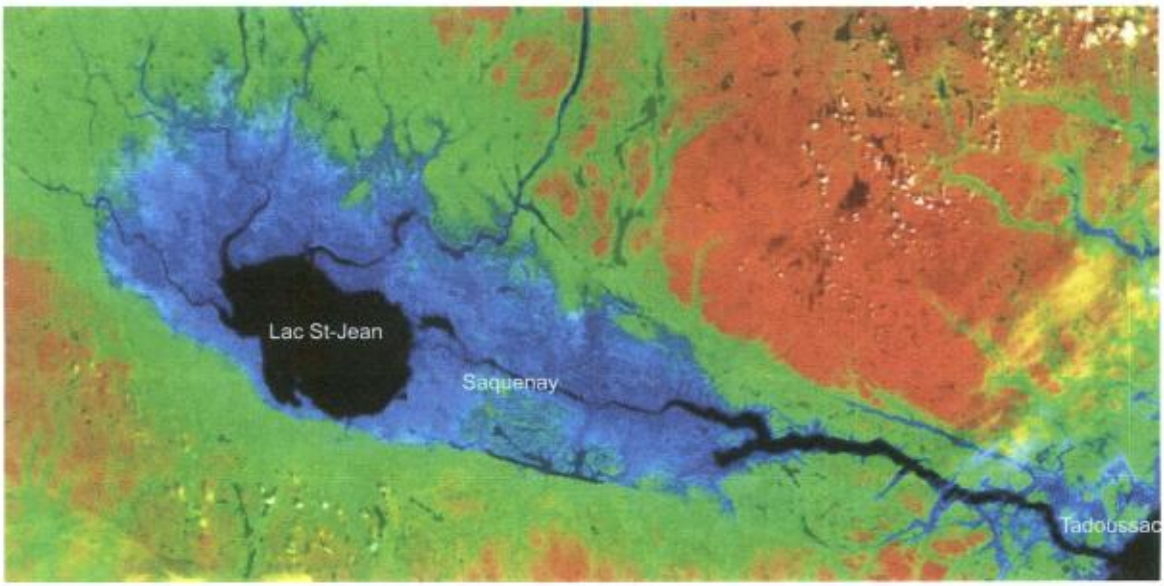



**Figure 4**. Carte altimétrique Radarsat du lac St Jean et du Saguenay. Notez que le lac St-Jean, représenté en bleu, est à une altitude d'environ 100m. Source: Ressources Naturelles Canada.

## 2.2. TRAVAUX ANTÉRIEURS

Les rapports de Laroche et LaFlèche (2006) et de Laroche et al. (2008) décrivent l'historique des travaux antérieurs réalisés pour l'exploration des hydrocarbures au lac St-Jean. Essentiellement, ces travaux se résument en l'implantation de trois puits pétroliers, d'une longueur maximale de 100 m, implantés en bordure du lac St-Jean (secteur de Metabetchouan-Chambord) entre 1954 et 1962 (Dennis, 1954; Simard, 1962). A l'exeption de ces puits superficiels, l'essentiel de la superficie du bassin sédimentaire n'a jamais fait l'objet d'investigations pour le potentiel en hydrocarbures.

## 2.3 TRAVAUX D'EXPLORATION RÉALISÉS POUR MINES JAG LTÉE.

Depuis 2007, Les Mines JAG Ltée réalisent des travaux d'exploration visant la recherche d'hydrocarbures au Lac St-Jean. Compte tenu de connaissances fragmentaires de la géologie régionale et en raison de la nature immergée d'une grande partie du bassin et de la très forte couverture de dépôts quaternaires sur les terres agricoles, la compagnie a mandaté des équipes pour vérifier si les conditions géologiques pouvaient avoir été favorables à la formation de gîtes d'hydrocarbures. Dans un premier temps, un levé magnétométrique de reconnaissance a été réalisé sur le lac en 2007 (LaFlèche et al., 2007). Ce levé a été suivit d'une étude portant sur le potentiel pétroligène des roches sédimentaires ordoviciennes (Camiré et LaFlèche, 2008). Par la suite, un levé pédogéochimique des hydrocarbures $C_1$-$C_4$ présents dans les sols de la région ainsi qu'un levé radiométrique ont été réalisés (LaFlèche et al., 2008).

Ces études ont démontré que la maturation thermique de la matière organique contenue dans les roches sédimentaires est dans la fenêtre de stabilité de l'huile. Le potentiel pétroligène des shales bitumineux de Point-Bleue indique un très fort potentiel de génération d'hydrocarbures. Cette unité constitue la roche mère la plus riche en matière organique présentement reconnue au Québec. Les résultats des levés de gaz $C_1$-$C_4$ dans les sols de la région montrent la présence de fortes concentrations en gaz $C_1$-$C_4$ dans les sols des régions de St-Prime, Chambord et Métabetchouan (LaFlèche et Aznar, 2008). Dans ces régions, les zones anomaliques en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ montrent une signature géochimique compatible avec une origine thermogénique et avec la présence de sources pouvant contenir de l'huile. Ces résultats suggèrent que, localement, des processus de migration des hydrocarbures sont actifs. Sachant que la région contient des roches mères de très bonne qualité et que des hydrocarbures gazeux circulent localement vers la surface, il s'agit maintenant d'identifier des réservoirs et des structures pouvant piéger les hydrocarbures.

Un second levé magnétométrique, géographiquement restreint, a été réalisé le long du réseau de lignes gravimétriques de l'hiver 2009 (LaFlèche et al., 2009). Ce levé a permis de détecter des structures suggérant entre autre une remontée du socle précambrien dans la partie centrale du lac. Les données gravimétriques et magnétométriques, mesurées lors du levé sur glace, suggèrent une géologie complexe. De fortes anisotropies magnétiques et gravimétriques reflétant des variations de densité ou de susceptibilité magnétique des roches et sédiments quaternaires témoignent d'importantes variations d'épaisseur des roches de couverture ainsi que de la présence de roches du socle dans certains secteurs du bassin.

## 3. BATHYMÉTRIE DU LAC ST JEAN

Le lac St-Jean occupe une superficie de 104118 hectares et sa profondeur maximale est de 64m (**Fig.5**). L'altitude du plan d'eau en période estivale normale est d'environ 100m. Ce niveau est maintenu par le barrage de l'Isle-Maligne, propriété de Rio-Tinto-Alcan, situé au sud-est du lac.

La carte bathymétrique permet de visualiser les variations de profondeur du lac en période estivale (**Fig. 5**). Cette dernière montre une faible bathymétrie dans les secteurs de Metabetchouan, Desbiens, Chambord et Roberval. Dans ces secteurs, la bathymétrie varie de 0 à 6 m et les sédiments de fond sont surtout constitués de vase. À l'est de l'île aux Couleuvres et près de l'embouchure de la rivière Metabetchouan, le fond du lac est généralement sableux ou graveleux. Localement, entre la pointe de Chambord et l'île de la Traverse, le roc est présent sous l'eau. Ce roc est également omniprésent du côté nord de l'île de la Traverse. L'extrémité N-O du lac est marquée par une bathymétrie inférieure à 3m. Cette faible bathymétrie est associée à un fort degré d'ensablement du secteur (zone deltaïque de la rivière Mistassini). Cette région, située entre Saint-Prime et l'île Bouliane (à l'embouchure de la rivière Péribonka) est très difficilement navigable en période estivale.

Une fosse orientée approximativement à N330° est présente à environ 12 km au nord-est de la pointe de Chambord (*fosse centrale*). Cette dernière montre des variations bathymétriques de 15 à 64 m. Une seconde fosse (*fosse nord*), plus large et moins linéaire, est présente à environ 11 km au nord-ouest du secteur St-Gédéon. Cette fosse est caractérisée par des profondeurs variant de 18 à 46m (**Fig. 5**). Notez que la fosse orientée à N330° s'aligne sur des linéaments régionaux probablement associés au graben du Saguenay.

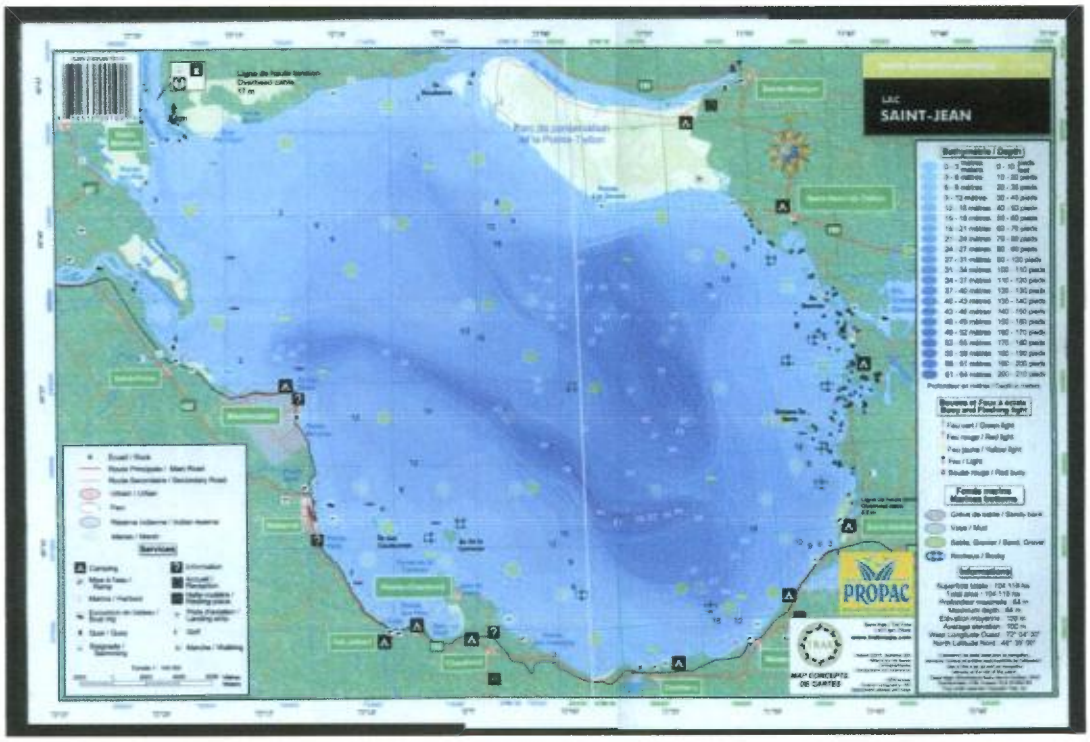



**Figure 5**. Carte bathymétrique du lac St Jean. Notez la présence de fosses plus profondes dans les parties centre et est du bassin. Source: *Trak inc.*

# 4. MÉTHODOLOGIE

## 4.1 LEVÉ MAGNÉTOMÉTRIQUE

La réalisation des levés magnétométriques était initialement planifiée pour l'hiver 2010. En février 2010, nous avons réalisé plusieurs sections entre St-Gédéon et Métabetchouan. Ces levés étaient périlleux en raison de la très faible épaisseur de glace sur le lac St-Jean durant l'hiver 2010. Les motoneiges et la chenillette Argo ce sont embourbées dans un mélange d'eau, de neige et de glaces fragmentés rendant impossible la poursuite sécuritaire du levé. Les levés magnétométriques sur le lac St-Jean ont donc été reportés en juin 2010. Pour réaliser ces levés, nous avons utilisé deux bateaux de l'INRS (Le Pélican et Le Cormoran) (Fig. 6).

### 4.1.1 Levé *Geometrics* G882

Pour le levé magnétométrique avec le Pélican, l'équipage a utilisé un magnétomètre subaquatique Geometrics (G882, modèle 2010) (Figs. 7 et 8). Ce magnétomètre au césium est équipé en autre d'un sonar et d'une sonde altimétrique. Ce système enregistre des données à une fréquence de 10 Hz (10 mesures/seconde). Compte tenu d'une hauteur des eaux du lac St-Jean nettement inférieure à la normale, nous avons fixé le magnétomètre Geometrics sous un catamaran. Ce dispositif à maintenu le magnétomètre à une profondeur constante de 35cm sous l'interface air-eau. Le dispositif d'encrage a été spécialement construit pour ce levé. Il est constitué d'une armature en aluminium anodisé et de brass.

### 4.1.2 Levé GSM-19WG

Le levé avec le Cormoran, un bateau pneumatique marin de 22 pieds à coque rigide, a été réalisé en utilisant un montage fixé sur un petit bateau pneumatique de 12 pieds (sans structure métallique) (Fig. 6). Lors des acquisitions, le magnétomètre GSM-19WG-DGPS était à une distance de 25m à l'arrière du Cormoran.

Les options du GSM-19WG permettent une opération en mode continu et ou discontinu. L'appareil utilise le principe de l'effet Overhauser pour accentuer la polarisation des protons. Contrairement aux magnétomètres classiques à protons, la cellule de ce magnétomètre contient un radical libre ainsi qu'un générateur de radiofréquence (RF) qui permet de perturber le couplage électron-proton. En saturant les lignes de résonance des électrons libres, la polarisation des protons est plus efficace. Ce phénomène se traduit par la production de signaux plus intenses et ce malgré la présence de détecteurs sensiblement plus petits (utilisant moins d'énergie). De plus, le système de détection de l'appareil est plus tolérant à de fortes variations locales du champ magnétique.

Les données magnétométriques GSM-19 ont été prélevées à une fréquence de 5Hz ce qui correspond à cinq mesures par seconde. Ce mode d'acquisition génère de très gros fichiers de données (pouvant dépasser 160 000 lignes de données par jour). Le transfert sur ordinateur PC de ces données requière l'utilisation du logiciel de transfert (GSM35) développé par *GEM systems* pour le transfert de données de levé héliporté.

Les données du champ magnétique total ont été corrigées pour tenir compte de l'effet de dérive du champ magnétique terrestre. Pour ce faire, nous avons utilisé une station de base (magnétomètre) de type GSM-19 fonctionnant en mode automatique (une mesure aux 4 secondes). Ces données ont été utilisées pour corriger les fluctuations reliées aux variations diurnes du champ magnétique terrestre. Dans des conditions idéales, la sensibilité de l'appareil est de 0,01 nT et en fonction d'écarts considérables de température cette sensibilité peut atteindre 0,2 nT.

Les données de positionnement DGPS ont été acquises à l'aide d'un DGPS Novatel spécialement conçu pour une utilisation avec un magnétomètre et possédant la capacité de capter les signaux du système canadien CDGPS. L'utilisation de ces données de correction permet d'obtenir une résolution sub-métrique et ce sans interférer avec les données du magnétomètre. Comme spécifié par GEM systems, l'antenne du GPS était située à plus de 50 cm des senseurs magnétiques.

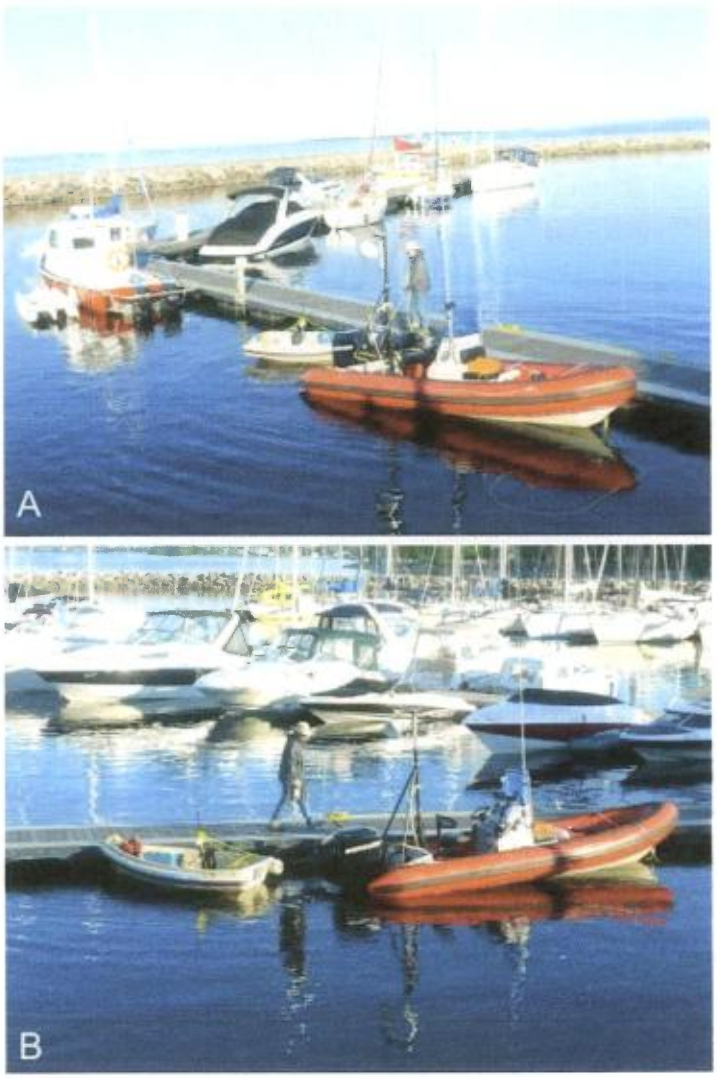



Figure 6. Bateaux utilisés pour la réalisation du levé magnétométrique aquatique sur le lac St-Jean. Marina de Roberval.

Figure 7. Levé magnétométrique Geometrics G882 sur le lac St-Jean. Le magnétomètre subaquatique est fixé sous le catamaran à une profondeur de 35cm.

Figure 8. Levé magnétométrique Geometrics G882 sur le lac St-Jean. Fixation du câble électrique recouvert de kevlar (en vert) et du câble de traction en rouge.

Pour le levé hivernal, nous avons fait construire un toboggan en bois et fibre de verre recouvert d'une toile avec armature en tubage de PVC évitant ainsi toutes possibilités de perturbation du champ magnétique par des pièces métalliques à fortes susceptibilités magnétiques (ex. acier normal). En période d'acquisition, le toboggan était en tout temps à plus de 15m de la chenillette (Fig. 9).

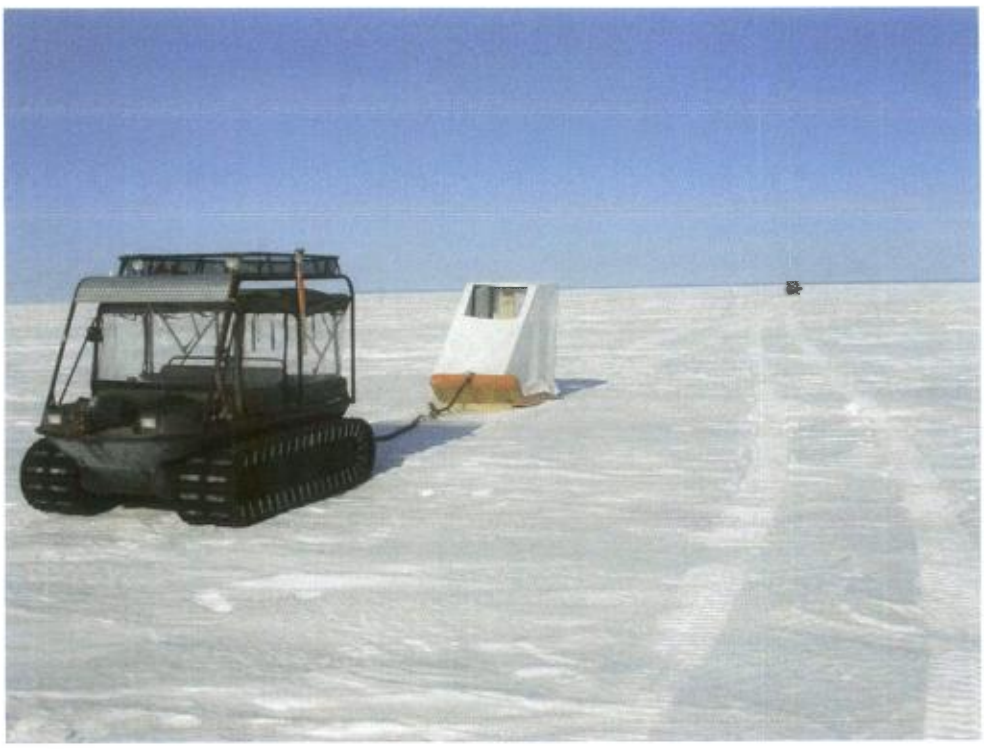


Figure 9. Levé magnétométrique GSM-19WG avec DGPS sur la glace du lac St-Jean.

### 4.2. STATIONS DE BASE ET MONITORING DE LA DÉRIVE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TOTAL

Les figures 10 et 11 montrent la variabilité du champ magnétique total observée aux stations de Pointe Bleue (Domaine Philippe) et de Chambord (halte routière provinciale). Pour la période d'acquisition à la station de Pointe-Bleue, le champ magnétique total augmentait systématiquement du matin (début de l'acquisition) à la fin de l'après-midi (Fig. 10). Par la suite, les valeurs diminuaient et variaient d'une façon monotone durant la soirée. Entre le 17 et 22 juin, la variabilité maximale a été d'environ 30 nT. Pour les acquisitions du 23 et 24 juin, une station de base située à la halte routière de Chambord a été utilisée. Pour cette station, la figure 11 montre une augmentation progressive du champ total dans la journée du 23 juin et une faible variabilité pour les deux premières heures du levé de la journée du 24 juin. Dans l'ensemble, nos données ne montrent pas de fortes perturbations géomagnétiques.

Les données acquises aux stations de base ont été utilisées pour corriger les données des levés magnétométriques mobiles (GSM19 et Geometrics G882). Les données, présentées dans ce rapport, ont été systématiquement corrigées pour compenser les dérives diurnes du champ magnétique terrestre.

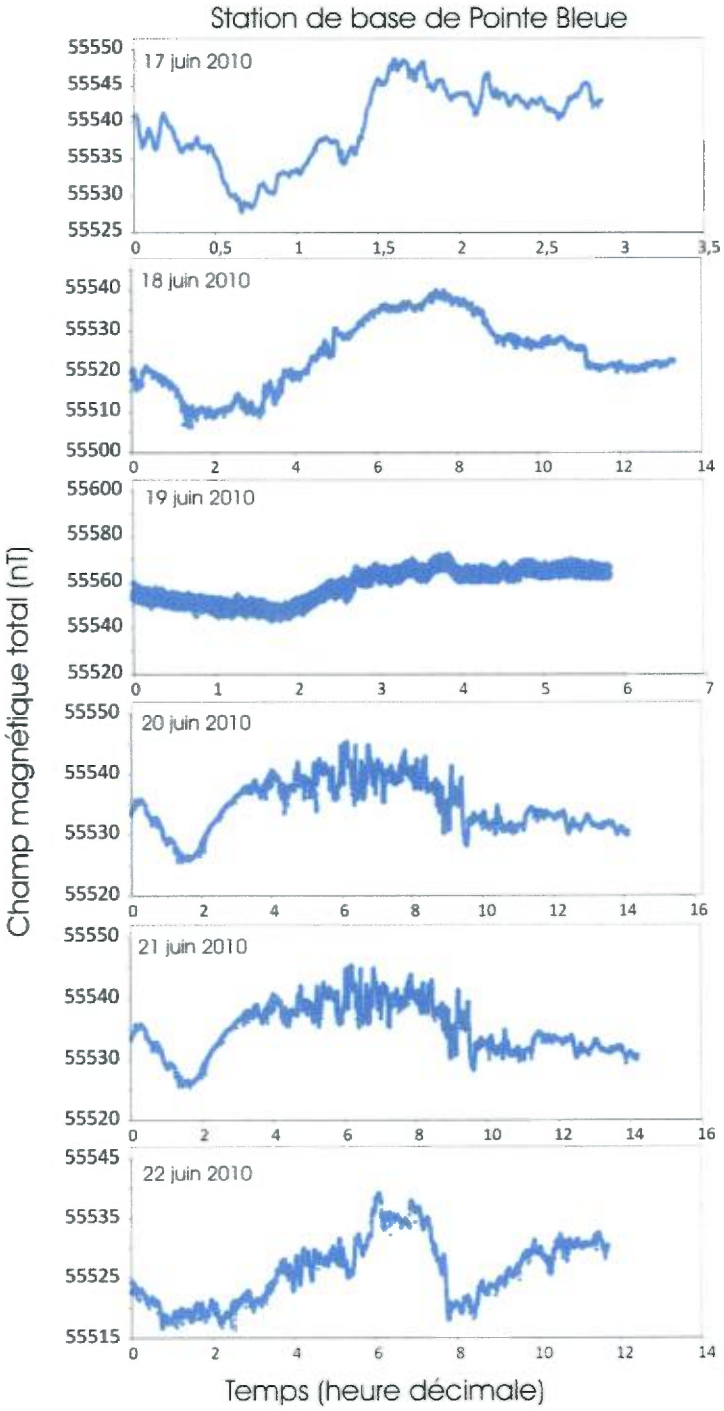



Figure 10. Variations diurnes du champ magnétique total observées à la station de base de Pointe-Bleue (Mashteuiatsh).

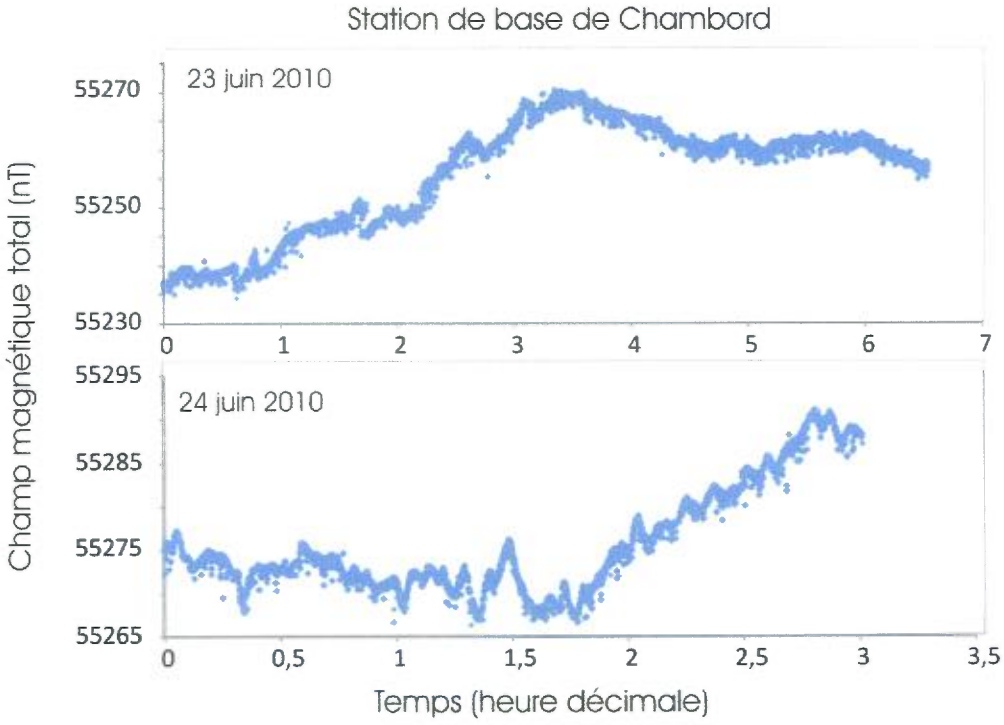



Figure 11. Variations diurnes du champ magnétique total observées à la station de base de Chambord.

### 4. 3. LEVÉ GRAVIMÉTRIQUE

Dans ce projet nous avons réalisé un levé gravimétrique terrestre totalisant 1092 stations. Un gravimètre de type CG5 de la compagnie Scintrex (Ontario, Canada) a été utilisé (Figs. 12 et 13). 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 de mesure. Ces données peuvent être ultérieurement filtrées à l'aide de transformées de Fourier afin d'éliminer les perturbations reliées à certaines vibrations du sol ou de la glace (ondes séismiques, vibrations anthropiques). Ce filtrage des données permet l'obtention de données gravimétriques de bonne qualité.

**Figure 12.** Gravimètre CG5 (Scintrex) utilisé pour le projet Lac St-Jean. La photographie montre la station de base 99999 située en bordure du lac St-Jean dans la municipalité de Desbiens (secteur du musée archéologique).

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 séismique ainsi qu'une correction de marée ont été automatiquement calculés par le processeur du CG5. En plus de ces données, nous avons transféré les données brutes (mesures à 6Hz; 6 mesures par seconde) pour permettre une étude approfondie des spectres.

**Figure 13.** Gravimètre CG5 (Scintrex) utilisé pour le projet Lac St-Jean. Opération du CG5 en bordure de chemin. Opérateur Nicolas Tremblay (étudiant en génie géologique, U. Laval).

### 4.3.1 Corrections des données gravimétriques

Les données gravimétriques enregistrées par le gravimètre CG5 sont relatives. Pour obtenir des données absolues, nous avons utilisé la station *9644-1965* de la Commission géologique du Canada (CGC) pour calibrer notre station de base. La station *9644-1965* de la CGC à une valeur de 980844,630 mgals. Elle est située près du pont du chemin de fer du Canadien National à Val-Jalbert (rivière Quiatchouan). Pour établir la valeur de la station de base INRS de Desbiens (station *99999*) (Fig. 12), nous avons fait, dans une même journée, plusieurs séries de mesure aux stations *9644-1965* et *99999*. Après correction des données, pour la dérive instrumentale et l'effet de marée, nous avons fixé une valeur de 980837,283 mgals à la station 99999 de Desbiens (station INRS). Notez que la station INRS-99999 de Desbiens est située à la coordonnée (UTM-Nad83) 280753,61 E et 5367280,15 N et son altitude est de 107,73m. La position de cette station a été prise à partir de mesures RTK (système ProMark500 de Magellan avec radios Pacific Crest). Ce système a également été utilisé pour positionner l'ensemble des stations gravimétriques du lac St-Jean (2009 et 2010).

Pour minimiser le transport du gravimètre, nous avons utilisé de nouvelles stations de base situées à Métabetchouan et St-Gédéon. Comme pour la station de Desbiens, ces deux stations de base ont été mesurées à plusieurs reprises dans une même journée.

Les données, enregistrées par le gravimètre CG5 et la station GPS-RTK, ont été transférées dans un ordinateur de terrain. Ces dernières ont été regroupées en fonction du numéro de la station, de la journée d'acquisition et de l'heure GMT. Une fois filtrées, pour éliminer les perturbations anthropiques (ex. vibration en bordure de chemin), les corrections suivantes ont été apportées aux données gravimétriques:

1) correction pour la hauteur de l'instrument

2) correction pour la dérive instrumentale

3) calcul de la gravité absolue

4) calcul de la gravité théorique (latitude)

5) calcul de la correction air libre et de l'anomalie air libre

6) calcul de la correction de Bouguer et de l'anomalie de Bouguer

7) calcul des valeurs de gravité finale (incluant la correction de terrain)

Notez que la correction de marée a été automatiquement appliquée par le gravimètre CG5. Pour plus d'informations sur les corrections des données gravimétriques, le lecteur peut consulter les ouvrages de Cogbill (1990) et de Hinze et al. (2003, 2005).

#### 4.3.1.1 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 ou de la glace.

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

$R_h$ : 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 ou de la glace (en mètres)

#### 4.3.1.2 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 valeurs mesurées à la station de base entre le début et la fin d'un cycle d'acquisition. Cette dérive est exprimée en mgals/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 :

$$Cor_{der} = Derive * Temps$$

$Cor_{der}$ : 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.

### 4.3.1.3 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)

### 4.3.1.4 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.

#### 4.3.1.5 **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 est la suivante :

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

$G_{FA}$ : Anomalie air libre (mgals)
$G_A$ : Gravité absolue (mgals)
$G_l$ : Correction de latitude (mgals)
$h_s$ : Élévation de la station de mesure (en mètres)

#### 4.3.1.6 **Correction de Bouguer et anomalie de Bouguer**

L'anomalie de Bouguer observée sur les cartes gravimétriques peut provenir de plusieurs sources. Par exemple, ces dernières peuvent être des structures très profondes associées à des variations d'élévation du socle métamorphique présent sous un bassin sédimentaire. Des structures présentes à des profondeurs intermédiaires comme des formations évaporitiques (formations de sel) ou des corps intrusifs injectés 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 parfois associées à la présence de failles régionales.

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. Cette formulation permet entre autre de tenir compte de l'effet de la glace et de l'épaisseur de la colonne d'eau lors d'un levé hivernal sur la glace. Pour les levés terrestres, nous avons fixé les valeurs de $h_s$ et $h_w$ à 0.

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

$G_{ba}$: anomalie de Bouguer (mgals)

$G_{fa}$: anomalie air libre (mgals)

$\rho$: densité de Bouguer des roches (g/cc)

$\rho_w$: densité de Bouguer de l'eau douce (g/cc)

$\rho_i$: densité de Bouguer de la glace (g/cc)

$h_s$: élevation de la station de mesure (m)

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

$h_i$: épaisseur de la glace (m)

# 5. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES DONNÉES

## 5.1 DONNÉES MAGNÉTOMÉTRIQUES

### 5.1.1 Trajectoires du levé magnétométrique

Dans cette partie du rapport nous présentons les données magnétiques (champ total) obtenues lors du levé magnétométrique 2010 réalisé sur le lac St-Jean. Les trajectoires du levé aquatique sont indiquées sur la figure 14. Notez que les lignes d'acquisition sont orientées NE-SO d'une façon perpendiculaire au contact présumé entre le bassin ordovicien et le socle précambrien. De plus, plusieurs lignes perpendiculaires (NO-SE) ont aussi été réalisées.

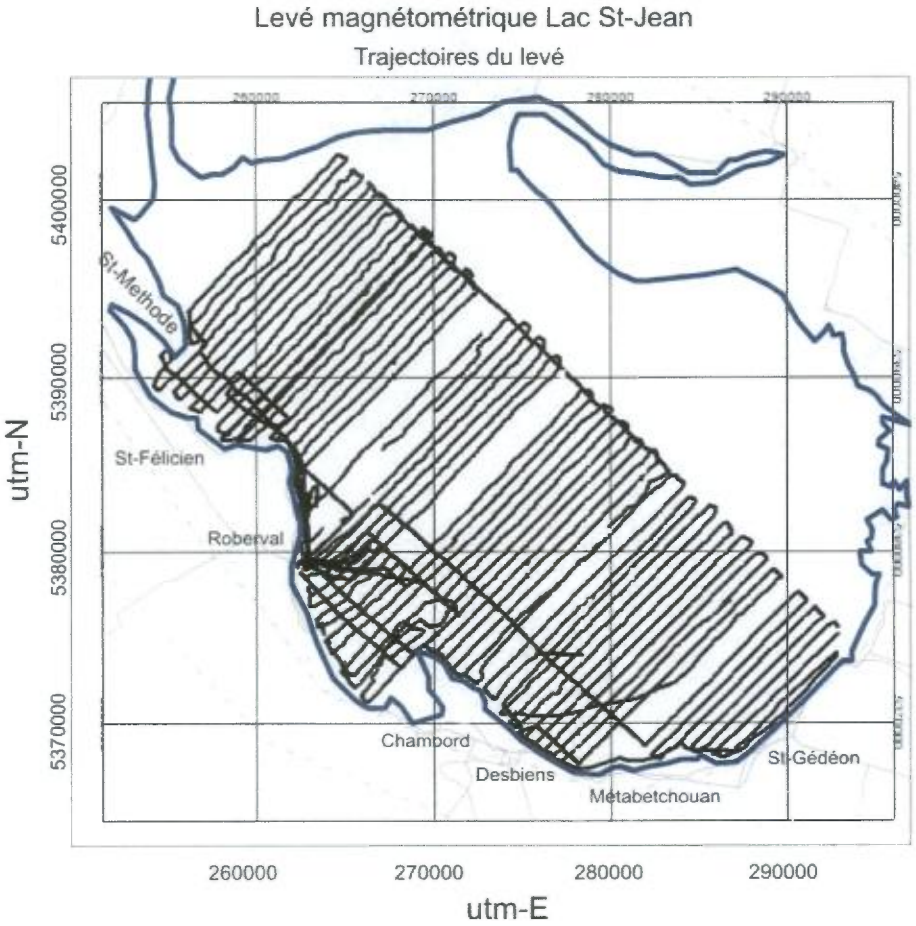



**Figure 14.** Trajectoires du levé magnétométrique aquatique de 2010.

### 5.1.2 Présentation des données magnétométriques

La distribution spatiale des valeurs du champ magnétique total ainsi que de ces valeurs transformées (données IGRF, réduction au pôle, dérivée première verticale, intégration verticale, signal analytique et continuation vers le bas) sont présentées aux figures 15 à 21.

#### 5.1.2.1 *Champ magnétique total (et IGRF)*

Les figures 15 et 16 présentent respectivement les valeurs du champ magnétique total et les valeurs du champ magnétique total résiduel, suite à la soustraction des données du champ géomagnétique régional calculées à l'aide du modèle **IGRF** (*International Geomagnetic Reference Field*). Les valeurs du modèle IGRF ont été calculées pour le 24 juin 2010, à partir des coordonnées de latitude et de longitude des stations de mesure. Compte tenu du très grand nombre de données à calculer (environ 1,6 million), nous avons utilisé le logiciel Qctool (version 2.2.1).

Les cartes des valeurs du champ total (et IGRF) montrent de fortes anisotropies régionales (Figs. 15 et 16). Pour faciliter l'interprétation des cartes, nous avons indiqué la présence de dix domaines de valeurs magnétiques géologiquement significatives (I à X sur les cartes). Ces domaines sont présentés séquentiellement du NO (St-Méthode) vers le SE du lac (St-Gédéon).

Le ***domaine I*** correspond à une anomalie de forme sub-circulaire d'un diamètre de 2 km et présent près de la pointe St-Méthode. Cette anomalie pourrait correspondre à une petite masse granitique sub-affleurante.

Le ***domaine II*** occupe une grande superficie à l'extrémité NO du lac St-Jean. Ce domaine est constitué d'un regroupement de valeurs intermédiaires du champ magnétique total. Ce domaine, qui occupe une surface de 18 km * 8 km, est entre autre caractérisé par une très faible bathymétrie et par la présence d'un fond sédimentaire sableux homogène et variablement recouvert

de matériaux vaseux. Ces sédiments ce sont possiblement déposés dans un milieu deltaïque (delta de la rivière Mistassini).

Le ***domaine III*** correspond à un rehaussement des valeurs du champ total situé en face de la marina de Roberval. La zone débute près du littoral et s'étend 8km vers l'est. Notez que dans ce secteur de la Pointe McLaren, les calcaires ordoviciens sont présents en bordure du lac. La signature magnétique observée ne reflète donc pas la signature peu magnétique normalement associée à ce type de roche. L'accumulation de sédiments quaternaires plus magnétiques ou la présence des shales de Pointe Bleue pourraient expliquer la signature magnétique observée dans le secteur.

Le ***domaine IV*** correspond à une anomalie ponctuelle d'environ 3km de diamètre située en bordure de la route provinciale reliant Val-Jalbert et Roberval. Cette anomalie est probablement reliée à la présence d'un granitoïde injecté dans le socle à cet endroit. Notez qu'en bordure du lac, ces roches sont recouvertes de sédiments quaternaires.

Le ***domaine V***, situé dans le secteur de la Baie Doré et du coté ouest de la Pointe de Chambord, correspond à une zone de très faibles valeurs du champ magnétique total. La géologie de ce secteur indique la présence des shales de Pointe Bleue ainsi qu'une très faible épaisseur de dépôts quaternaires. Cette signature magnétique est probablement la plus représentative du bassin de roches ordoviciennes du lac St-Jean.

Le ***domaine VI*** correspond aux anomalies magnétique et gravimétrique centrales présentées dans le rapport de LaFlèche et al. (2009). Cette importante zone anomalique, orientée NNO-SSE, s'étend sur une longueur minimale de 18km. Sa largeur maximale est de 7,5km dans sa partie centrale. La géométrie de l'anomalie et son intensité absolue ne peuvent s'expliquer que par la présence de roches du socle précambrien à cet endroit. Ce haut

magnétique semble séparer le bassin de roches sédimentaires ordoviciennes en deux sous bassins (un vers le SE et l'autre vers le NO).

Le ***domaine VII*** est situé au NE de Chambord et au SE de l'anomalie magnétique centrale (domaine VI). Sur le littoral, de nombreux affleurements de calcaire témoignent de la nature sédimentaire du substrat rocheux dans ce secteur. Il est hautement probable que les roches présentes sous le lac dans ce secteur soient aussi ordoviciennes.

Le **domaine VIII** est caractérisé par la présence de fortes valeurs du champ magnétique total. Ce domaine occupe une superficie de 5km * 3,5km. Il est situé à 2,5 km à l'est de l'anomalie magnétique centrale (domaine VI). La signature magnétique observée dans le domaine VIII est probablement attribuable à la présence de roches du socle précambrien.

Le ***domaine IX*** est une zone de 10km * 7km située au large de Desbiens et Métabetchouan. La signature magnétique observée dans ce secteur pourrait réfleter la présence de calcaires. Ces derniers sont observés dans les rangs 3 et 4 de Métabetchouan. Notez que dans ce secteur, LaFlèche et al. (2008) ont rapporté la présence de très fortes concentrations en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ thermogéniques dans les sols.

Le ***domaine X*** correspond à la très forte anomalie magnétique observée dans le secteur de St-Gédéon. Cette signature doit refléter la présence d'une unité intrusive dans le socle précambrien. L'anomalie, qui occupe une superficie minimale de 12 km * 7 km, s'étend vers le SE à l'extérieur de la carte (figs 15 et 16).

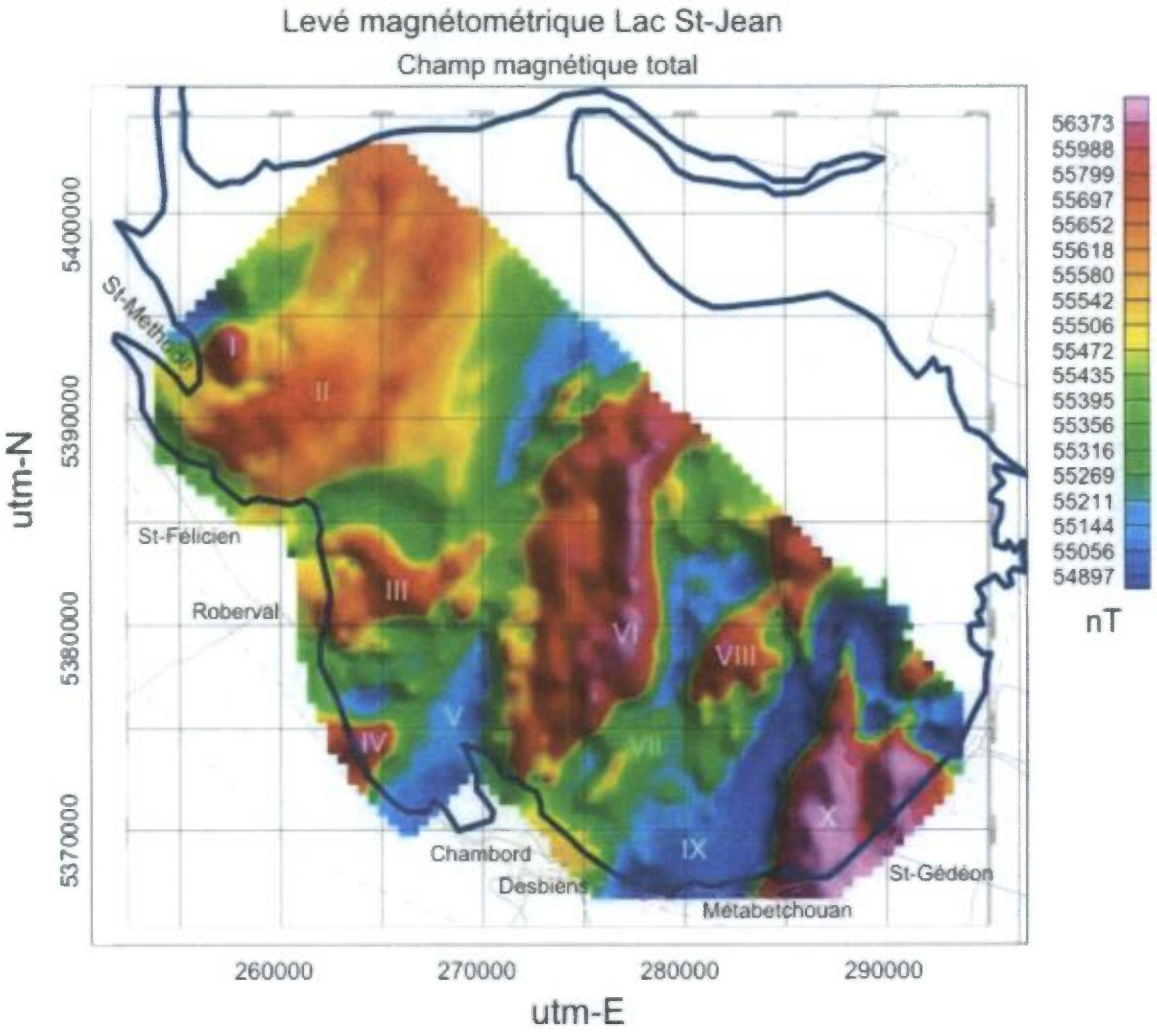



**Figure 15**. Carte montrant la variabilité spatiale de l'intensité du champ magnétique total mesuré sur le lac St-Jean. Les données du levé magnétométrique sont interpolées par krigeage.

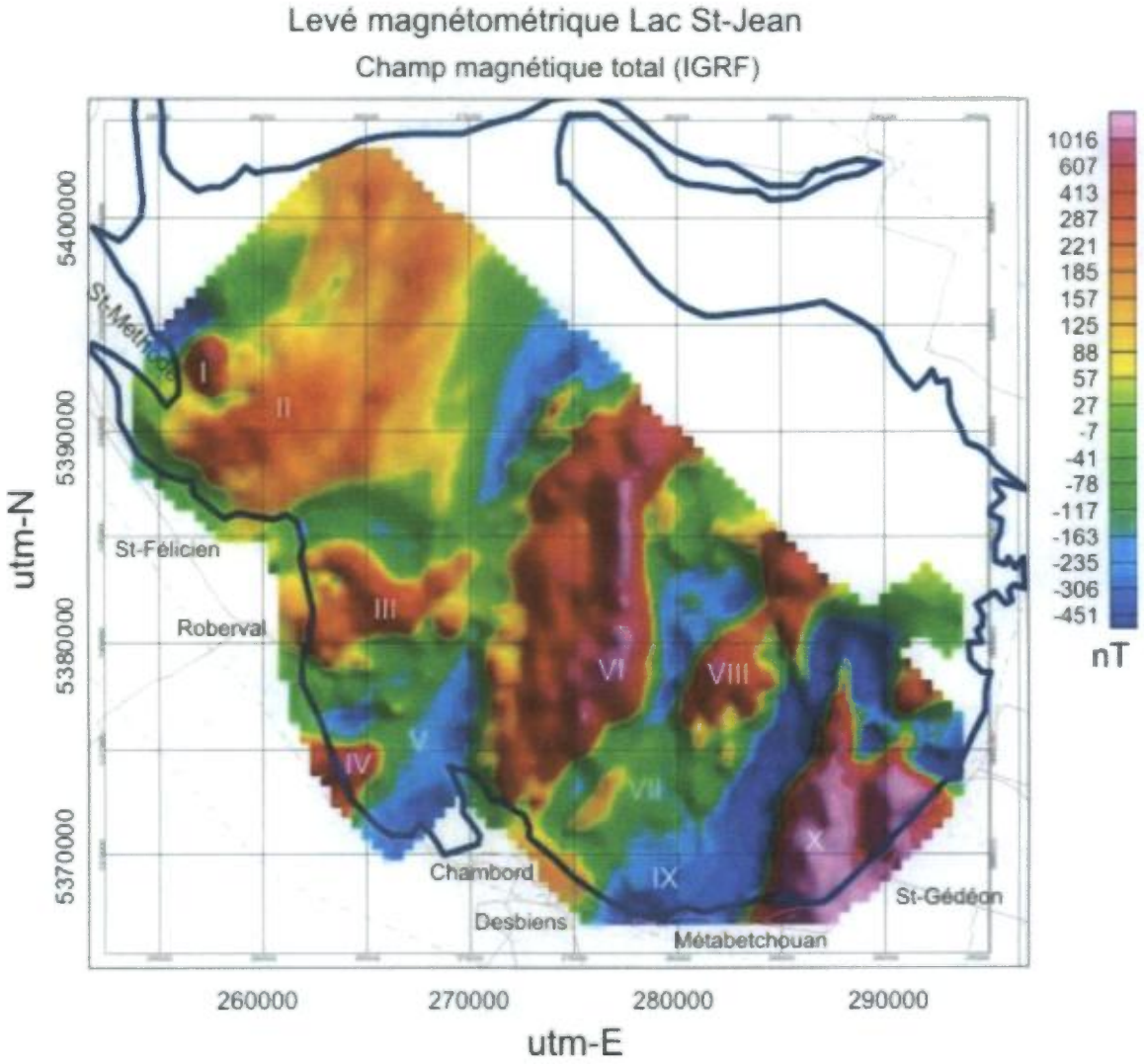



**Figure 16.** Carte montrant la variabilité spatiale de l'intensité du champ magnétique total corrigé en éliminant la composante du champ géomagnétique régional (filtrage IGRF). Les données filtrées sont interpolées par krigeage.

#### 5.1.2.2 *Dérivée verticale première du champ magnétique total*

La carte des valeurs de la dérivée verticale première du champ magnétique total est présentée à la figure 17. Cette transformation des données permet de préciser la position des contacts entre les différentes masses de matériaux géologiques (amélioration de la résolution spatiale) (Blakely et Simpson, 1986). La dérivée verticale première mesure le taux de changement vertical du champ magnétique total. Elle tend à minimiser les anomalies de très grandes longueurs d'onde et à rehausser les anomalies de plus hautes fréquences.

La carte des valeurs de la dérivée verticale première (Fig. 17) montre sensiblement les mêmes éléments que la carte du champ magnétique total (Fig 15). Contrairement aux cartes précédentes, la carte des valeurs de la dérivée verticale montre des contacts plus francs entre les différents domaines magnétiques identifiés sur les figures 15 et 16. Par exemple, les anomalies attribuées à la présence probable de granitoïdes dans le socle précambrien sont très évidentes (domaines I, IV, VI, VIII et X).

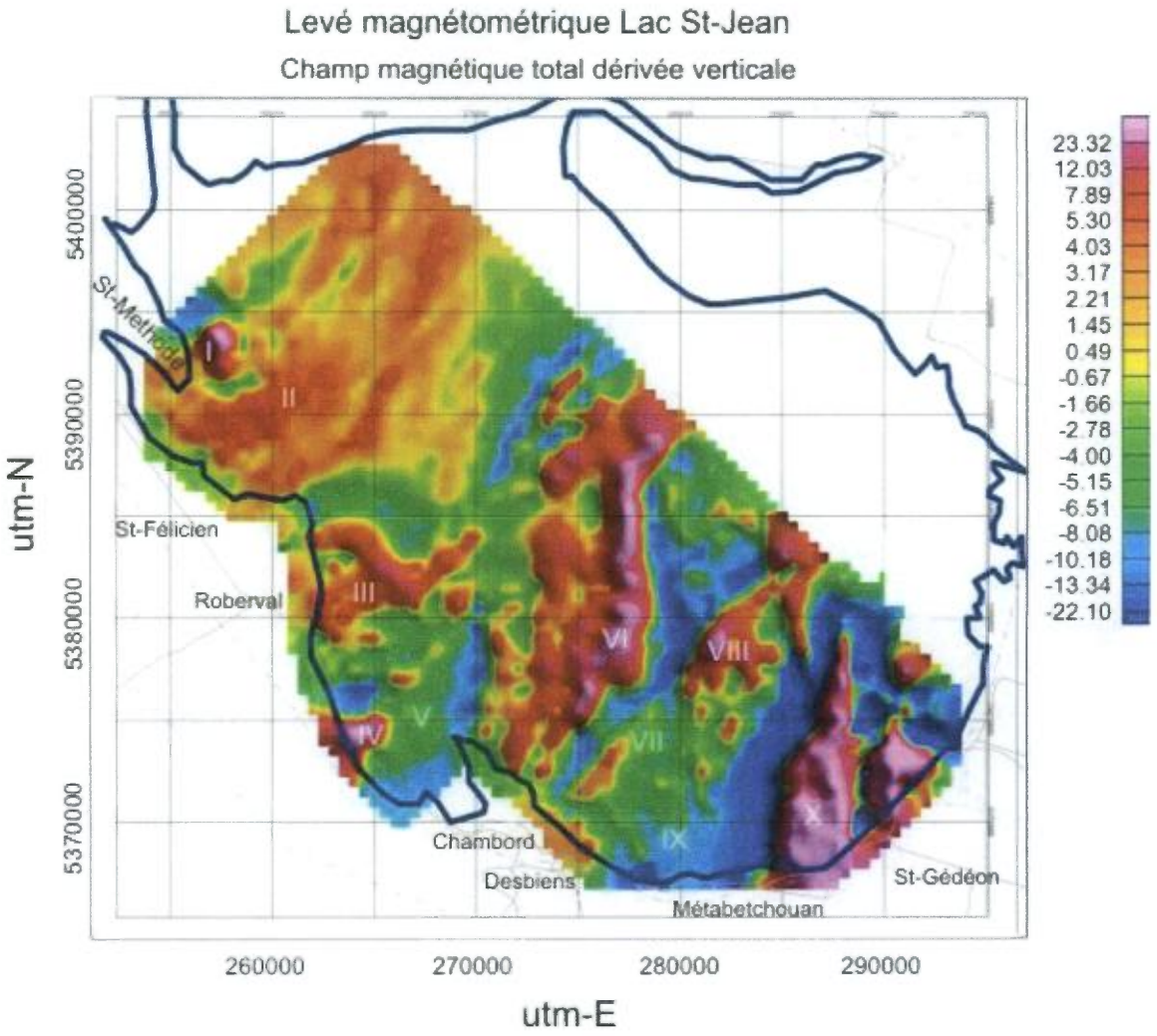



**Figure 17.** Carte montrant la dérivée verticale première du champ magnétique total. Ces données sont interpolées par krigeage.

### 5.1.2.3 *Réduction au pôle des valeurs du champ magnétique total*

Ce mode de présentation des données permet de corriger l'effet anisotropique relié à la déclinaison et à l'inclinaison du champ magnétique terrestre (Fig. 18). Notez que dans le secteur du Lac St-Jean, la déclinaison est de l'ordre de -16,939° +/- 0,005 et l'inclinaison de 72,55 +/- 0,05 degrés par rapport à l'horizontal. Dans le cas présent, cette transformation des données ne modifie par significativement l'interprétation des données et nous retrouvons les mêmes domaines anomaliques que sur les cartes précédentes (Figs 15 à 17). Notez toutefois que la position géométrique des anomalies corrigées par la technique de réduction au pôle se superpose avantageusement à celles des roches responsables de la formation des anomalies.

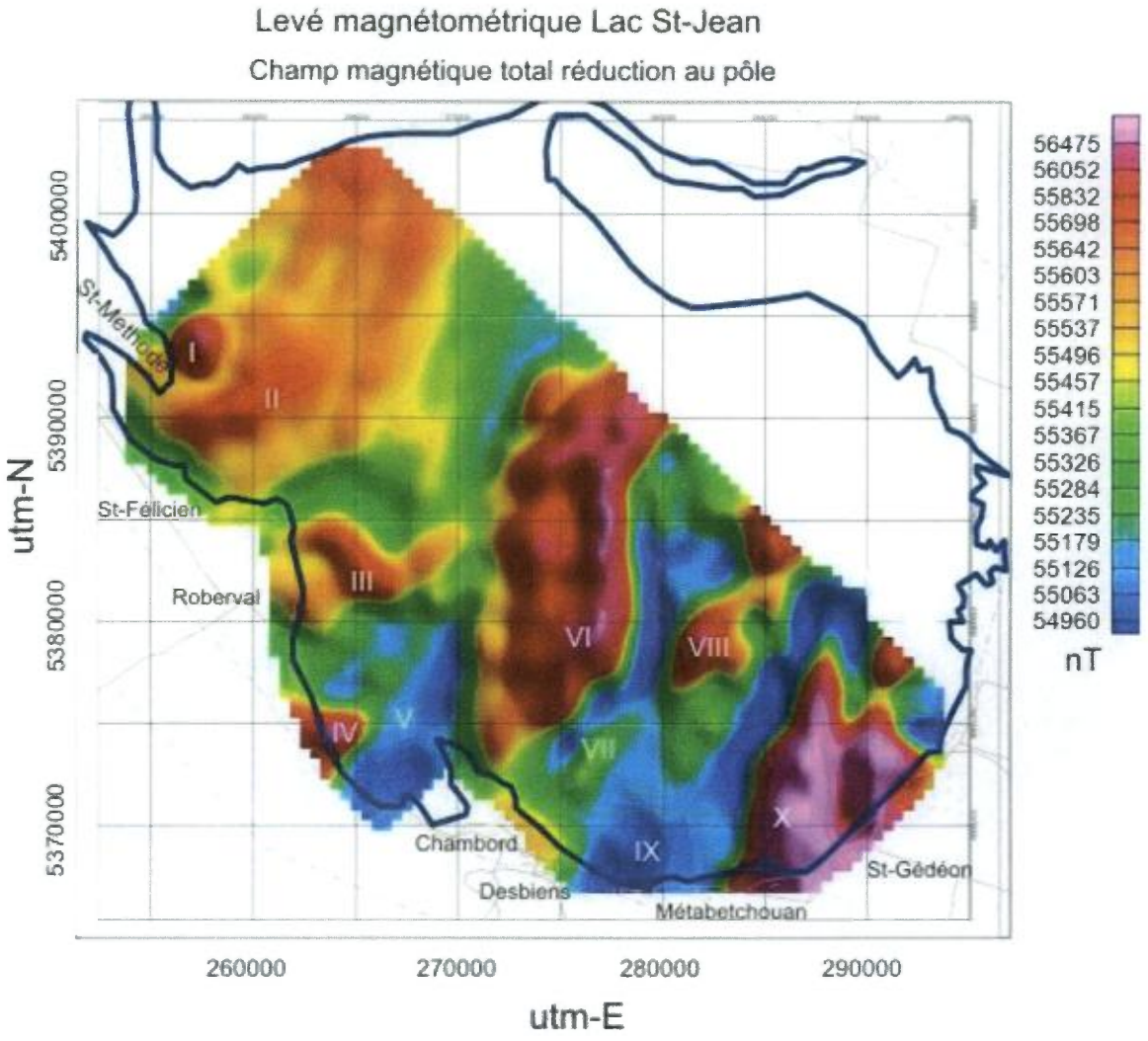



**Figure 18.** Carte montrant les données du champ magnétique total modifiées par la méthode de réduction au pôle. Ces données sont interpolées par krigeage.

#### 5.1.2.4 Continuité verticale vers le bas *du champ magnétique total*

L'objectif premier de l'application d'un filtre de continuité vers le bas est de calculer le champ magnétique pour un niveau d'observation le plus près possible de la source responsable de la perturbation magnétique (Roest et al, 1992). Suite à une prolongation vers le bas, les anomalies montrent généralement moins de chevauchement entre-elles ce qui permet une meilleure identification. De plus, ce type de filtre accentue l'amplitude des anomalies magnétiques. Ceci peut être problématique en la présence d'anomalies de subsurface caractérisées par de faibles amplitudes (hautes fréquence). Ces dernières seront également amplifiées lors de la procédure de filtrage. Ceci explique pourquoi, les données de continuation vers le bas doivent préalablement être filtrées à l'aide d'un filtre passe-bas. Dans le cas présent, nous avons utilisé la procédure de Butterworth pour éliminer la composante de haute fréquence. Ce filtre élimine une forte proportion des anomalies superficielles.

Les figures 19 et 20 présentent les résultats de calculs de continuité verticale du champ magnétique total pour des profondeurs de -500 et -1000m. Notez que ces cartes sont pratiquement semblables pour les deux niveaux d'observation. Comparativement aux figures 15 et 16, les cartes de continuité vers le bas montrent des contacts plus francs entre les domaines hautement magnétiques (I, IV, VI VIII et X) et modérément magnétiques. Pour ce qui est du domaine X (anomalie de St-Gédéon), les cartes des figures 19 et 20 suggèrent la présence d'une zone faiblement magnétique séparant l'anomalie en deux parties. Ce domaine pourrait entre autre refléter la présence d'une faille dans ce secteur.

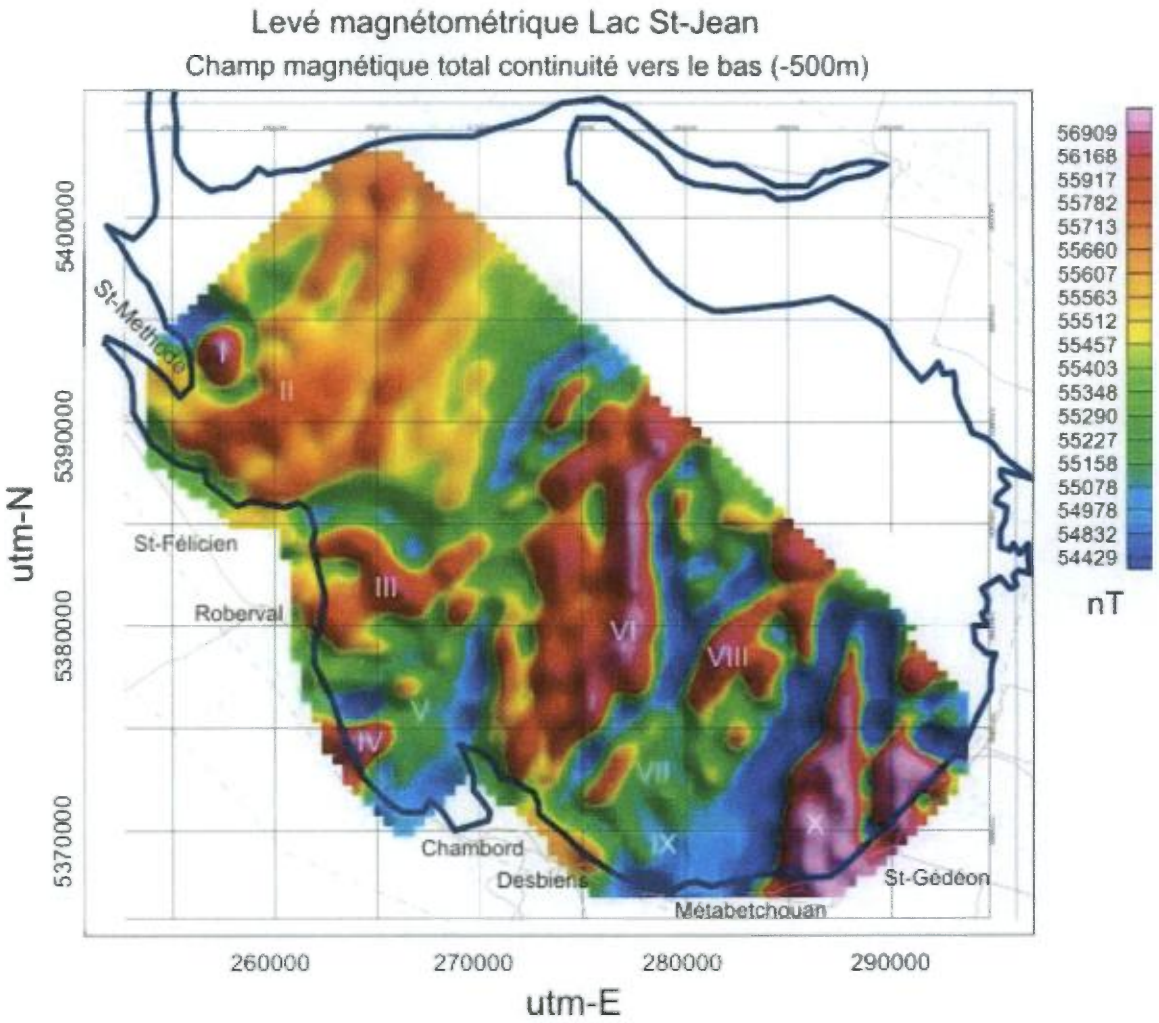



**Figure 19**. Carte montrant la continuité verticale vers le bas du champ magnétique total. Niveau d'observation de -500m.

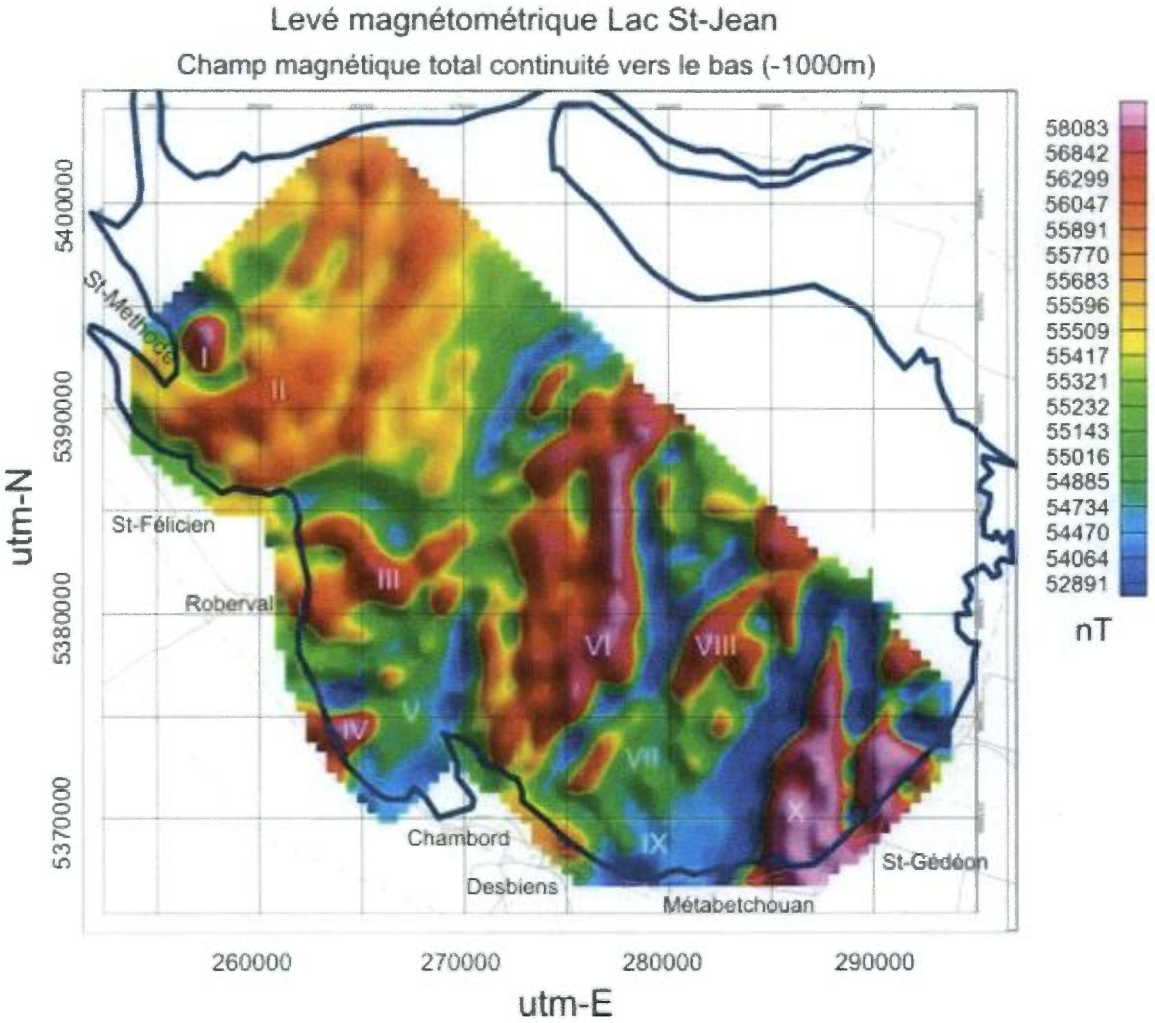



**Figure 20**. Carte montrant la continuité verticale vers le bas du champ magnétique total. Niveau d'observation de -1000m.

#### 5.1.2.5. *Transformation des valeurs du champ magnétique total par la méthode du signal analytique*

Nous avons utilisé la méthode du signal analytique pour traiter les données magnétométriques de l'hiver 2010 (ex. Roest et al., 1992; Phillips, 2000). Normalement, ce traitement des données permet normalement de préciser si les structures observées sur les cartes magnétométriques pourraient entre autre être expliquées par la présence d'intrusions magmatiques (ex. granitoïdes).

La transformation par signal analytique permet de préciser la localisation des corps géologiques responsables de la formation des anomalies magnétiques et ce indépendamment de la direction de magnétisation des matériaux géologiques impliqués (Blakely, 1996; Silva et Barbosa, 2003). Ainsi, la distribution spatiale du signal analytique observé est généralement centrée sur le centre de la masse responsable de la formation de l'anomalie magnétique. Le signal analytique est calculé en extrayant la racine carrée de la somme des carrés de chacune des trois dérivées premières en X, Y, et Z du champ magnétique total (Phililips, 2000).

Les domaines anomaliques I, IV, VI, VIII et X sont associés à de fortes valeurs de signal analytique (Fig. 21). Ces valeurs sont de l'ordre de l'unité par rapport aux valeurs du bruit de fond (généralement inf. à 0,25 sur la carte). Ces fortes valeurs reflètent probablement la présence de corps géologiques intrusifs. Toutefois, nous ne pouvons valider cette interprétation car ces zones anomaliques sont toutes situées sous l'eau et ou sous une couverture de dépôts quaternaires.

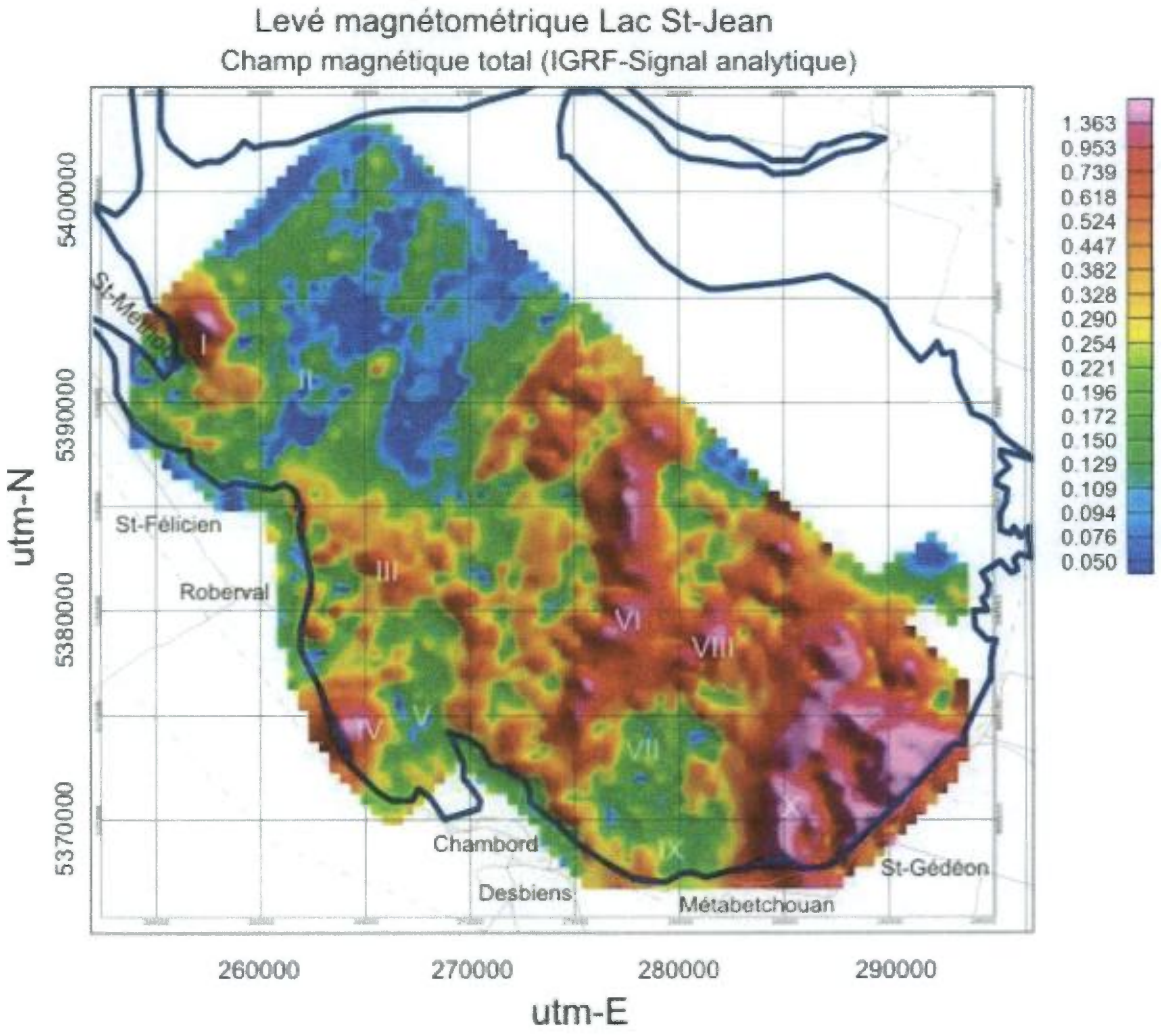



**Figure 21**. Carte montrant la variabilité du signal analytique calculée à partir des données du champ magnétique total.

### 5.1.3 Présentation des données en section

Les données du champ magnétique total sont présentées sous la forme de sections aux figures 22 à 33. Sur ces sections, la distance est exprimée en coordonnées utm-N. De plus, nous avons rapporté sur certaines sections la position des domaines anomaliques identifiés en plan sur les figures précédentes. Ces derniers sont identifiés par des chiffres allant de I à X.

#### 5.1.3.1 *Sections des lignes 1 à 5* :

Ces sections sont situées à l'extrémité nord-ouest du lac St-Jean. Les variations du champ total le long des sections 2 à 5 (Fig. 22) montrent clairement la forme de l'anomalie magnétique associée au domaine anomalique I (Fig. 15). Cette anomalie est caractérisée par une forme relativement symétrique avec des flancs abrupts suggérant la présence d'une unité plutonique en sub-surface. Dans cette partie du lac, les sections montrent une variation relativement monotone du champ magnétique total en se dirigeant vers le nord-est. Cette signature reflète entre autre la présence d'un important delta sédimentaire.

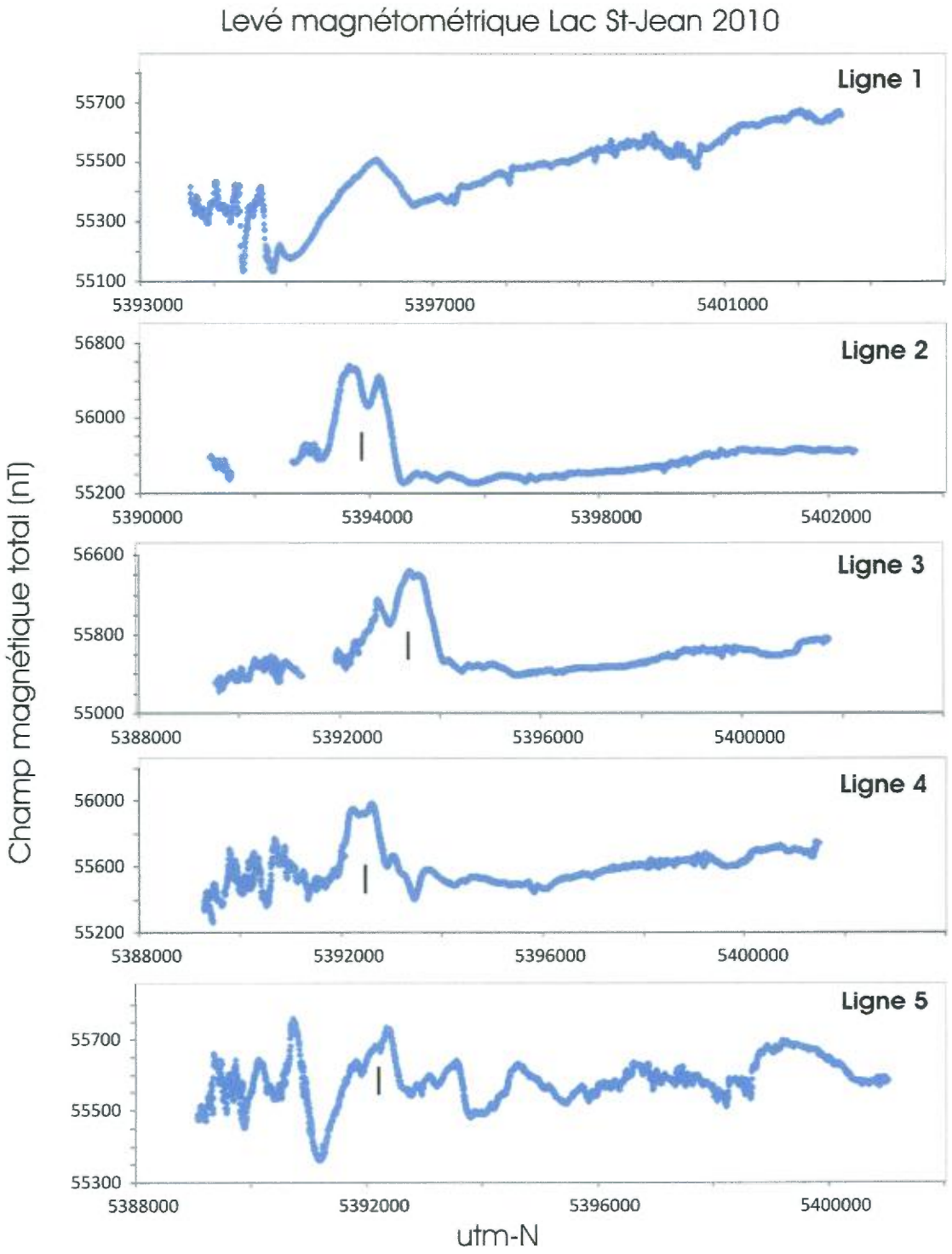



Figure 22. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 1 à 5.

#### 5.1.3.2 *Sections des lignes 6 à 15* :

Ces sections, également situées dans la partie nord-ouest du lac St-Jean, débutent dans le secteur de St-Prime-Mashteuiatsh et se dirigent vers la Pointe Taillon.

Les variations du champ magnétique total observées le long des sections 6 à 12 (Figs 23 et 24) montrent la présence d'un haut magnétique relativement diffus et large (maxima vers la coordonnée utm-N 5390000) passant rapidement vers le sud à un creux magnétique. Ce contraste pourrait souligner la présence de roches sédimentaires ordoviciennes en se dirigeant vers le sud. Notez que les variations observées le long des sections 13 à 17 (Figs 24 et 25) pourraient s'expliquer de la même façon.

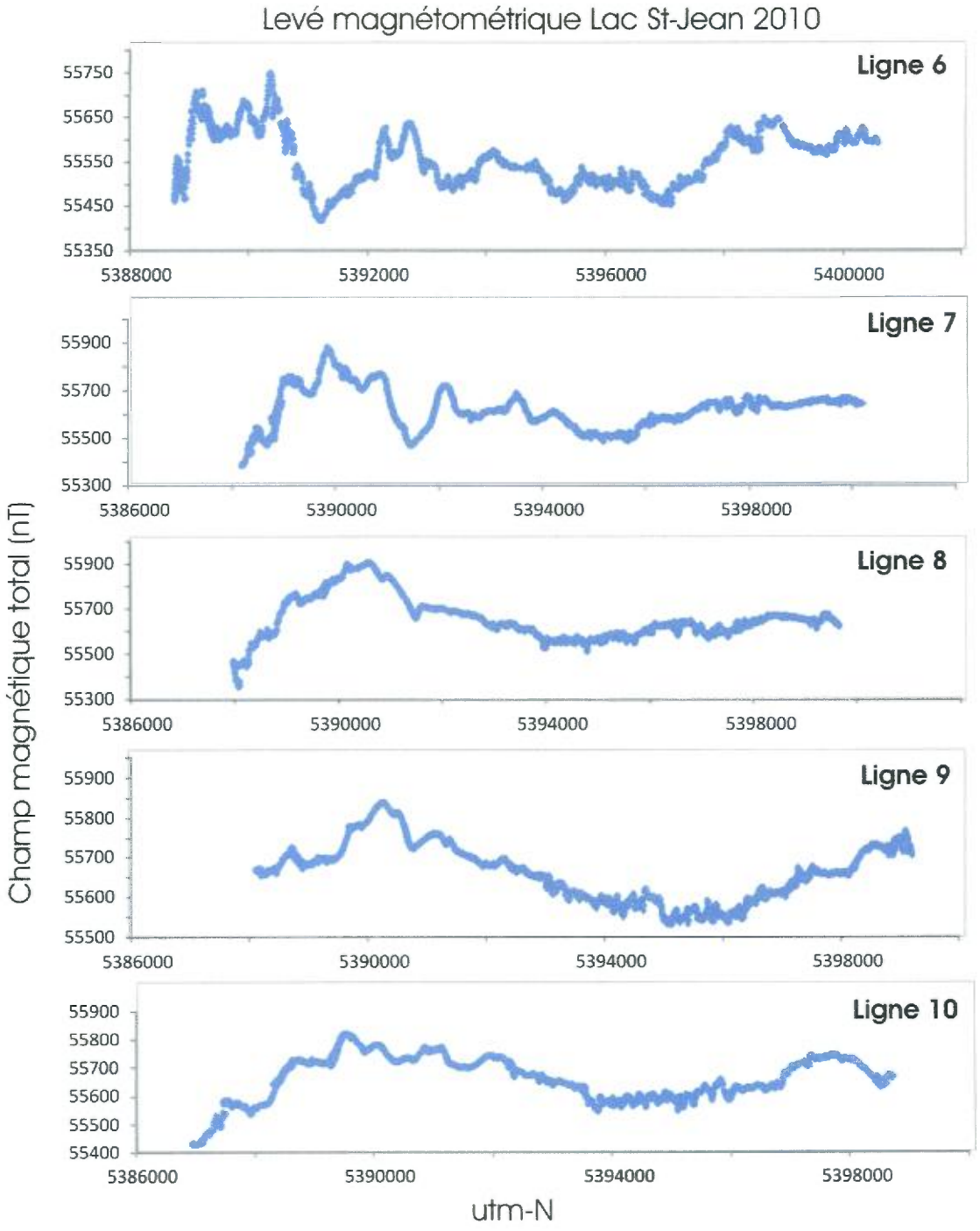



Figure 23. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 6 à 10.

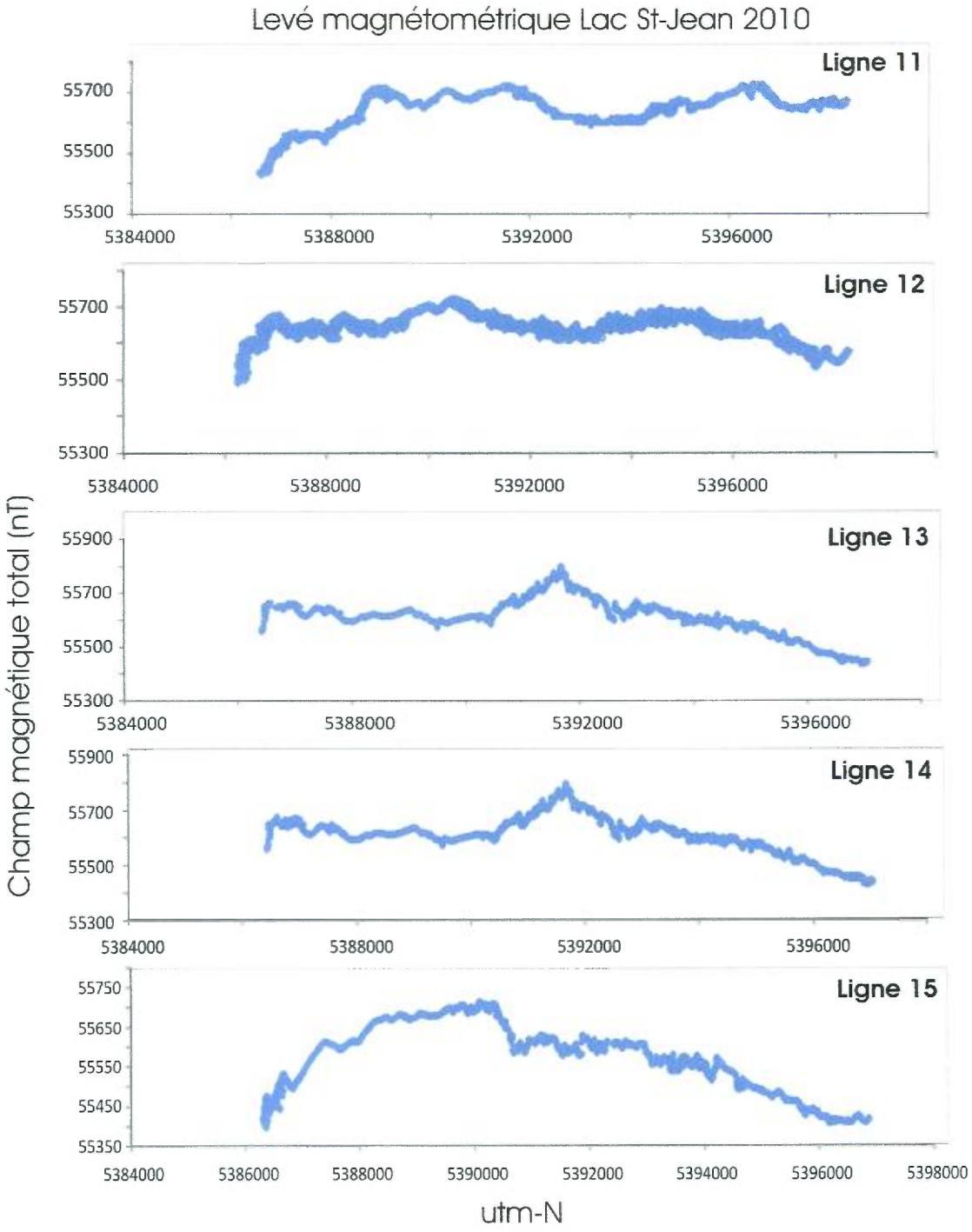



Figure 24. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 11 à 15.

#### 5.1.3.3 *Sections des lignes 16 à 25* :

Ces sections débutent dans le secteur entre Pointe-Bleue et Roberval. Les sections des lignes 18, 19, 21, 22, 23, 24 et 25 montrent vers le sud la présence d'une anomalie magnétique positive relativement évasée (anomalie III) (Figs 25 et 26). Les caractéristiques de cette anomalie ne suggèrent pas une origine plutonique (granitique).

Les sections des lignes 22 à 25 (Fig. 26) soulignent la présence d'une importante anomalie magnétique située au large (vers le nord) (anomalie VI). Cette anomalie, de forme relativement irrégulière, devient nettement plus structurée et large en se dirigeant vers le sud-est.

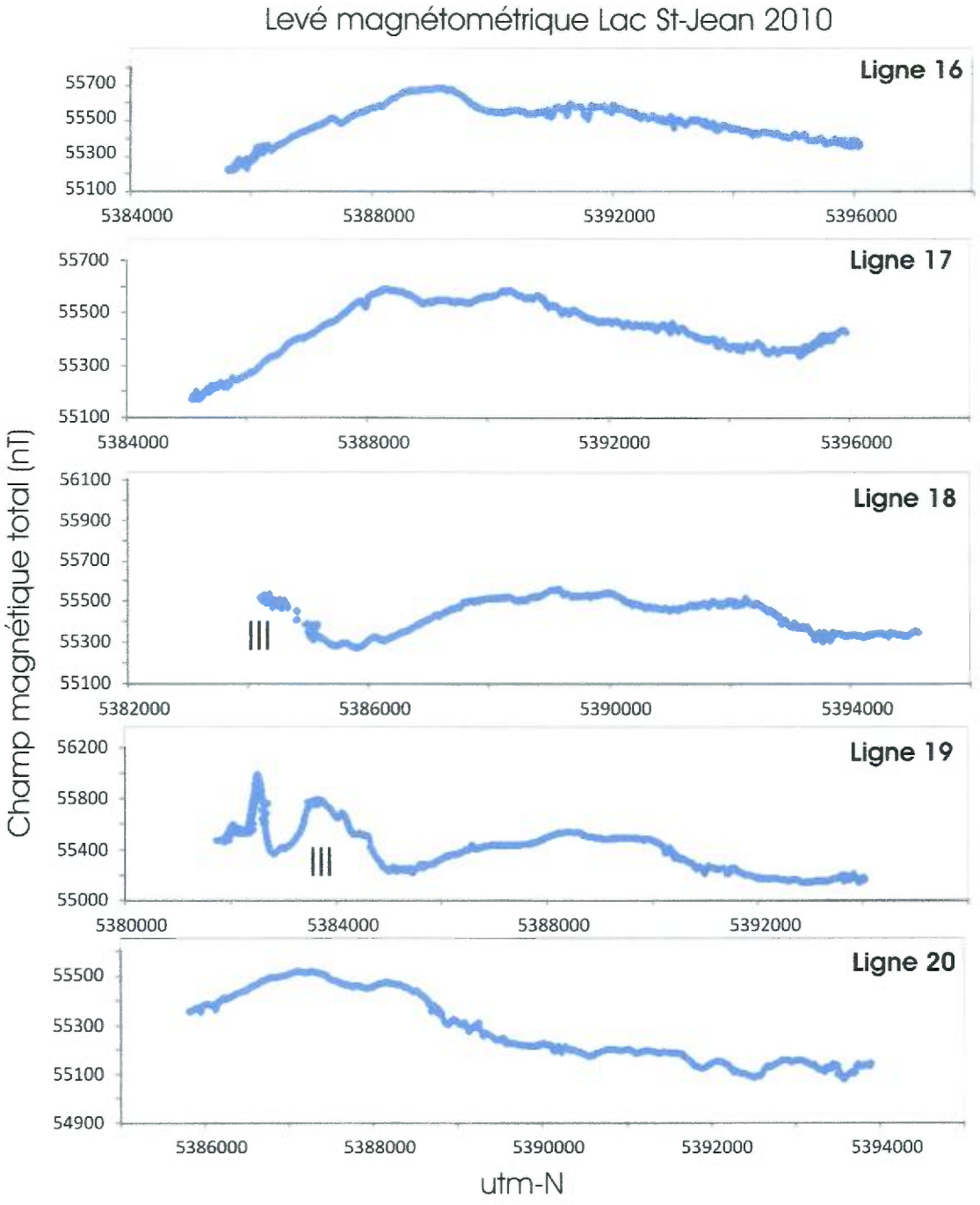



Figure 25. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 16 à 20.

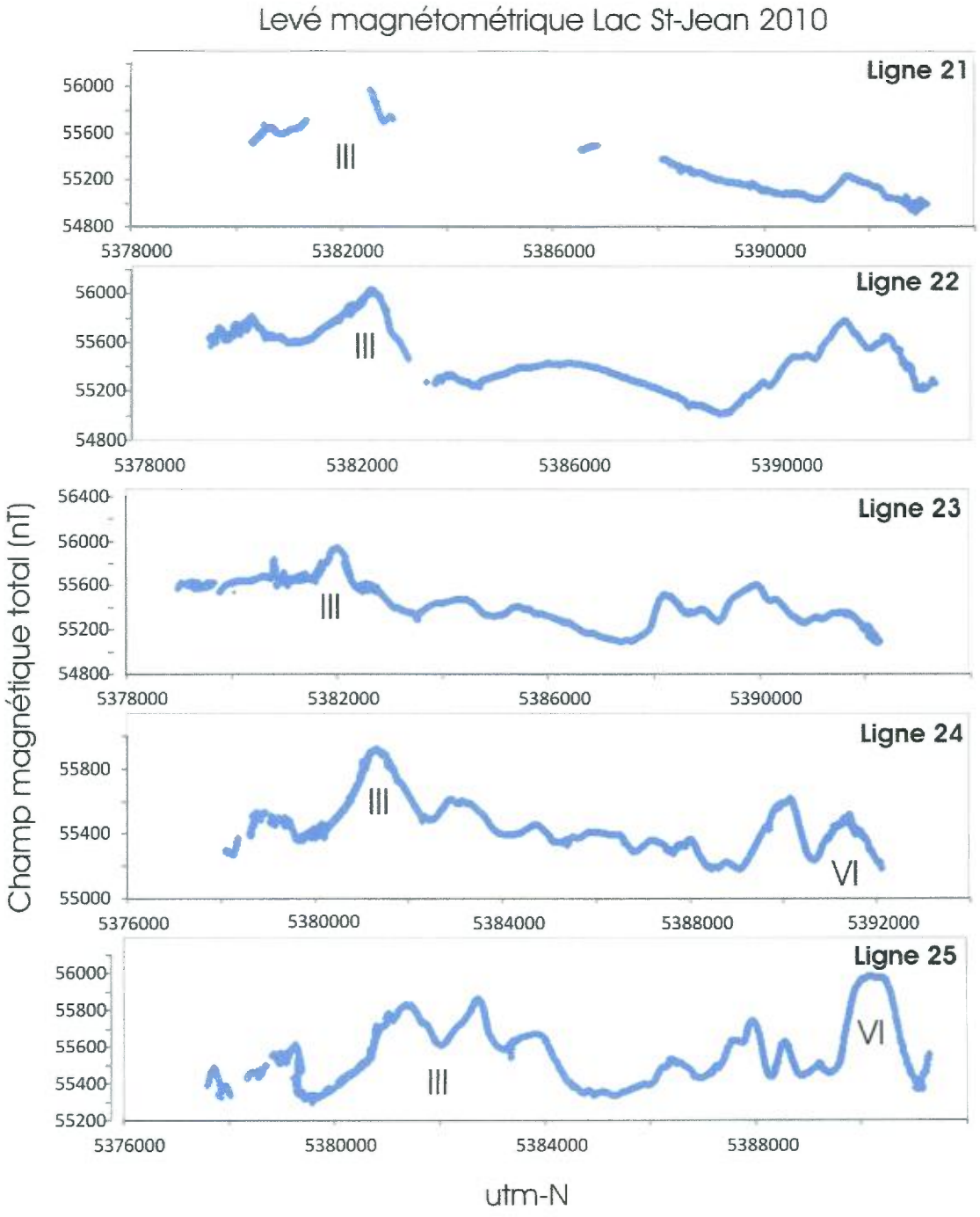



Figure 26. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 21 à 25.

#### 5.1.3.4 *Sections des lignes 26 à 35* :

Ces sections débutent dans le secteur de Val-Jalbert et de la Pointe de Chambord et passent près de l'île de la Traverse. Ces sections sont caractérisées par de faibles valeurs du champ magnétique total vers le sud-ouest et par de très fortes valeurs vers le nord-est (Figs 27 et 28). Les basses valeurs associées au domaine anomalique **V** semblent associées à la présence des roches de la plateforme ordovicienne.

Les hautes valeurs du vaste domaine anomalique **VI** impliquent la présence du socle précambrien dans cette partie du lac St-Jean (Figs 27 et 28). Pour expliquer les fortes valeurs du champ magnétique total observées dans ce secteur, il faut envisager le présence de granitoïdes dans ce secteur.

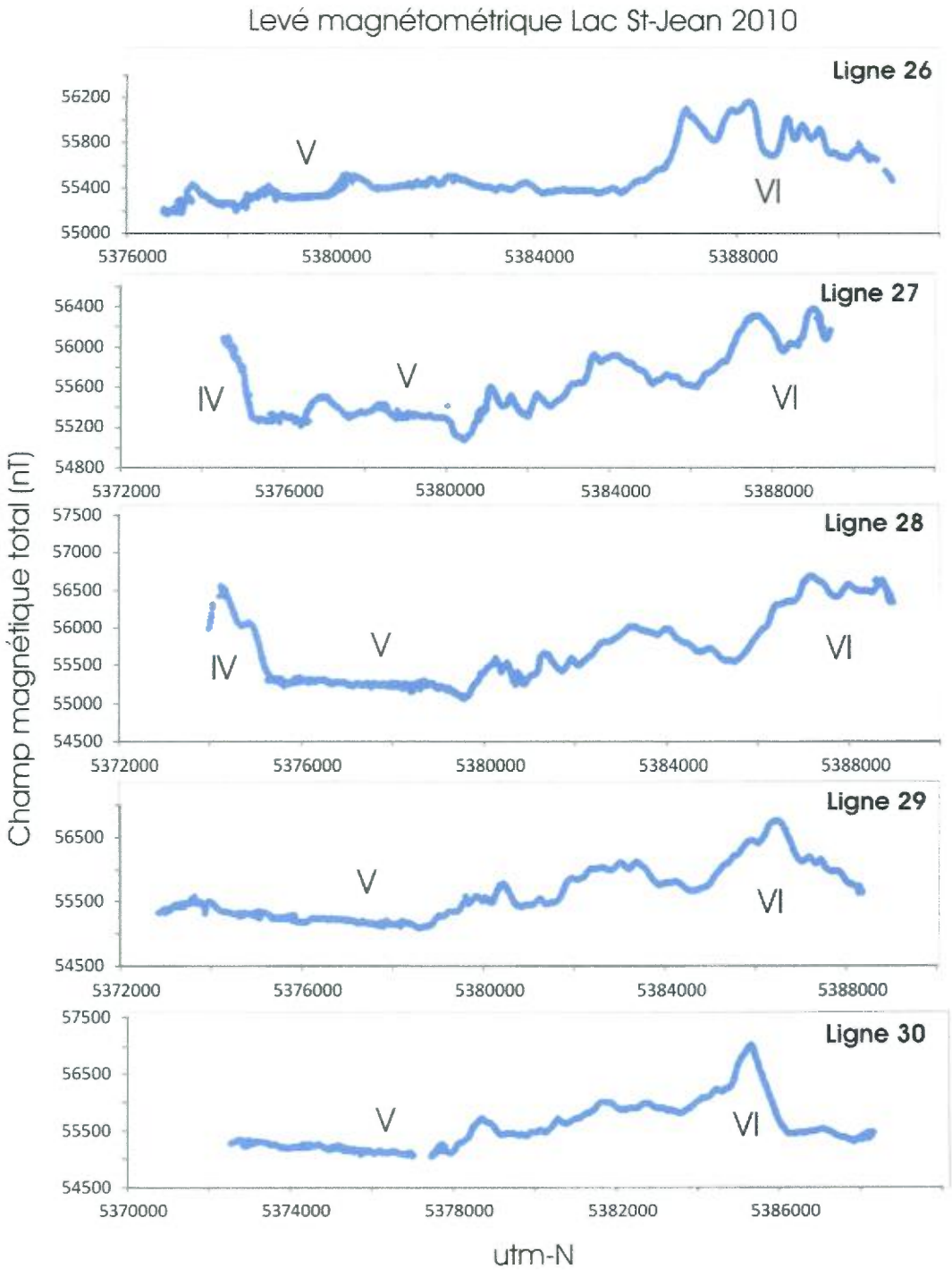



Figure 27. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 26 à 30.

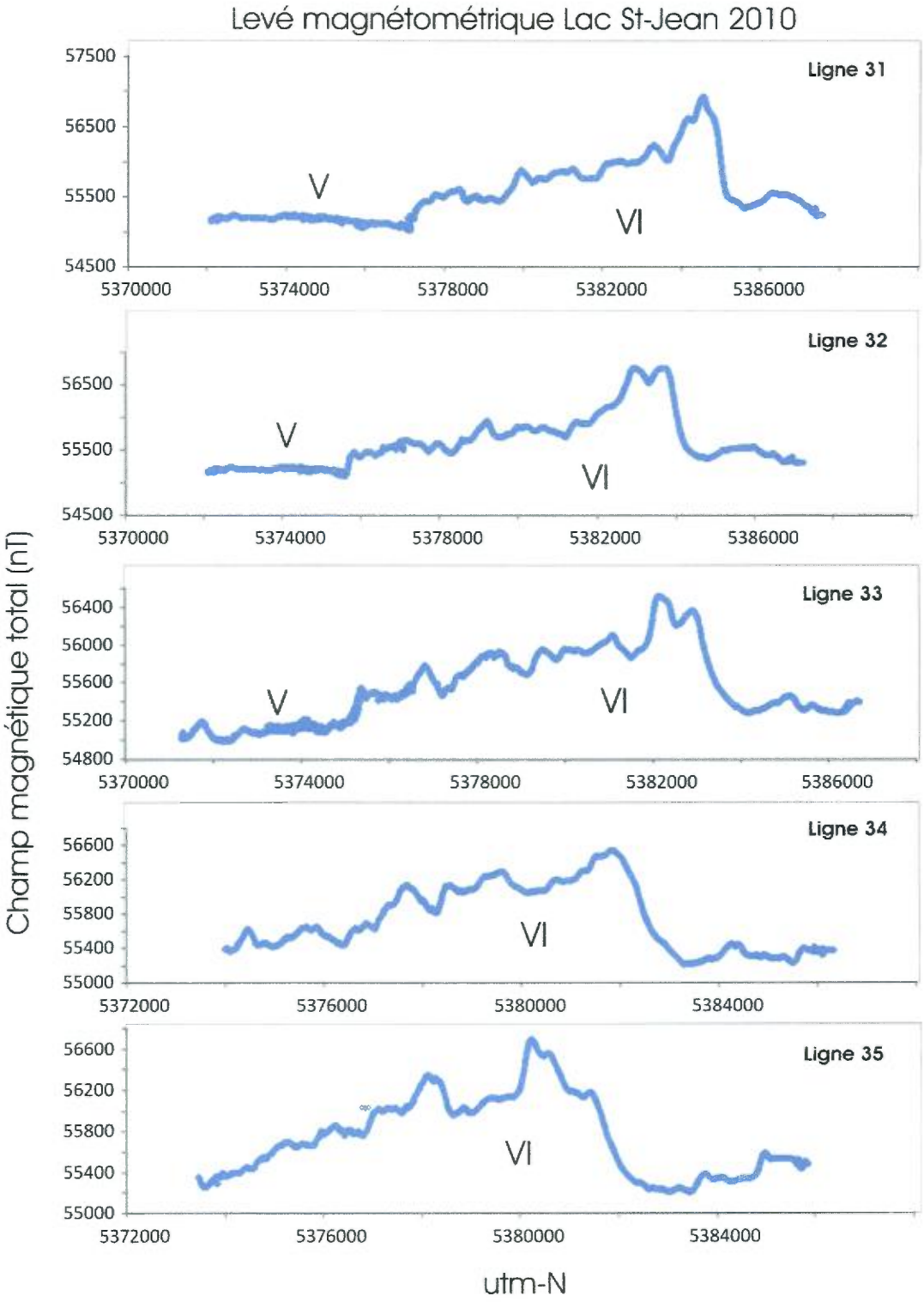



Figure 28. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 31 à 35.

#### 5.1.3.5 *Sections des lignes 36 à 45* :

Ces sections débutent dans le secteur Desbiens. Les sections 36 à 38 recoupent la fin du domaine anomalique **VI** qui est associé au haut magnétique central du lac St-Jean. À partir de la section 39, une nouvelle zone anomalique (**VIII**) est présent vers le nord (Fig. 29). Cette anomalie, relativement évasée, pourrait correspondre au début du socle précambrien dans cette partie du lac St-Jean.

Un domaine faiblement magnétique, présent vers le sud (domaine anomalique **VII**), correspond vraisemblablement au bassin de roches ordoviciennes. Les domaines anomaliques **VII** et **VIII** sont présents jusqu'à la ligne 43. Notez que l'anomalie **VIII** disparait à partir de la ligne 44 (Fig. 30).

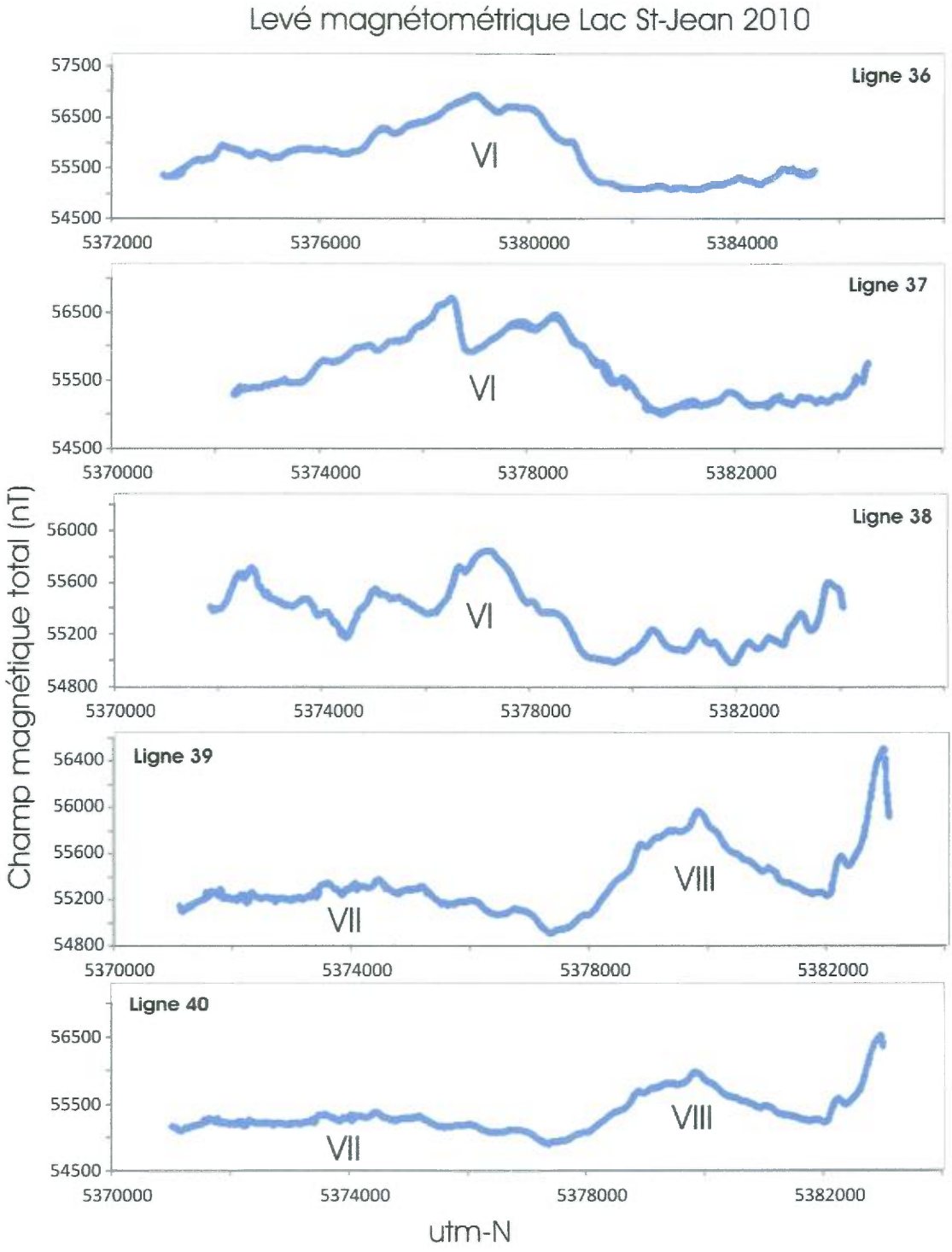



Figure 29. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 36 à 40.

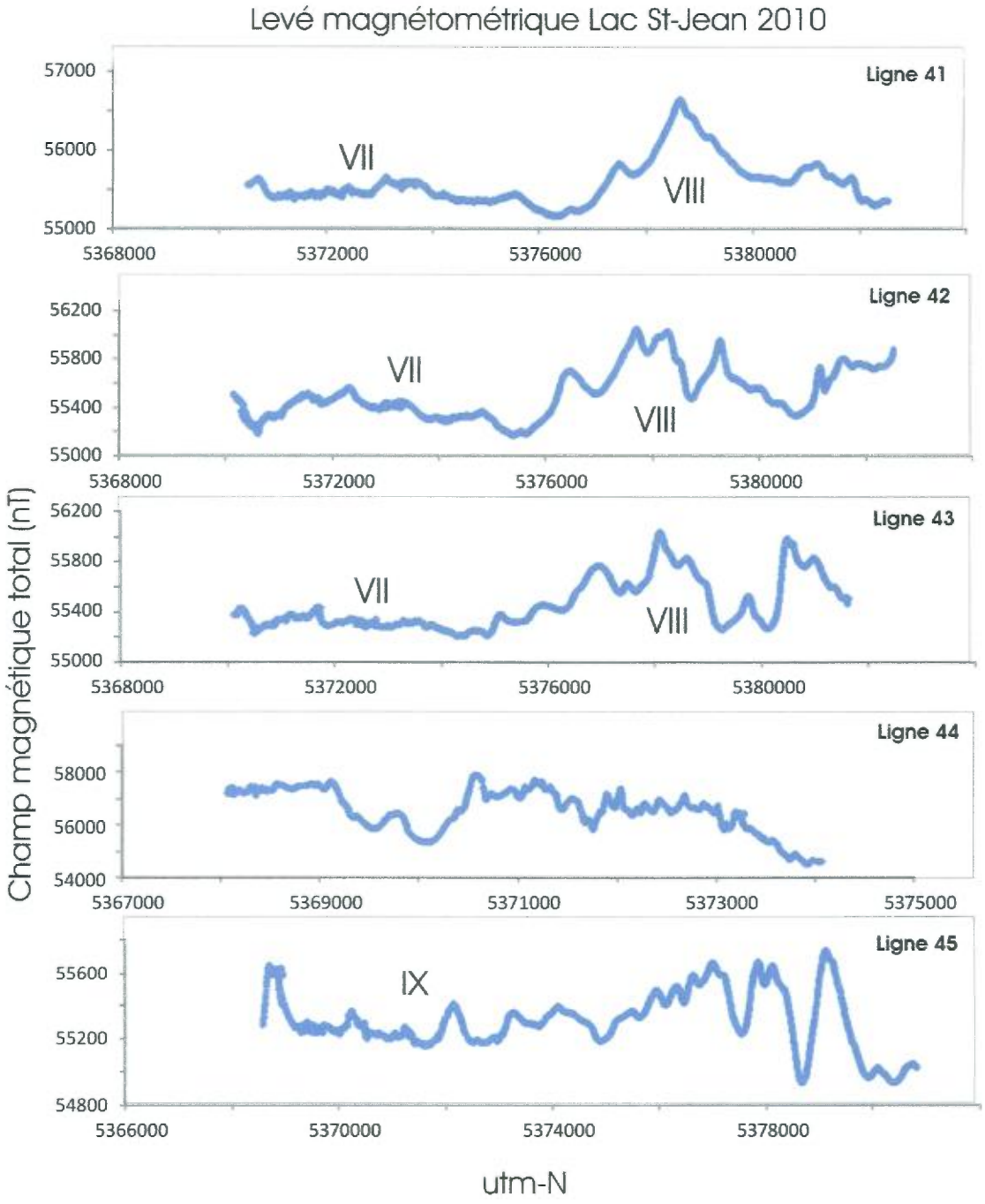



Figure 30. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 41à 45.

#### 5.1.3.6 *Sections des lignes 46 à 58* :

Ces sections débutent dans le secteur de Métabetchouan et longent localement le secteur de St-Gédéon.

Les sections des lignes 46 à 50 montrent la présence de deux domaines anomaliques (**IX et X**) (Fig. 31). Ces domaines correspondent à un plateau de faibles intensités du champ magnétique total (domaine **IX**) et à une zone de plus fortes intensités située vers le nord-est (domaine **X**). Le domaine **X** correspond à la grosse anomalie magnétique de la région de St-Gédéon. La zone d'inflexion entre les domaines **IX e X** pourrait correspondre au contact entre le bassin de roches sédimentaires et le socle précambrien. Dans ce secteur, le socle semble fortement injecté par une masse de granitoïde.

Les sections des lignes 51 à 54 recoupent distinctement la puissante anomalie magnétique de St-Gédéon (Fig. 32). Cette anomalie magnétique est marquée par des flancs relativement abrupts compatibles avec une origine relativement peu profonde. Dans ce secteur, il est hautement probable qu'il n'existe plus de roches ordoviciennes (calcaires et shales) et que des granitoïdes soient présents sous la couverture de dépôts quaternaires qui est relativement importante dans cette partie du lac St-Jean. Notez que l'anomalie magnétique atteint des valeurs de l'ordre de 2000 nT par rapport aux valeurs observées vers le sud (Fig. 32). Ceci implique la présence d'une source géologique à fortes valeurs de susceptibilité magnétique.

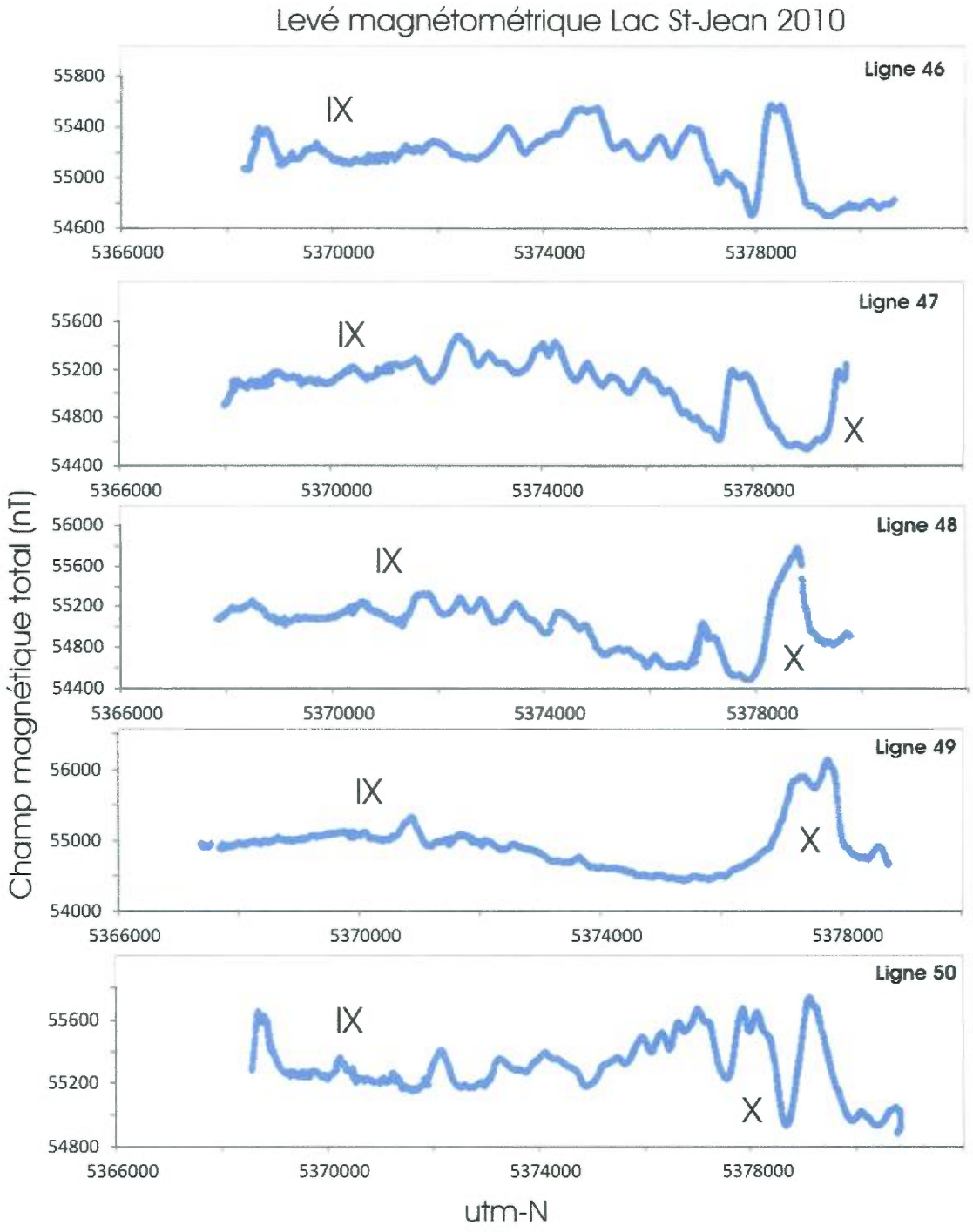



Figure 31. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 46 à 50.

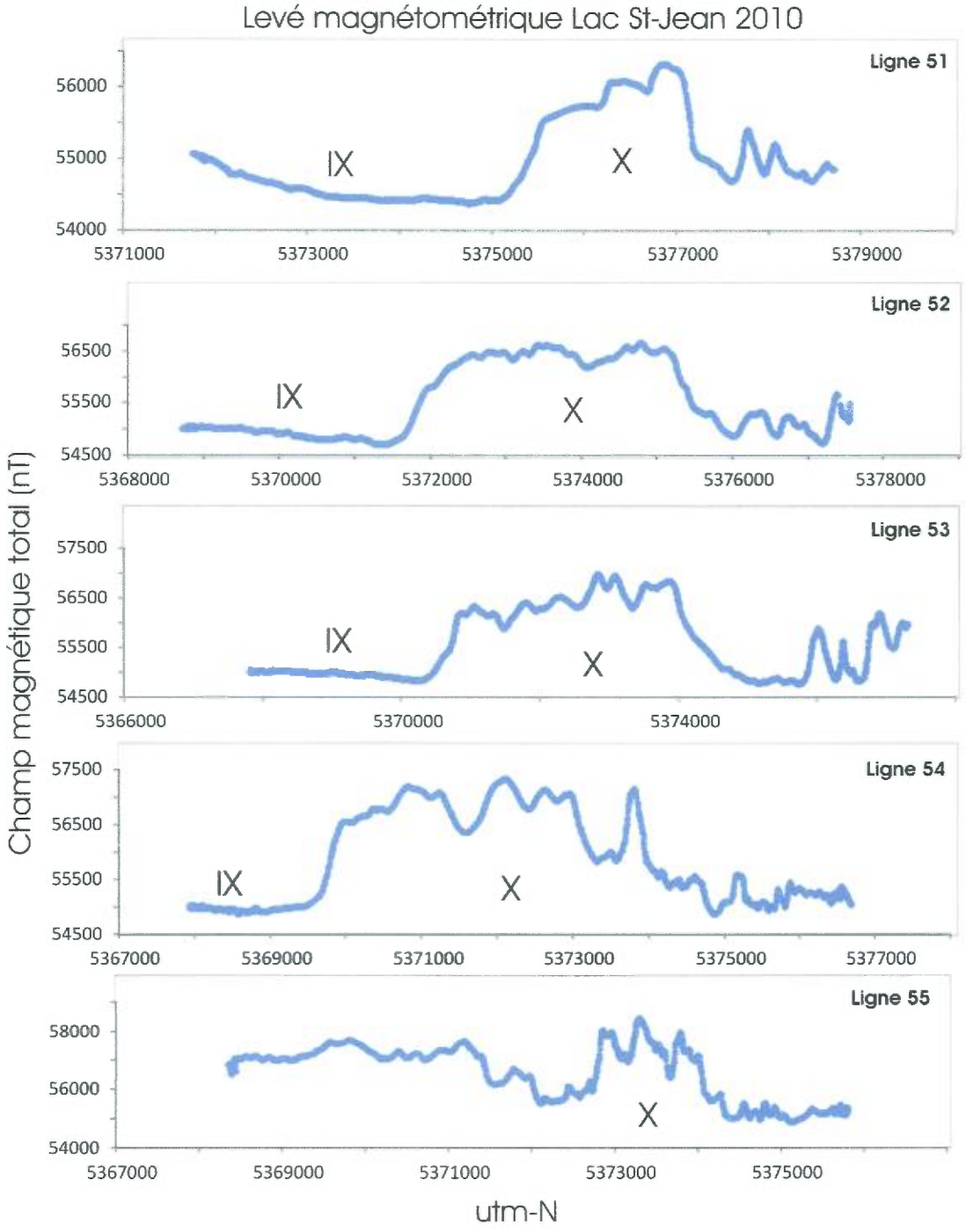



Figure 32. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 51 à 55.

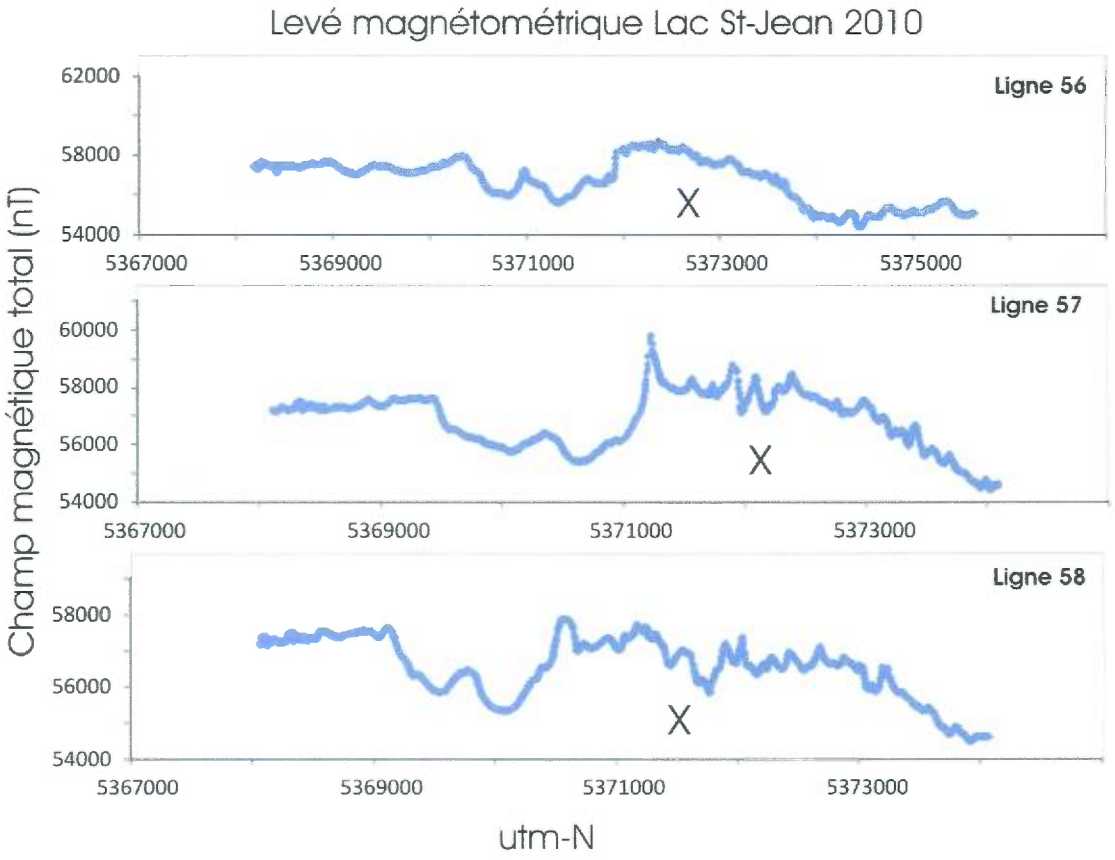



Figure 33. Variation des valeurs du champ magnétique total en fonction des coordonnées utm-N. Levé magnétométrique Lac St-Jean 2010. Sections des lignes 56 à 58.

## 5.2 DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES

### 5.2.1 Données altimétriques

Les données altimétriques mesurées par GPS RTK (Magellan Pro-Mark 500) à l'automne 2009 et à l'hiver 2010 sont présentées sous la forme d'une carte régionale (Fig. 34). Compte tenu de la densité variable et inégale de l'échantillonnage, cette carte est présentée à titre indicatif. Elle permet toutefois de mettre en évidence les principaux éléments géomorphologiques présents dans cette partie du lac St-Jean.

La carte des données altimétriques montre un accroissement prévisible de la l'altitude en s'éloignant du lac. En bordure du lac, la partie basse du bassin versant est située entre 100 et 115m d'altitude (Fig. 34). Dans les secteurs de St-Félicien, Roberval, Chambord et Métabetchouan, ce domaine correspond à la plateforme de roches calcaires et de shales ordoviciens. Dans la région, ces terrains sont souvent recouverts de dépôts quaternaires argileux marins.

Au sud-ouest du secteur Roberval-Metabetchouan, le relief augmente rapidement pour atteindre plus de 250m. Dans ces secteurs, nous n'avons pas observé de roches ordoviciennes. Les roches présentes dans ces secteurs sont surtout constituées de gneiss et granitoïdes recouverts d'une quantité variable de tills glaciaires et de sols podzoliques.

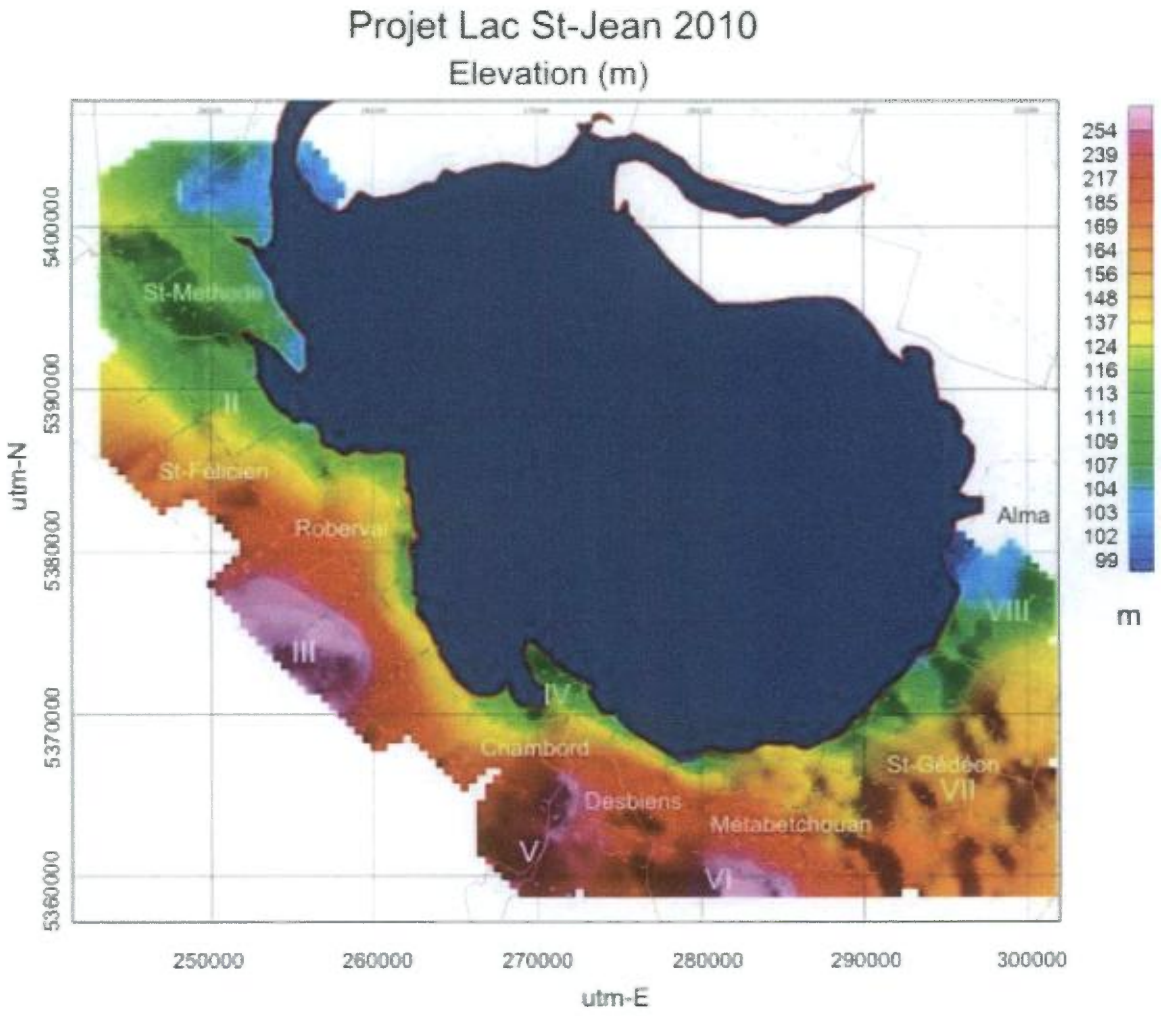



**Figure 34.** Carte altimétrique régionale obtenue à partir des données GPS-RTK.. Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée).

### 5.2.2 Épaisseur des sédiments quaternaires dans la région

La variation de l'épaisseur des dépôts quaternaires et des alluvions récentes dans le secteur du lac St-Jean est présentée à la figure 35. Les données de cette carte proviennent des journaux de sondage des puits pour l'eau implantés dans cette région (*système d'information hydrogéologique SIH : www.mddep.gouv.ca*). Pour établir cette carte, nous avons consulté les données de plus de 1000 sondages.

Les variations d'épaisseur des dépôts quaternaires sont très contrastées dans la région du lac St-Jean. La partie nord-ouest du lac (St-Méthode, Peribonka, Pointe-Taillon) est marquée par des épaisseurs pouvant facilement dépasser les 40 mètres d'accumulation au dessus du socle rocheux. Dans ce vaste secteur, nous n'avons pas observé d'affleurements rocheux. A l'opposé, le secteur de St-Félicien, Roberval, Chambord et Desbiens est caractérisé par des accumulations sédimentaires plus modestes de l'ordre de 0 à 15m. Dans ces secteurs, les affleurements de calcaires et shales sont fréquemment observés en bordure du lac. L'épaisseur de sédiments quaternaires redevient importante dans le secteur Metabetchouan-St-Gédéon. Des épaisseurs de plus de 40 m sont observées près du village de Metabetchouan. Finalement, le secteur d'Alma est marqué par une très faible épaisseur de dépôts quaternaires (de 0 à 5m). Ce secteur correspond à la zone de décharge du lac St-Jean, un secteur probablement en forte érosion à la fin de la dernière période glaciaire.

Notez que la présence d'une forte épaisseur de dépôts quaternaires et d'alluvions récentes peut avoir un impact considérable sur les données magnétométriques et gravimétriques. Par exemple, l'accumulation de minéraux lourds comme la magnétite et l'ilménite est évidente sur les plages de la Pointe Taillon. Ces minéraux augmentent considérablement la susceptibilité magnétique des sédiments quaternaires et donc la signature magnétique

mesurée dans ces secteurs. La présence de fortes accumulations de dépôts quaternaires peut également influencer les données gravimétriques. Par exemple, la présence de sédiments quaternaires de faibles densités (1,65 à 2,2 g/cm$^3$) peut diminuer les valeurs des anomalies gravimétriques mesurées dans la région.

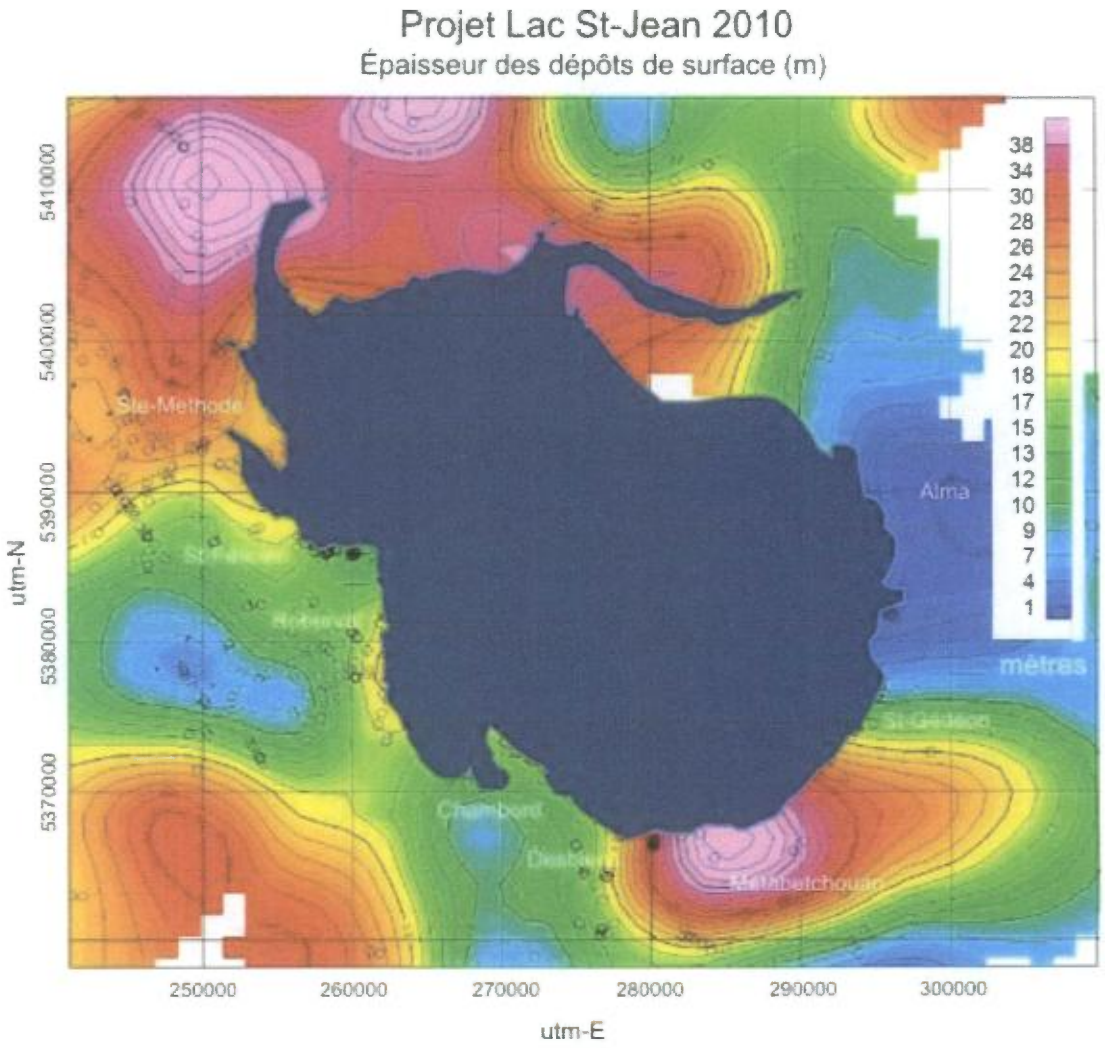



**Figure 35**. Variation de l'épaisseur des dépôts quaternaires et des alluvions récentes dans la région du Lac St-Jean. Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée). Données extraites des journaux de sondage de puits pour l'eau (*système d'information hydrogéologique SIH : www.mddep.gouv.ca.*).

### 5.2.3 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 ne sont donc pas corrigées pour l'effet orographique ou pour la densité des matériaux présents sous les stations gravimétriques.

Ces dernières sont recalculées en fonction de la valeur de référence établie pour la station *9644-1965* de la Commission géologique du Canada (station située près du pont du chemin de fer du Canadien National à Val-Jalbert). Sur la carte présentée à la figure 36, les données de gravité absolue varient de 980809 à 980855 mgals.

Les données de gravité absolue montrent de faibles valeurs dans les parties hautes et montagneuses de la région et des valeurs plus élevées dans les parties basses. Le secteur St-Félicien-St-Méthode montre de très fortes valeurs de gravité absolue (Fig. 36).

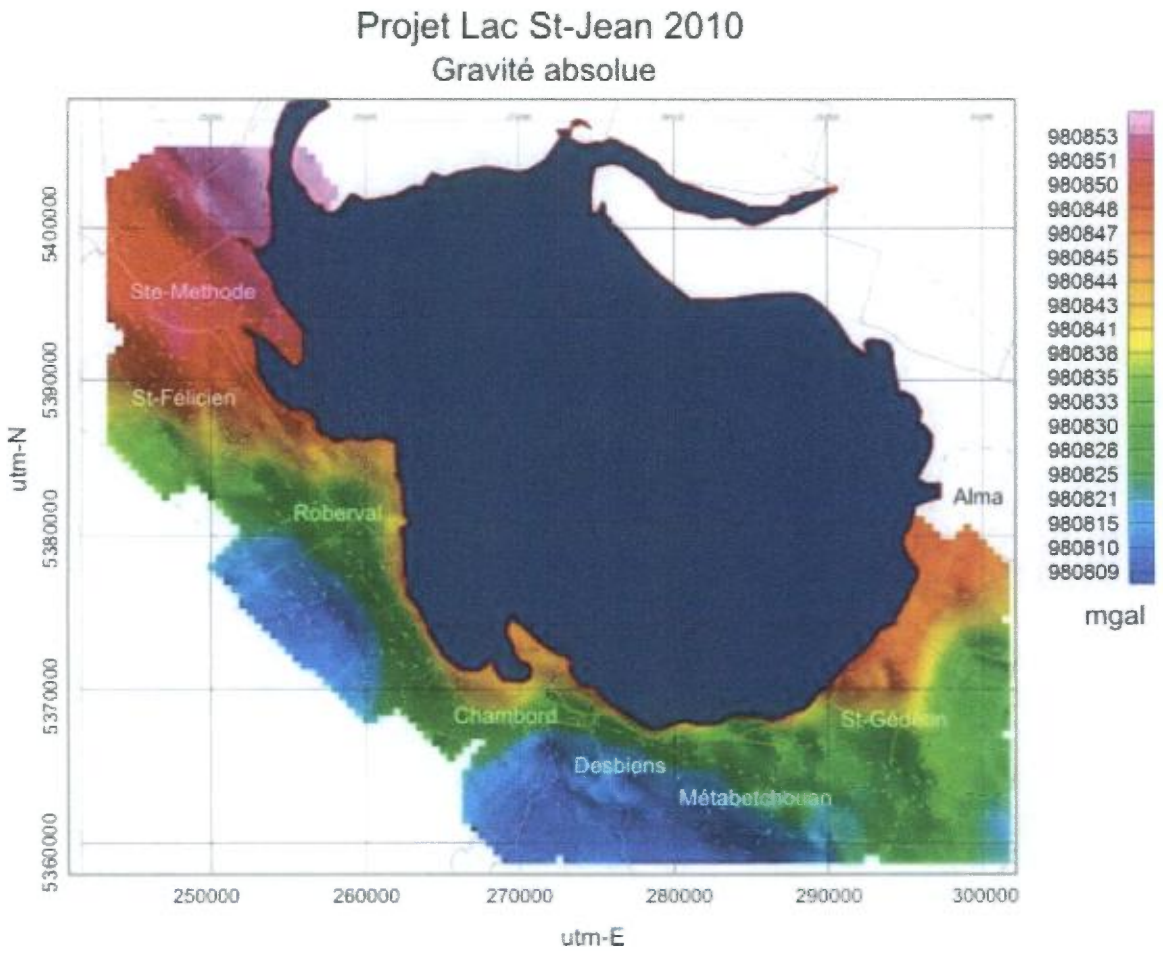



**Figure 36.** Variabilité spatiale des valeurs de gravité absolue (données krigées). Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée).

### 5.2.4 Anomalie air-libre (*Free air anomaly*)

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, cette correction est fondamentale 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 présentée à la figure 37, les données de l'anomalie air libre varient de -70 à -37 mgals. Malgré la correction altimétrique, la variabilité spatiale de l'anomalie air libre montre une corrélation avec la présence des hauts topographiques. Ceci démontre la présence de roches plus denses en altitude (bouclier précambrien) et de roches moins denses dans les parties basses du bassin versant (roches sédimentaires ordoviciennes). Le secteur de St-Méthode est caractérisé par de faibles valeurs de l'anomalie air libre. Le substrat rocheux dans ce secteur doit contenir des unités lithologiques relativement peu denses. Aussi, la présence d'une forte épaisseur de dépôts quaternaires dans le secteur St-Méthode-Péribonka pourrait accentuer le contraste de densité observé (Fig. 35). Notez que du côté de St-Gédéon, les valeurs de l'anomalie air libre sont nettement plus élevées et ce malgré une épaisseur considérable de dépôts quaternaires (Fig. 37). Ceci résulte de la présence de roches denses et probablement de granitoïdes injectés dans les gneiss du socle précambrien.

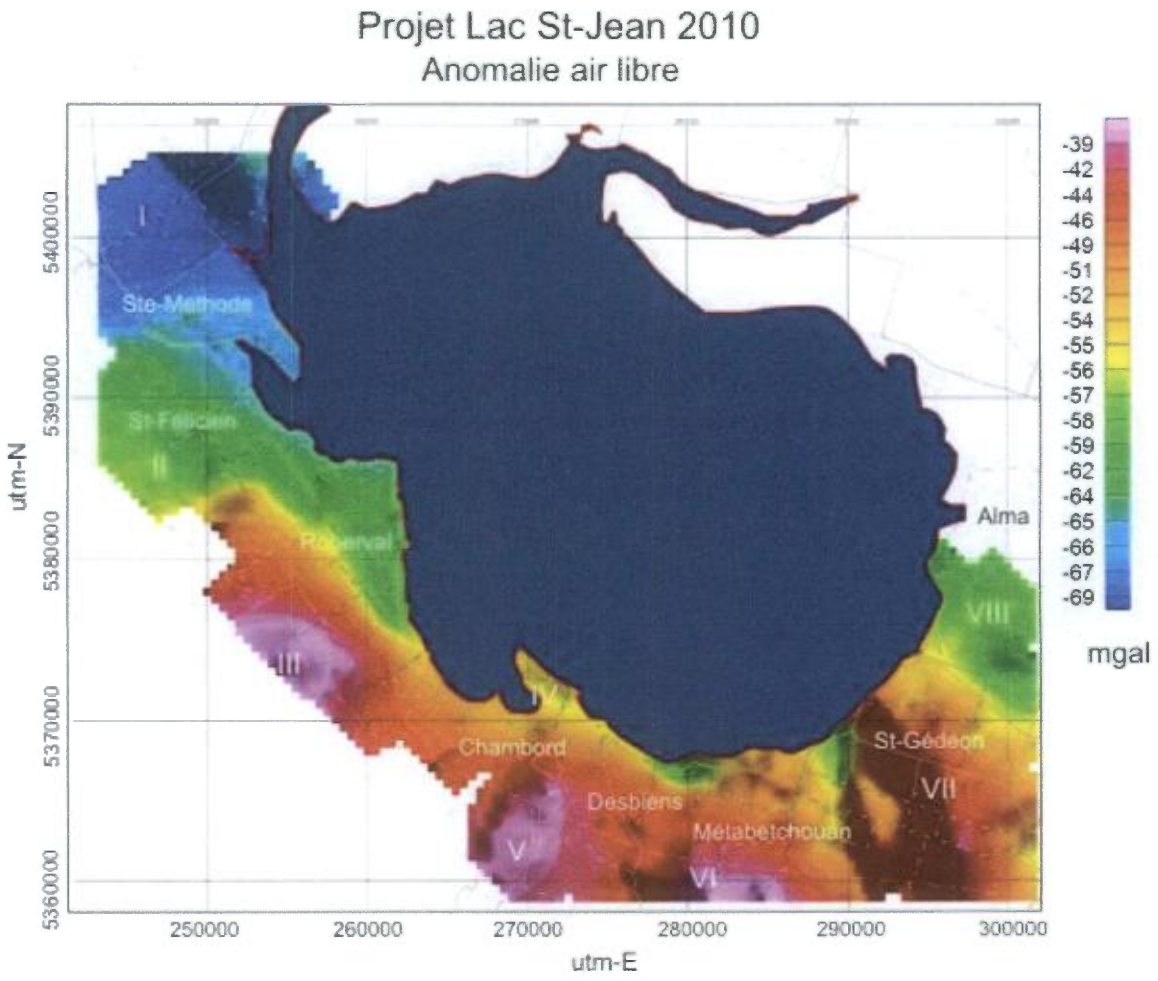



**Figure 37.** Variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie air-libre (données krigées). Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée).

### 5.2.5 Anomalie de Bouguer

La variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie de Bouguer, pour la partie terrestre du bassin du lac St-Jean (Fig. 38), est présentée à la figure 38. Dans l'ensemble, les valeurs calculées de l'anomalie de Bouguer varient de -64 à -82 mgals pour cette partie bassin du lac St-Jean (Fig. 38). Ces valeurs sont compatibles avec les valeurs rapportées dans les banques de données gravimétriques régionales de la Commission géologique du Canada.

Contrairement à ce que nous envisagions pour cette partie du lac St-Jean (informations provenant d'anciennes cartes géologiques), l'anisotropie dominante des valeurs de l'anomalie de Bouguer n'est pas orientée (NO-SE) selon la direction présumée du contact géologique entre le bassin de roches ordoviciennes et le socle précambrien. La carte de la figure 38 montre une très forte anomalie de Bouguer (haut de gravité) dans le secteur de St-Gédéon (**domaine anomalique VII**) et aussi dans les collines situées au sud de Desbiens et Metabetchouan (**domaines anomaliques V et VI**). A l'opposé, ces valeurs sont plus négatives dans le secteur de Pointe-Bleue, St-Prime, St-Félicien (**domaine anomalique II**). Le secteur de St-Méthode-Péribonka (**domaine anomalique I**) montre les plus faibles valeurs de l'anomalie de Bouguer. Compte tenu que l'épaisseur de dépôts quaternaires dans ce secteur est semblable à celui observé dans le secteur de Metabechouan (secteur à hautes valeurs de l'anomalie de Bouguer), les faibles valeurs de l'anomalie de Bouguer du secteur St-Méthode ne peuvent s'expliquer par une simple variation d'épaisseur des dépôts quaternaires. Cette différence implique nécessairement un contraste de densité dans le socle précambrien ou dans la séquence de roches sédimentaires ordoviciennes.

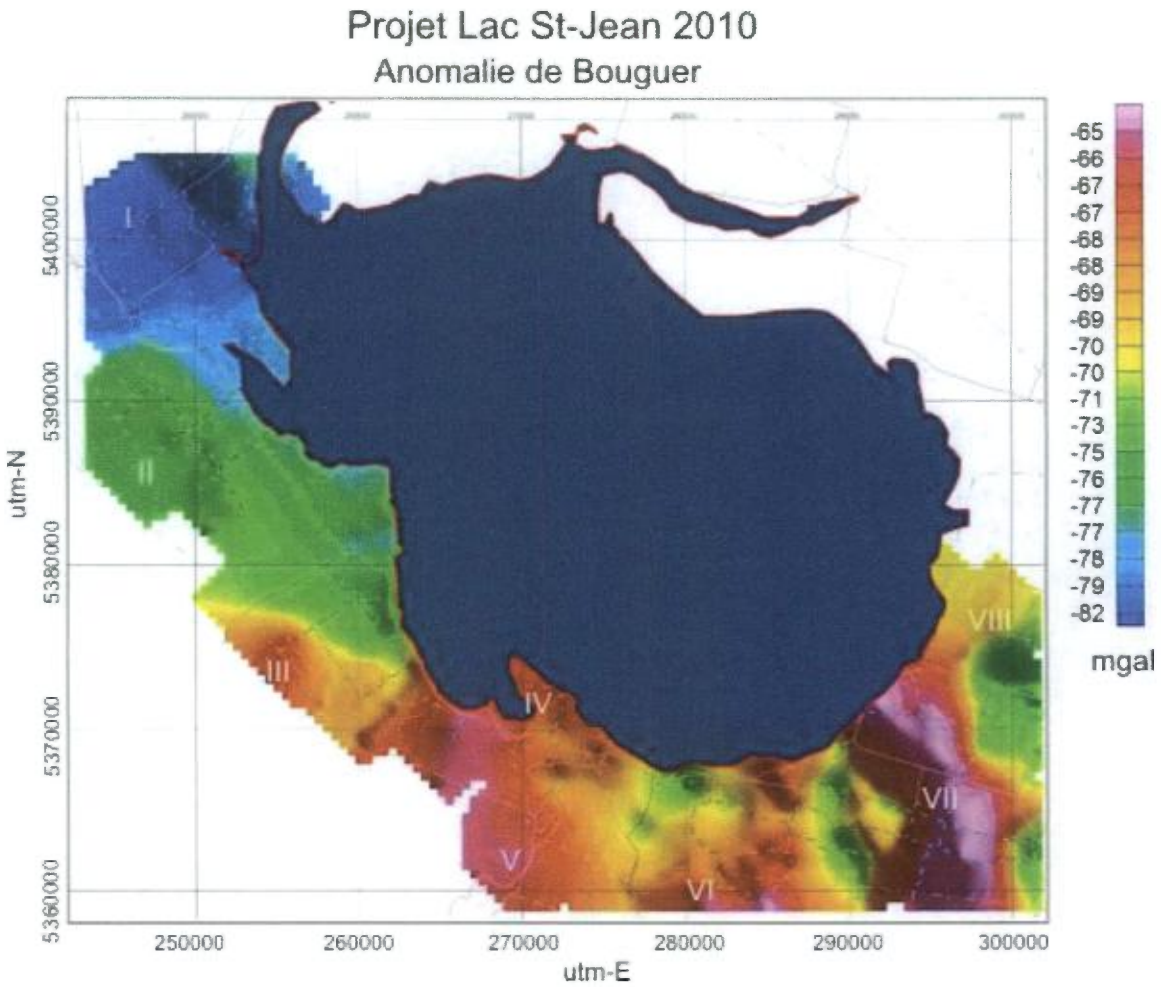



**Figure 38.** Variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie de Bouguer (données krigées). Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée).

### 5.2.6 Gravité finale

Le calcul des valeurs de gravité finale implique l'ajout d'un terme correctif qui est la correction de terrain (anomalie de Bouguer complète) (Hinze et al., 2005). Cette correction est appliquée aux valeurs de l'anomalie de Bouguer. La correction de terrain est obtenue à partir d'un modèle numérique de terrain (DEM) distribué par l'USGS. Ce modèle est utilisé par le logiciel Qctool pour calculer la correction de terrain devant être appliquée pour les différentes stations de mesure gravimétrique. Pour chacune des stations, le modèle compense pour l'effet de terrain sur des distances comprises entre 0,1 et 30 km.

Dans le cas du Lac St-Jean, cette correction est minimale dans la section lacustre du bassin et plus importante en se dirigeant vers le sud-ouest. Dans ce secteur, les roches du socle précambrien occupent les hauts topographiques. Ces unités ont une influence non négligeable sur les valeurs de gravité mesurées sur le terrain et doivent donc être compensées lors de l'interprétation des données.

Malgré la correction appliquée, la variabilité spatiale des valeurs de gravité finale est semblable à celle de l'anomalie de Bouguer (Fig. 38). Les caractéristiques régionales énumérées pour l'anomalie de Bouguer s'appliquent donc aux données de gravité finale (Fig. 39).

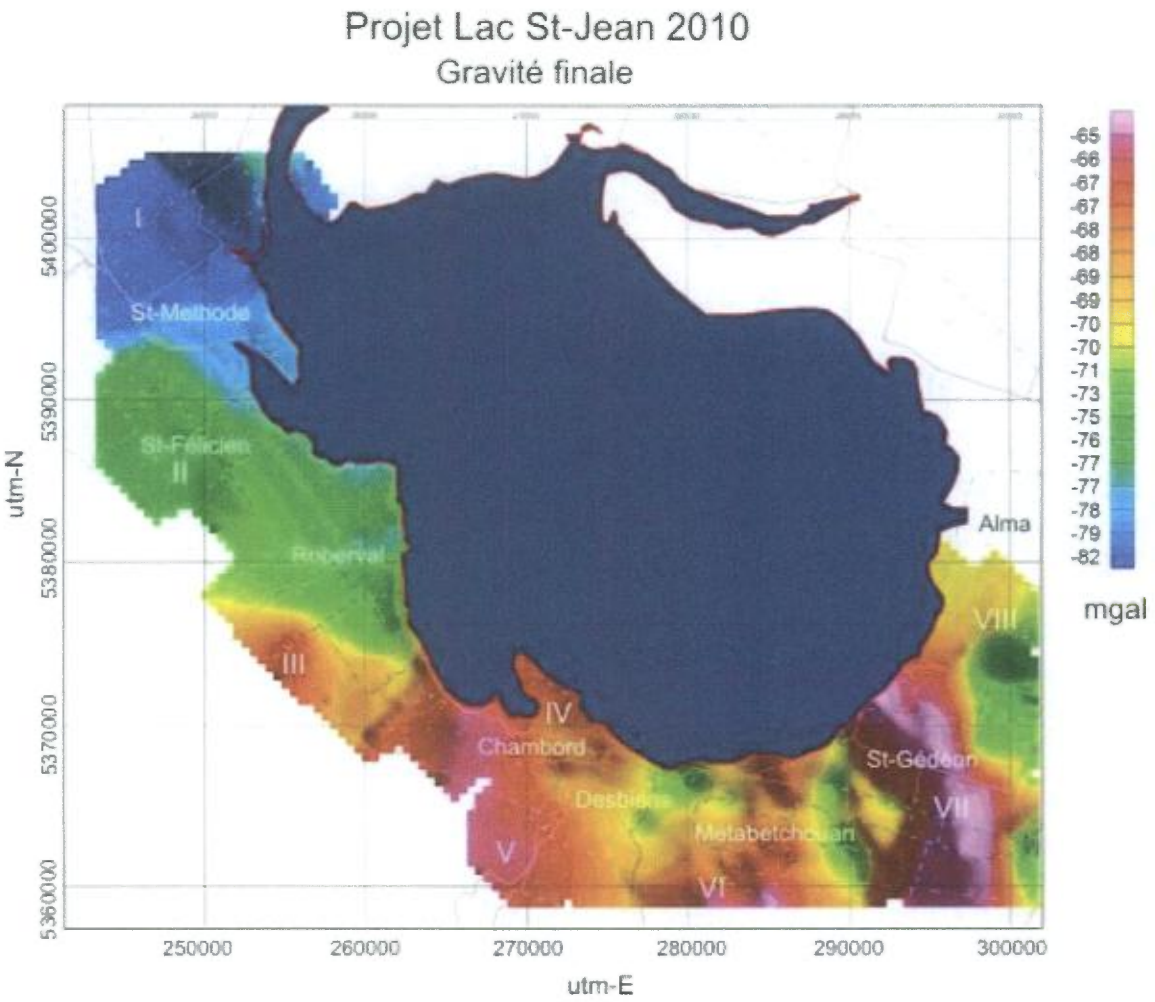



**Figure 39.** Variabilité spatiale des valeurs de gravité finale (données krigées). Projet Lac St-Jean 2010 (Mines JAG ltée).

### 5.2.6.1 *Gravité finale (dérivée verticale première)*

La dérivée verticale appliquée aux 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. corps intrusifs; Jorgensen, 2004; Aydemir et Ates, 2008). Notez qu'en gravimétrie, l'effet de petites masses ponctuelles est souvent masqué par la réponse de larges masses régionales.

La dérivée première permet généralement de cerner la présence d'anomalies régionales relativement 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 40 présente les valeurs de la dérivée verticale première des données de gravité finale. Sur cette carte, les contacts entre hauts et creux gravimétriques sont plus nets que sur les figures précédentes. Le secteur des domaines anomaliques I et II (St-Méthode-St-Félicien-Roberval) semble refléter la présence d'une zone de fortes accumulations de roches sédimentaires ordoviciennes. Les valeurs de dérivée verticale sont les plus négatives dans ce secteur. Ce secteur du lac St-Jean devrait faire l'objet d'une attention particulière pour l'exploration des hydrocarbures.

La figure 40 montre de plus la présence d'un contact abrupt de l'autre côté de la Pointe St-Methode. Du côté de la rivière Mistassini, les valeurs sont nettement plus élevées ce qui pourrait suggerer la présence du socle précambrien dans cette partie du lac (Fig. 40).

Le secteur de Métabetchouan est également marqué par de faibles valeurs de dérivée verticale. Ces valeurs contrastes avec les hautes valeurs observées à St-Gédéon et dans les collines situées au sud de Chambord, Val-Jalbert et de Roberval (Fig. 40).

Ce secteur pourrait contenir une épaisseur significative de roches sédimentaires ordoviciennes. Notez que nous avons visité une ancienne carrière de production de chaux artisanale située sur une terre agricole du rang 4 de Métabetchouan. Dans ce secteur, les calcaires sont sub-affleurants.

La présence d'une épaisseur considérable de roches ordoviciennes pourrait expliquer entre autre la présence de très fortes anomalies en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ détectées dans les sols de cette partie de la municipalité de Métabetchouan (LaFlèche et al., 2008).

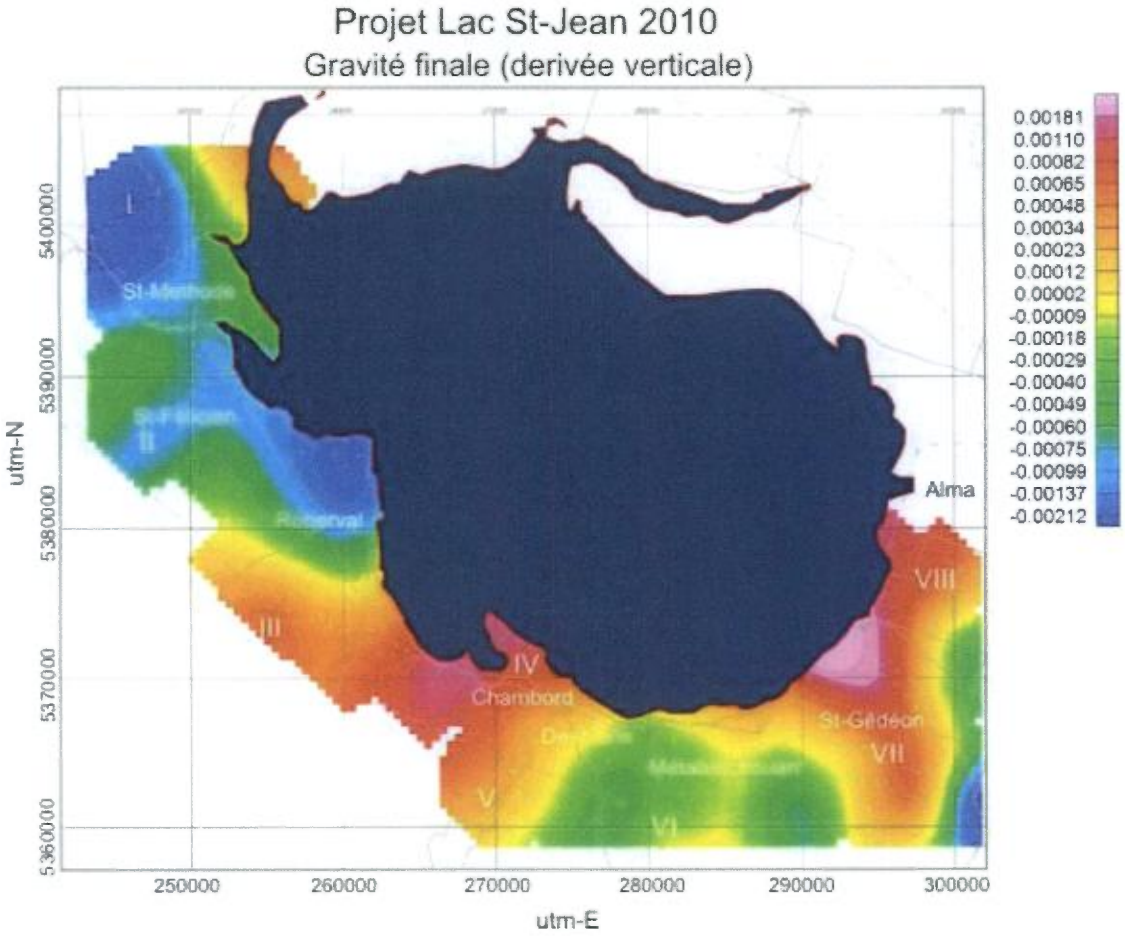



**Figure 40**. Carte de la dérivée verticale première des valeurs de gravité finale. Projet Lac St-Jean 2010.

## 5.3. INTÉGRATION DES DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES DE 2009 ET 2010

Les figures 41 et 42 montrent la variabilité spatiale des valeurs de l'anomalie de Bouguer et de la gravité finale pour les données gravimétriques mesurées sur la glace à l'hiver 2009 et en milieu terrestre en 2010. Ces cartes de compilation permettent d'apprécier l'importance du haut gravimétrique central (domaine **IX**) observé dans la partie centrale du lac et plus spécifiquement au large de la pointe de Chambord. Ces cartes indiquent également que le haut gravimétrique de St-Gédéon (domaine **VII**) se poursuit sur environ 3km sous les eaux du lac St-Jean.

Malgré l'absence de données gravimétriques sur glace dans le secteur NO du lac St-Jean, les cartes des figures 41 et 42 permettent de discuter de la nature probable de la géologie de la partie lacustre du bassin. Par exemple, Il serait peu probable que des roches ordoviciennes soient présentes dans le secteur du haut gravimétrique (**domaine IX**). A l'opposé, ces roches sont certainement présentes dans les secteurs de la Pointe de Chambord, de l'île de la Traverse, de Val-Jalbert (Baie Doré) et au large de Roberval. De la même façon, ces roches sédimentaires sont probablement présentes au large de Desbiens et de Metabetchouan mais pas dans le secteur de St-Gédéon.

Notez également que le haut gravimétrique central (**domaine IX**) pourrait être utiisé comme une limite naturelle entre deux sous-basins de roches sédimentaires ordoviciennes. Celui situé vers le nord-ouest (**domaines XI, XII**) semble plus imposant tandis que celui situé vers le sud-est (**domaine X**) semble plus encaissé entre des remontées locales du socle précambrien (Figs 41 et 42).

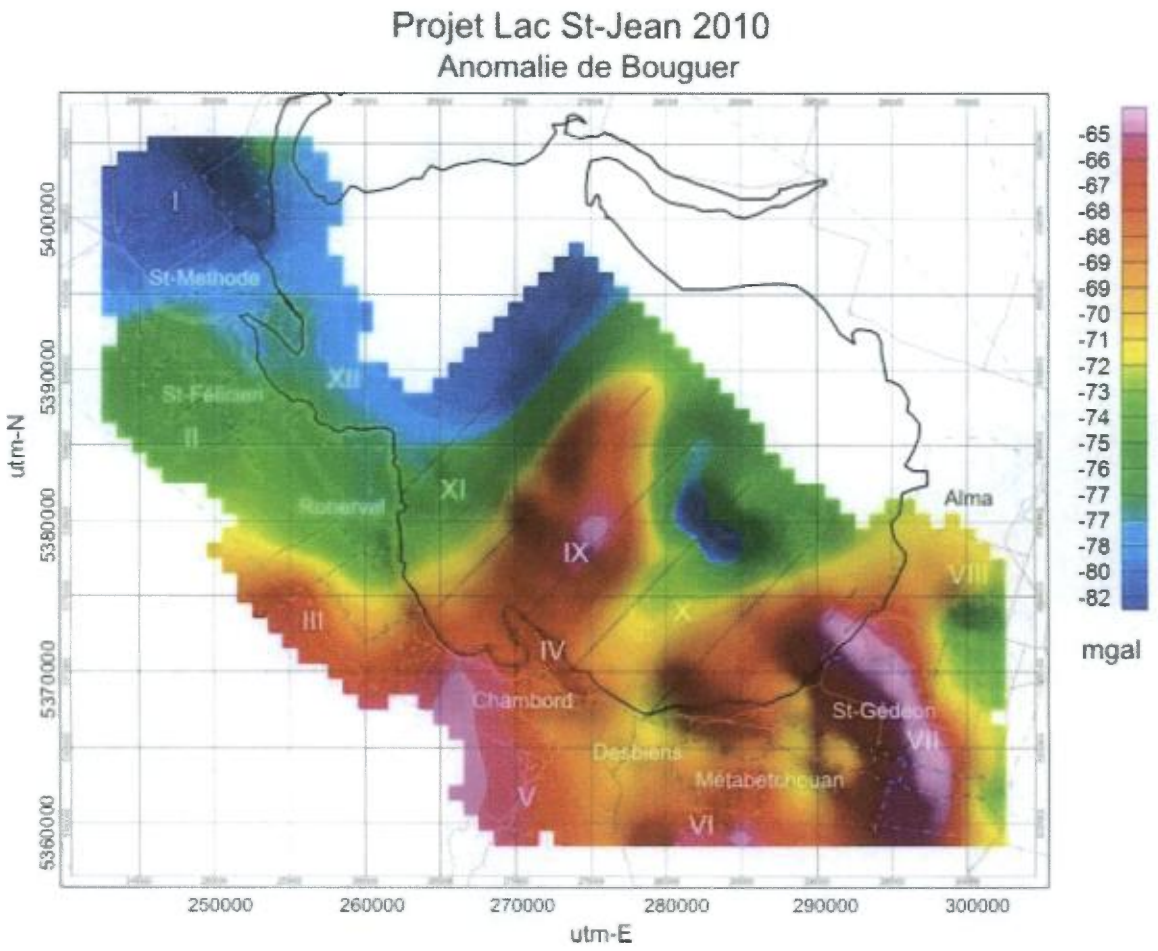



**Figure 41**. Carte des valeurs de l'anomalie de Bouguer calculées pour les stations de mesure gravimétrique des levés 2009 (sur glace) et 2010 (terrestre).

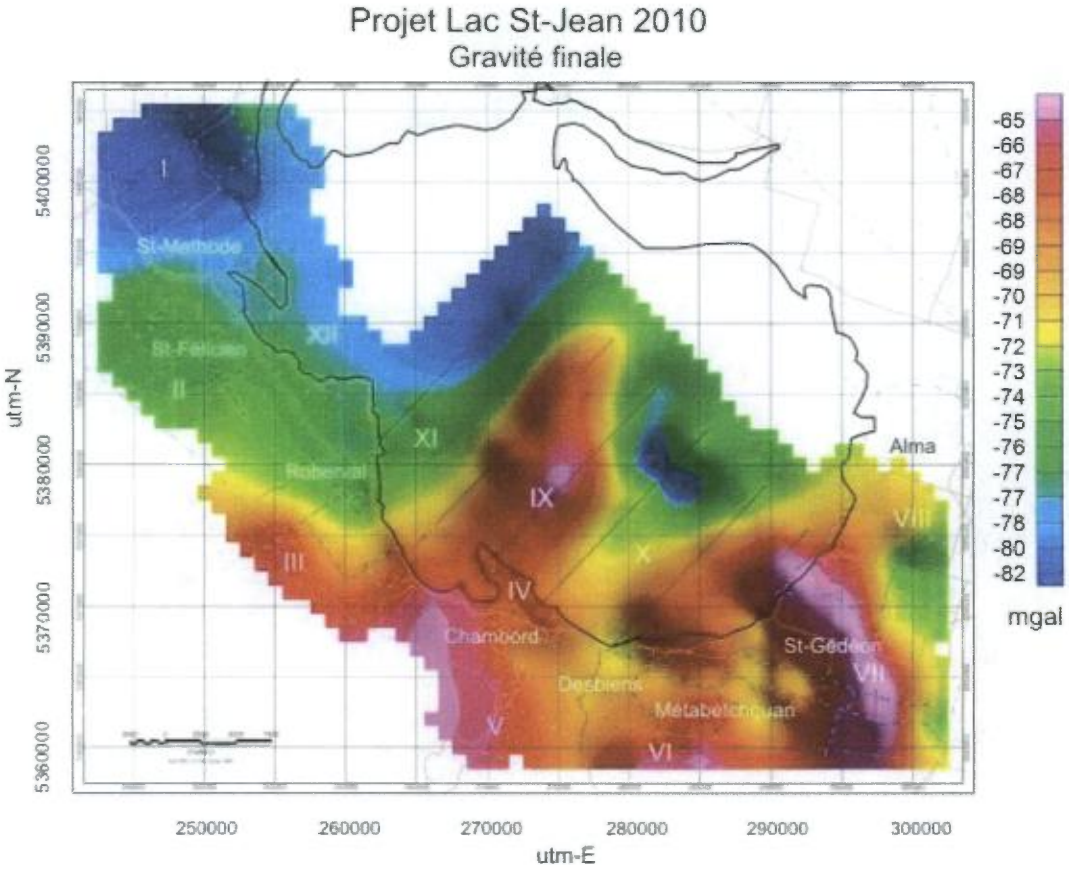



**Figure 42**. Carte des valeurs de gravité finale calculées pour les stations de mesure gravimétrique des levés 2009 (sur glace) et 2010 (terrestre).

## 5.4. INTÉGRATION DES DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES, MAGNÉTOMÉTRIQUES ET D'HYDROCARBURES C1-C4 DANS LES SOLS.

Dans l'ensemble, il est important de souligner plusieurs ressemblances entre les cartes gravimétriques et magnétométriques du lac St-Jean (ex. Fig. 43). Ces dernières impliquenet une corrélation entre la densité et la susceptibilité magnétique des roches présentes dans le bassin. Par exemple, les roches de type granitoïde sont plus denses et possèdent de plus hautes valeurs de susceptibilité magnétique par rapport aux roches sédimentaires (shales et calcaires ordoviciens).

D'un autre côté, certains rehaussements des valeurs du champ magnétique total pourraient s'expliquer par la présence de minéraux lourds concentrés dans des dépôts quaternaires deltaïques (tri hydraulique des particules sédimentaires). La présence de minéraux lourds à fortes valeurs de susceptibilité magnétique, observée dans le secteur de la Pointe Taillon, pourrait expliquer le rehaussement relativement diffus des valeurs du champ magnétique total (domaine II) observé dans la partie nord-ouest du lac (Fig. 43).

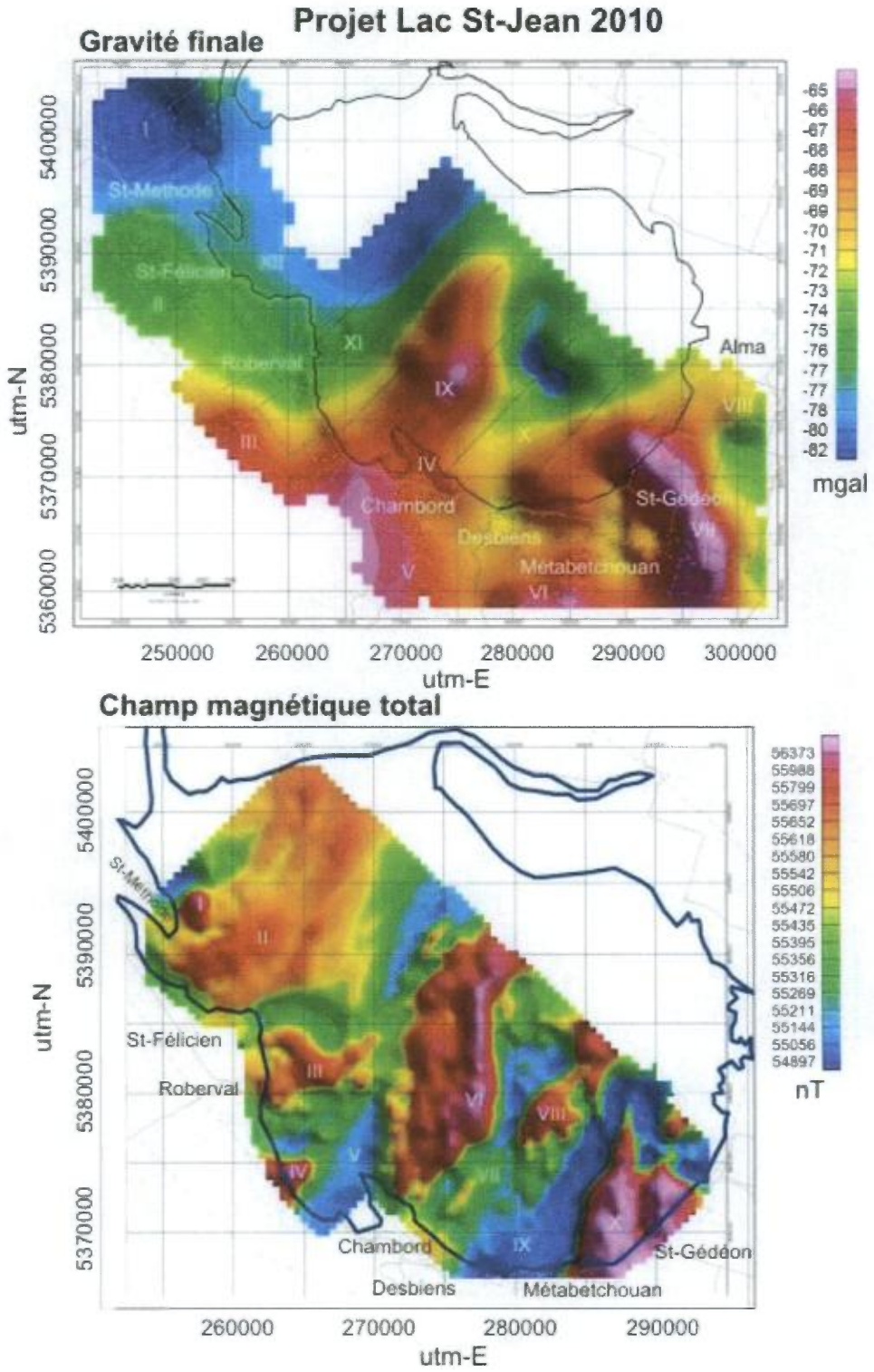



**Figure 43**. Cartes des données de gravité finale et du champ magnétique total

La figure suivante permet de comparer les données gravimétriques aux données du levé pédogéochimique de gaz réalisé en 2008. Sur cette figure, nous avons délimité le tracé approximatif des sous-bassins ordoviciens SE et NO. Sur la carte, les anomalies primaires en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ sont indiquées par des étoiles colorées. La figure 44 permet de constater que la distribution des anomalies en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ n'est pas aléatoire. Par exemple, dans le périmètre du sous-basin SE, les échantillons riches en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ sont principalement concentrés dans une zone de dépression des valeurs de gravité. Notez également que les anomalies en éthane disparaissent en passant au dessus du haut gravimétrique de St-Gédéon. Ceci reflète probablement la présence de roches gneissiques et plutoniques dans ce secteur (roches non-productrices d'hydrocarbures). Dans le secteur du sous-bassin NO, les anomalies en éthane observées dans le secteur de St-Prime-St-Félicien sont également associées à un domaine de faibles valeurs de gravité.

Le secteur de la Pointe de Chambord montre une diminution d'intensité des valeurs de gravité associée à la présence des shales ordoviciens présents au dessus de la remontée du socle précambrien (anomalie centrale IX). Ce secteur est caractérisé par la présence de fortes anomalies en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ (Fig. 44). La présence de shales bitumineux fortement fossilifères dans ce secteur serait probablement la source des hydrocarbures observés dans les sols de ce secteur.

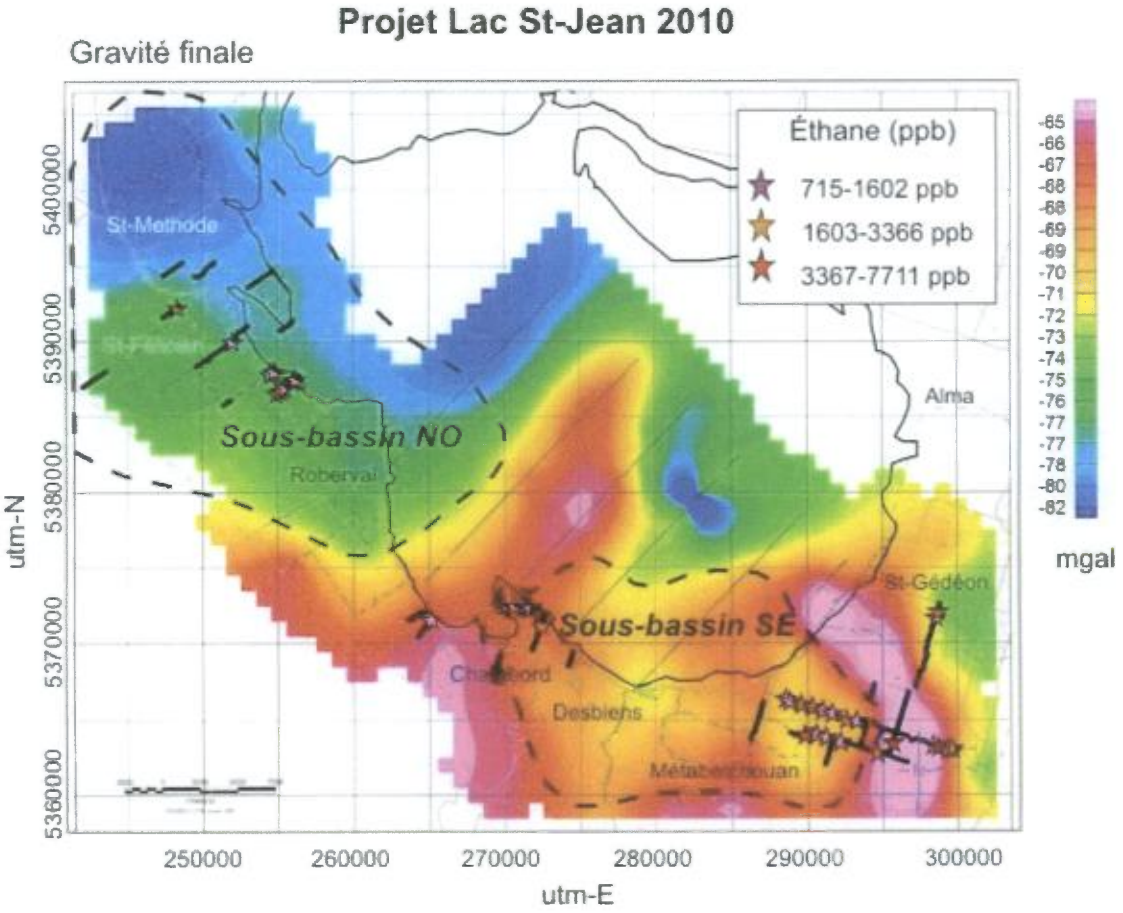



**Figure 44**. Cartes des données de gravité finale et des concentrations en hydrocarbures C1-C4 (éthane) des sols de la région. Subdivisions approximatives des sous-bassins NO et SE.

# 6. CONCLUSIONS

Les levés géophysiques réalisés sur terre et sur l'eau (2009-2010) ont permis de générer une multitude de données magnétométriques et gravimétriques spatialisées permettant de préciser la géologie des parties immergées ou recouvertes de sédiments quaternaires du bassin du lac St-Jean. L'interprétation des données gravimétriques et magnétométriques permet de démontrer l'existence d'un haut gravimétrique et magnétique central solidement ancré en profondeur. Cette zone anomalique correspond vraisemblablement à une remonté du socle précambrien dans la partie centrale du lac. Cette structure de socle sépare le bassin ordovicien du lac St-Jean en deux sous-bassins (nord-ouest et sud-est). Dans ces sous-bassins, des roches sédimentaires ordoviciennes (calcaires et ou shales) sont présentes et leurs épaisseurs semblent très variables. Le sous-bassin nord-ouest (St-Prime, St-Félicien, St-Methode) semble contenir un volume et une épaisseur de roches sédimentaires plus importants que pour le sous-bassin situé au sud-est (Metabetchouan). Conséquemment, la signature du socle précambrien est beaucoup plus évidente vers le sud-est (secteurs de Desbiens, Metabetchouan, et St-Gédéon). La superposition des données en hydrocarbures $C_1$-$C_4$ dans les sols et de gravité finale démontre l'utilité de la méthode gravimétrique pour localiser les zones de roches sédimentaires enfouies sous les dépôts quaternaires. La carte de la figure 44 souligne de plus que l'effort d'échantillonnage pédogéochimique de 2008 était insuffisant pour évaluer le potentiel en hydrocarbures des deux sous-bassins. Un échantillonnage complémentaire serait nécessaire pour évaluer le réel potentiel des sous-bassins.

Dans des conditions de stabilité de glace suffisante, des mesures gravimétriques hivernales devraient être réalisées dans la partie NO du lac St-Jean. La couverture gravimétrique dans ce secteur est insuffisante pour préciser la position du contact nord du sous-bassin NO.

# 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.

**Blakely, R.J. et Simpson, R.W.**, 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or Gravity anomalies. Geophysics 51, 1494-1498.

**Camiré, G. et LaFlèche, M.R.**, 2008. Reconnaissance du potentiel pétroligène des roches sédimentaires ordoviciennes de la propriété Lac St-Jean. Rapport, Les Mines JAG Ltée, 60 p.

**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.

**Denis, B.T.**, 1954. Summary of the logs of the Chambord no 1 and no 2 wells. Compagnie d'huile de Chambord Ltée. MRNFQ, **GM11480**, canton de Métabetchouan (SNRC 22005 et 32A08), 1 page.

**Desbiens, S. et Lespérance, P.J.**, 1988. Stratigraphy of the Ordovician of the Lac St-Jean and Chicoutimi outliers, Quebec.Can. J. Earth Sci., 26:1185-1202.

**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.

**LaFlèche, M.R. et Aznar, JC.**, 2008. Levés pédogéochimique et radiométrique sur la propriété Lac St-Jean. Rapport INRS-ETE pour les Mines JAG ltée. 184 pages.

**LaFlèche, M.R., Aznar, J-C et Boussicault, B.**, 2007. Levé magnétométrique de la propriété Lac-St-Jean de Les Mines JAG Ltée. Rapport Les Mines JAG Ltée, 76 pages.

**Laroche, P. et Richer-LaFlèche, M.**, 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., déposé sur SEDAR.

**Laroche, P., Richer-Laflèche, M. et Camiré, G.**, 2008. Programme d'exploration révisé 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, 49 p., déposé sur SEDAR.

**Lavoie, D. et Asselin, E.**, 1998. Upper Ordovician facies in the Lac St-Jean Outlier, Québec (eastern Canada): palaeoenvironmental significance for Late Ordovician oceanography. Sedimentology, 45: 817-832.

**Marchand, J.**, 1974. Les schistes bitumineux de l'est du Canada, cantons de Port-Daniel, Roberval, Simard et York. MRNFQ, Dossier d'exploration minière, **GM36020** (SNRC 22A02, 22A15 ET 32A08), 20 pages.

**Phillips, J.D.**, 2000. Locating magnetic contacts : a comparison of the horizontal gradient, analytic signal, and local wavenumber methods : Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts, 2000. Technical Program, 1, 402-405. Online :ftp://ftpext.usgs.goc/pub/cr/co/denver/musette/pub/outside_pubs/jeff/Phillips_SEG2000.pdf

**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.

**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.

**Roest, W.R. , Verhoef, J. et Pilkington, M.**, 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytical signal : Geophysics 57, 116-125.

**Silva, J.B. et Barbosa, V.C.**, 2003. 3D-Euler deconvolution : Theoritical basis for automaticallly selecting good solutions; Geophysics, 47, 31-27.

**Simard, P.**, 1962. Log géologique du puits B&S-Chambord no2 (Boissonneault et Simard Société d'Exploration). MRNFQ, **dossier 19620E010-02**, canton de Métabetchouan (SNRC 22D05), 2 pages.

**Smith, L.B. Jr**, 2006. Origin and reservoir characteristics of Upper Ordovician Trenton-Black River hydrothermal dolomite reservoirs in New York. AAPG Bulletin, 90: 1691-1718.

## 8. REMERCIEMENTS

De très nombreuses personnes ont participé à la réalisation de ce projet. Le levé magnétométrique aquatique sur le lac St-Jean a été réalisé par Vladimir Antonoff, Francois Rinfret et Marc R. LaFlèche. Le levé gravimétrique terrestre et le positionnement GPS-RTK ont été réalisés par Nicolas Tremblay, Jean-Francois Boily et Yves Asselin. M. François Pelletier a été responsable de la construction de la cabine et de la mise aux normes (Transport Canada) du Pélican.

Merci au Dr Geneviève Camiré pour ses nombreux conseils et la partie géologique de ce rapport et aux Drs D. Lavoie (CGC-Qc) et R. Bertrand (INRS-ETE) pour de très nombreuses discussions sur la géologie et le potentiel en hydrocarbures du Lac St-Jean.

Merci à M. Richard Lachapelle de Scintrex (Toronto, Ontario) et à son équipe technique pour la formation technique sur le gravimètre CG5.

Nous remercions Pierre Keatings et madame Jobin de la Commission géologique du Canada pour de nombreuses discussions techniques et scientifiques en gravimétrie.

Merci à M. Pierre Gévry, Président de Mines JAG ltée pour avoir soutenu et financé ce projet de recherche.

**Complété à Québec, le 9 septembre 2010**

**Par : Marc Richer-LaFlèche**

---

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