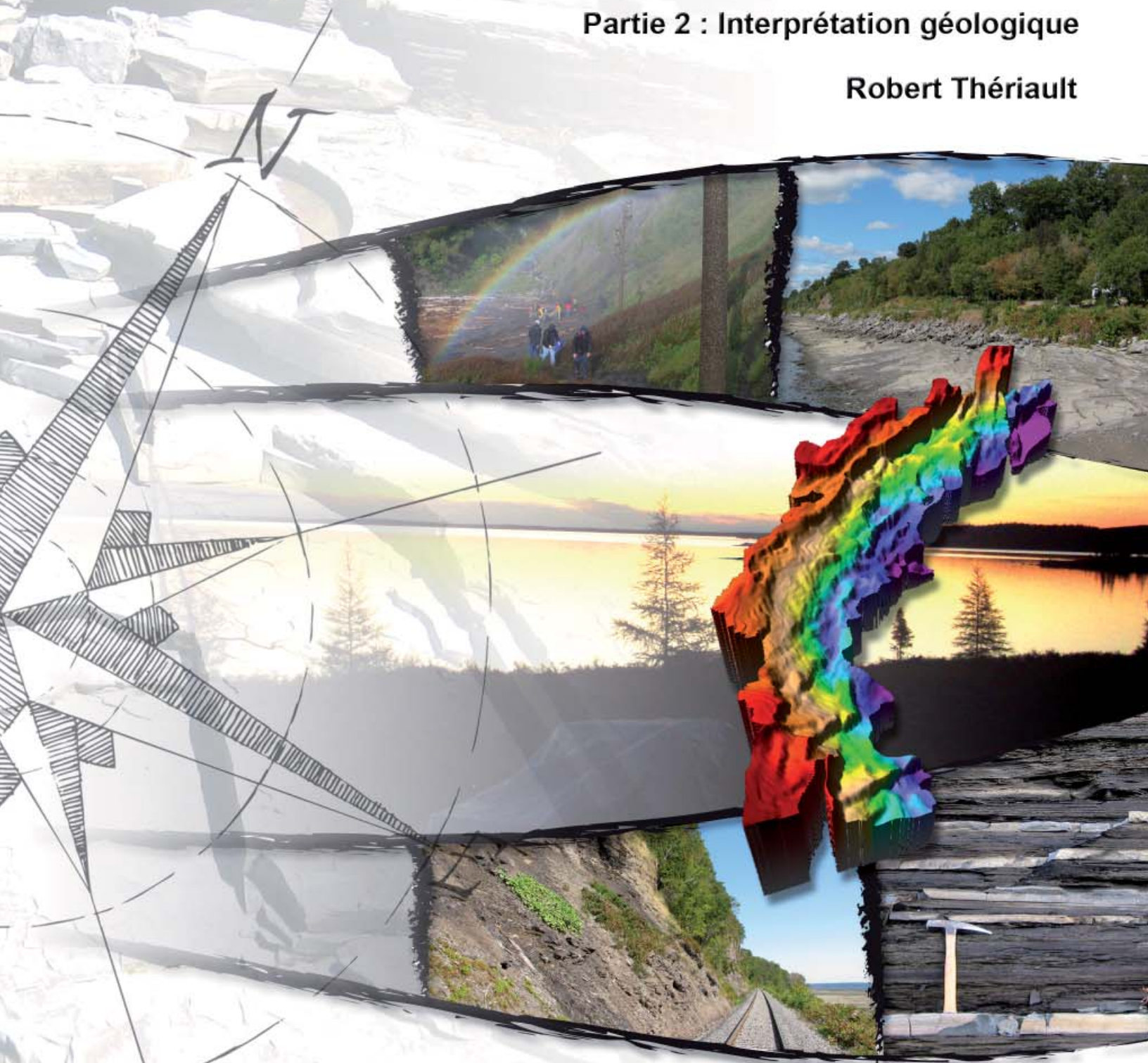


Caractérisation du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine, Basses-Terres du Saint-Laurent

Partie 2 : Interprétation géologique

Robert Thériault



DV 2012-04

Québec 

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction générale

Robert Giguère, p.i.

Direction de l'information géologique de Québec

Luc Charbonneau, p.i.

Service de l'intégration et de la diffusion

Jean-Yves Labbé, p.i.

Révision des textes

Charles Gosselin

Montage

André Tremblay

Marie-Eve Lagacé

Couverture

André Tremblay

AVERTISSEMENT

Les données utilisées pour rédiger ce rapport proviennent de sources diverses. L'exactitude et la fiabilité de ces données dépendent entièrement de ces sources.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4
Remerciements	4
GÉOLOGIE GÉNÉRALE DES BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT	4
Contexte géologique	4
Historique des travaux de forage et corridors d'exploration	5
DESCRIPTION DES UNITÉS STRATIGRAPHIQUES	6
Shale d'Utica	6
Groupe de Lorraine	6
Formation d'Altona (nouvelle formation identifiée au Québec)	8
DONNÉES GÉOPHYSIQUES	8
Données sismiques	8
Données aéromagnétiques	9
Données gravimétriques	10
DONNÉES DIAGRAPHIQUES	10
Localisation des puits avec log composite	10
Interprétation des limites stratigraphiques	10
DONNÉES GÉOCHIMIQUES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE	11
Localisation des puits avec données de Rock-Eval	11
Paramètres de Rock-Eval	11
Cartes isocontours des paramètres de Rock-Eval	12
Comparatif entre le Shale d'Utica, le Groupe de Lorraine et certaines unités de shales gazéifères aux États-Unis	13
DONNÉES MINÉRALOGIQUES	14
Localisation des puits avec données minéralogiques	14
Valeurs moyennes de la composition minéralogique	14
Diagrammes ternaires et binaires de la composition minéralogique	15
Variations minéralogiques dans les puits	15
DONNÉES DE LA RÉFLECTANCE DE LA VITRINITE	16
Localisation des puits avec données de la réflectance de la vitrinite	16
Carte isocontour des données de la réflectance de la vitrinite	16
CONCLUSIONS	16
RÉFÉRENCES	18
FIGURES 2 À 51	21
ANNEXE 1 - Liste des puits avec diagraphies et log composite	74
ANNEXE 2 - Liste des puits avec analyses géochimiques de la matière organique	75
ANNEXE 3 - Liste des puits avec analyses minéralogiques	77
ANNEXE 4 - Liste des puits et affleurements avec analyses de réflectance de la vitrinite	78

INTRODUCTION

Ce rapport présente une synthèse de diverses données géoscientifiques provenant des séquences sédimentaires du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine des Basses-Terres du Saint-Laurent. Ces données ont été recueillies par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), les compagnies d'exploration pétrolière et gazière et les organismes publics fédéraux. Précisons qu'une compilation exhaustive des données analytiques et diagraphiques est présentée sous forme d'atlas dans un document complémentaire à ce rapport (Thériault, 2012).

Le principal objectif de ce projet était de faire une caractérisation et une interprétation de la stratigraphie et de la composition géochimique et minéralogique du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine, et ce, afin de mieux évaluer leur potentiel en gaz naturel, considérant que ces séquences sédimentaires montrent de nombreuses similitudes avec plusieurs importants gisements de shales gazéifères présentement exploités aux États-Unis. Un échantillonnage exhaustif des carottes et des déblais de forage pétrolier et gazier a donc été réalisé afin d'étudier les variations minéralogiques et géochimiques du Shale d'Utica et de la partie inférieure du Groupe de Lorraine, et ce, autant à une échelle locale à l'intérieur d'un même puits (variations verticales) qu'à une échelle régionale sur l'ensemble du bassin (variations latérales). Le contenu en carbone organique total (COT), ainsi que le paramètre de l'indice d'hydrogène (IH), lequel donne une indication du degré de maturation thermique de la matière organique, ont été examinés de façon particulière. Ces paramètres permettent entre autres d'identifier les niveaux stratigraphiques et les secteurs géographiques offrant un meilleur potentiel gazier. De plus, les variations observées au niveau de la composition minéralogique facilitent les corrélations stratigraphiques régionales et peuvent servir à évaluer le potentiel de fracturation des roches lors de la complétion des puits.

Une compilation et une interprétation des diagraphies provenant des puits forés dans la séquence sédimentaire du Shale d'Utica ont également été réalisées dans le cadre de ce projet. Un log composite a été produit pour chacun de ces puits, ce qui a permis de redéfinir dans plusieurs cas les contacts stratigraphiques entre le Groupe de Trenton, le Shale d'Utica et le Groupe de Lorraine.

Remerciements

Je tiens à remercier les organisations et individus suivants pour leur aide précieuse au cours de la réalisation de ce projet :

- Les compagnies d'exploration Talisman Energy, Junex, Gastem, Forest Oil et Encana, ainsi que la Commission géologique du Canada (Denis Lavoie et Mark Obermajer) et l'Institut national de la recherche

scientifique (Rudolf Bertrand), qui ont gracieusement fourni des résultats d'analyses géochimiques et minéralogiques dans le cadre de cette étude;

- Stéphane Beauséjour (MRNF) pour la production des cartes géochimiques;
- Christine St-Laurent (Gastem inc.) et David Franzl (Plattsburg State University of New York) pour avoir porté à notre attention la présence dans le sud du Québec de lithologies apparentées à la Formation d'Altona.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE DES BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT

Contexte géologique

La position géographique des Basses-Terres du Saint-Laurent est très favorable en ce qui concerne le potentiel de découverte de gisements d'hydrocarbures, en particulier les gisements non conventionnels associés aux shales gazéifères, lesquels abondent en Amérique du Nord (figure 1). Les shales gazéifères les plus connus présentement exploités aux États-Unis sont ceux de Barnett, de Haynesville, de Fayetteville et de Marcellus. Au Canada, mis à part les Basses-Terres du Saint-Laurent, les travaux d'exploration se concentrent principalement dans le nord-est de la Colombie-Britannique (shales de Montney et de Horn River) et, à un degré moindre, dans les Maritimes (shales de Horton Bluff).

Le bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent s'est développé suivant la rupture du supercontinent Rodinia vers la fin du Néoprotérozoïque, soit il y a environ 550 à 600 millions d'années (Rankin, 1975; Thomas, 2006; Etensohn, 2008; Lavoie, 2008). Les sédiments se sont déposés le long de cette ancienne bordure continentale durant le Cambrien et l'Ordovicien, en marge de l'Océan Iapetus. Plus spécifiquement, les unités sédimentaires du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine se sont accumulées dans un bassin d'avant-pays qui s'est développé à l'Ordovicien Supérieur lors de l'orogénèse taconienne, soit il y a environ 450 millions d'années.

Les figures 2 et 3 présentent la carte géologique et la légende stratigraphique des Basses-Terres du Saint-Laurent, tirées en grande partie des travaux de Globensky (1987; 1993). Une colonne stratigraphique de la région est également présentée (figure 4), avec les époques, séries et étages stratigraphiques de l'Angleterre et de l'Amérique du Nord pour les périodes du Cambrien et de l'Ordovicien (Okulitch, 2001; International Commission on Stratigraphy, 2009), ainsi que les séquences cratoniques et les environnements tectoniques (Lavoie *et al.*, 2009).

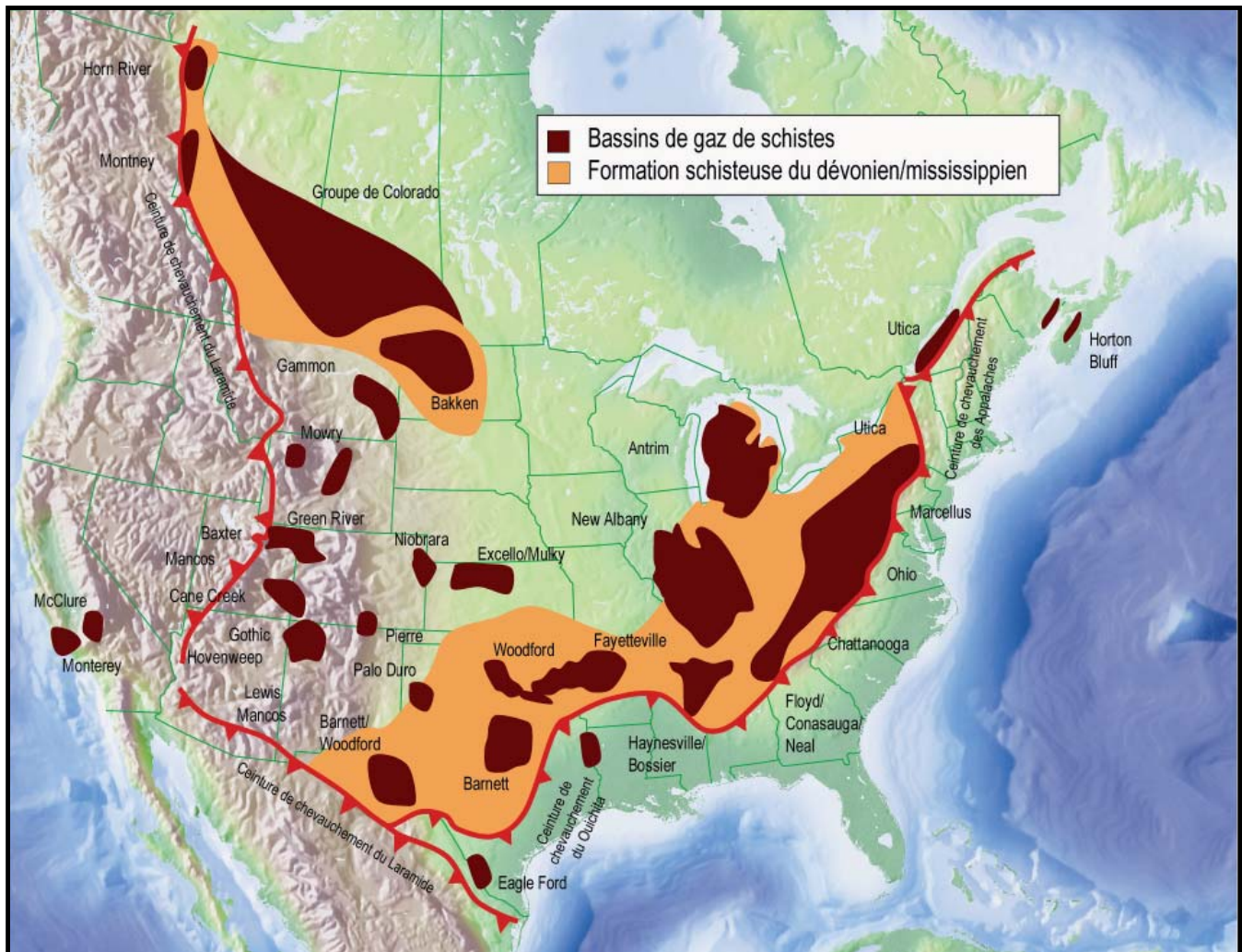


FIGURE 1 - Bassins de shales gazéifères de l'Amérique du Nord. Source : Office national de l'Énergie, 2009.

Historique des travaux de forage et corridors d'exploration

Les premiers puits réalisés dans les Basses-Terres du Saint-Laurent datent de la fin des années 1800. En date d'aujourd'hui, un total de 589 puits (dont près de 300 puits profonds forés sous le couvert de sédiments quaternaires) ont été forés, ce qui a mené à la découverte des gisements conventionnels de gaz naturel de Pointe-du-Lac (Lamothe, 1993) et de Saint-Flavien (Béland et Morin, 2000). Ces gisements ont été exploités entre les années 1960 et 1990 et sont actuellement utilisés comme sites de stockage de gaz naturel par la compagnie Intragaz.

Une importante découverte de gaz naturel dans le Shale d'Utica a été annoncée en 2008 par la compagnie américaine Forest Oil. Des débits de gaz naturel s'élevant à 1 million de pieds cubes par jour (Mpi^3/j) ont été signalés dans un forage vertical. Cette annonce a créé un réel intérêt pour l'exploration dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, de sorte que 29 puits ont maintenant été réalisés dans le sud du Québec (figure 5) pour la recherche de gaz naturel dans le Shale d'Utica, dont 11 puits horizontaux. Les premiers résultats significatifs obtenus à partir d'un forage horizontal

ont été divulgués au début de l'année 2010, lorsque Talisman Energy et son partenaire Questerre Energy ont annoncé un débit initial de gaz naturel de l'ordre de $12\text{ }Mpi^3/j$ au puits Talisman Energy, Saint-Édouard No 1 (figure 5), avec une moyenne d'environ $6\text{ }Mpi^3/j$ pour les 25 premiers jours d'essais.

Les shales du Groupe de Lorraine possèdent également un très bon potentiel gazier, mais l'industrie a préféré jusqu'à maintenant concentrer ses travaux d'exploration sur le Shale d'Utica sous-jacent.

Suite aux premiers travaux d'exploration pour les shales gazéifères, la région des Basses-Terres du Saint-Laurent a été subdivisée en trois corridors d'exploration (figure 5), soit :

Corridor No 1 : correspond à la région située à l'ouest de la faille Yamaska, et où la plateforme sédimentaire est peu profonde (toit du Shale d'Utica à moins de 800 mètres de profondeur); la faille Yamaska est une faille normale majeure reconnue en sous-surface à l'aide des données sismiques; tel que démontré par la très faible quantité de puits effectués dans ce corridor, celui-ci possède un potentiel gazier moins intéressant considérant la faible profondeur à laquelle se retrouve le Shale d'Utica;

Corridor No 2 : correspond à la région située entre la faille Yamaska et la Ligne de Logan, et où la plateforme sédimentaire est relativement profonde (toit du Shale d'Utica situé à entre 1200 et environ 2500 mètres de profondeur); la très grande majorité des puits pour l'exploration des shales gazéifères ont été effectués à l'intérieur de ce corridor.

Corridor No 3 : correspond à la région située à l'est de Ligne de Logan, et où la plateforme sédimentaire est très profonde (toit du Shale d'Utica généralement situé à plus de 2500 mètres de profondeur); ce secteur se caractérise par la présence de nombreuses écailles de chevauchement (zone allochtone des Appalaches), qui ont remonté les séquences de la plateforme plus près de la surface; très peu de puits ont été réalisés dans ce secteur vu la grande profondeur des unités sédimentaires visées, mais le potentiel gazier y demeure très intéressant.

DESCRIPTION DES UNITÉS STRATIGRAPHIQUES

Shale d'Utica

Le bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent renferme une séquence de shales particulièrement enrichie en gaz naturel, soit le Shale d'Utica. Cette unité se retrouve principalement dans la vallée du Saint-Laurent entre Montréal et Québec, et couvre en surface et en sous-surface une superficie de près de 10 000 kilomètres carrés. Les roches de cette unité affleurent le long de la rive nord du fleuve Saint-Laurent et s'approfondissent vers le sud-est pour atteindre environ 2,5 kilomètres de profondeur le long de la Ligne de Logan (figure 6). À noter que la profondeur du Shale d'Utica augmente abruptement le long de la faille Yamaska, passant d'environ 800 mètres de profondeur à environ 1200 mètres à l'est de celle-ci. La base du Shale d'Utica, qui correspond au toit du Groupe de Trenton, montre un approfondissement similaire vers le sud-est, passant d'environ 900 mètres de profondeur à l'ouest de la faille Yamaska à près de 1400 mètres à l'est, pour finalement atteindre près de 3000 mètres de profondeur le long de la Ligne de Logan (figure 7).

Le Shale d'Utica recouvre la plateforme carbonatée des Basses-Terres du Saint-Laurent, et est constitué de shales calcaireux, avec de minces interlits de calcaire (photos 1, 2 et 3) (Globensky, 1987; Lavoie *et al.*, 2008; Thériault, 2008a, 2008b, 2009). Au sens strict, les shales peuvent être considérés comme étant des marnes, ayant une composition minéralogique très riche en carbonates (Bertrand et Thériault, 2010). Le contact entre les calcaires du Trenton et les shales de l'Utica est transitionnel, alors que celui entre le Shale d'Utica et le Groupe de Lorraine est transitionnel à l'est de la faille Yamaska, et abrupt à l'ouest de cette faille, étant caractérisé par une possible discordance (photo 4).

Le Shale d'Utica a une épaisseur variant généralement entre 100 et 250 mètres, et qui atteint jusqu'à 750 mètres dans la partie sud de la région (figure 8). À partir des puits de forage, l'épaisseur moyenne du Shale d'Utica est évaluée à 105 mètres à l'ouest de la faille Yamaska, passant à 220 mètres à l'est de cette dernière. L'épaisseur moyenne de l'Utica dans la partie sud des Basses-Terres du Saint-Laurent (région de Richelieu et du lac Champlain) est de l'ordre de 640 mètres.

À partir des données diagaphiques des puits et de la composition minéralogique et géochimique de la séquence sédimentaire, le Shale d'Utica a été subdivisé en deux formations informelles distinctes, soit le Shale d'Utica Supérieur et le Shale d'Utica Inférieur (Thériault, 2008a, 2008b, 2009). Tel que démontré sur les figures 9 et 10, l'épaisseur de l'Utica Supérieur est légèrement plus grande que celle de l'Utica Inférieur, augmentant abruptement dans les deux cas à l'est de la faille Yamaska. L'Utica Supérieur est également caractérisé par des valeurs relativement élevées en COT et une composition minéralogique qui évolue graduellement vers celle des shales du Groupe de Lorraine, alors qu'à l'inverse, l'Utica Inférieur est pauvre en COT et possède une composition minéralogique qui ressemble à celle des calcaires sous-jacents du groupe de Trenton (Thériault, 2012).

Il est important de souligner que les compagnies d'exploration pétrolière et gazière oeuvrant présentement dans les Basses-Terres du Saint-Laurent utilisent la nomenclature adoptée dans l'État de New York (Goldman *et al.*, 1994; Baird et Brett, 2002). À cet endroit, le Shale d'Utica est subdivisé en 3 formations, soit : 1) la Formation de Flat Creek, située à la base de l'Utica et en contact avec le Groupe de Trenton; 2) la Formation de Dolgeville, située dans la partie médiane; et 3) la Formation d'Indian Castle, au sommet, et en contact avec le Groupe de Lorraine sus-jacent (figure 11). Cette dernière formation est de plus subdivisée en un membre supérieur et inférieur, où le membre supérieur est constitué de shales très faiblement à non calcaireux typiques de la base du Groupe de Lorraine plutôt que du sommet du Shale d'Utica. Considérant cette inconsistance au niveau stratigraphique, et le fait que le Shale d'Utica dans son ensemble possède une signature géochimique et minéralogique ainsi que des variations stratigraphiques distinctes dans ces deux régions, il a été décidé de ne pas adopter la nomenclature de l'État de New York pour le Québec.

Groupe de Lorraine

Le Groupe de Lorraine couvre en surface une grande superficie qui s'étend entre Montréal et Québec et de la rive nord du fleuve Saint-Laurent jusqu'à la faille d'Aston, située tout juste à l'ouest de la Ligne de Logan (figures 2 et 3). Son épaisseur atteint en moyenne 2000 à 2500 mètres dans l'axe du synclinal de Chambly-Fortierville. Le Groupe de Lorraine est surmontée par la séquence de molasses (lits rouges) du Groupe de Queenston (Beaulieu *et al.*, 1980; Globensky, 1987).



PHOTO 1 - Affleurement du Shale d'Utica, quai de Cap-Santé



PHOTO 2 - Shale avec interlits de calcaire, Shale d'Utica, Cap-Santé



PHOTO 3 - Patron de fracturation dans le Shale d'Utica, Cap-Santé

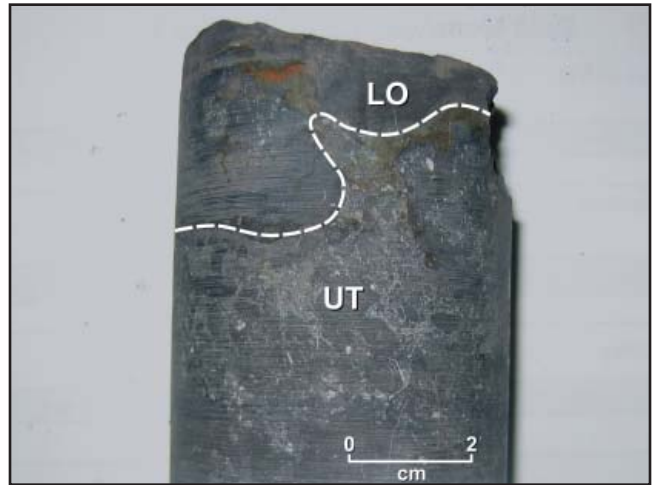


PHOTO 4 - Discordance au contact entre le Shale d'Utica et le Groupe de Lorraine



PHOTO 5 - Affleurement du Groupe de Lorraine, Chute Montmorency



PHOTO 6 - Shale avec interlits de grès, Groupe de Lorraine, Chute Montmorency

Le Groupe de Lorraine est subdivisé en deux unités distinctes, soit la Formation de Nicolet, beaucoup plus épaisse, laquelle est recouverte par la Formation de Pontgravé. La séquence sédimentaire est constituée d'une succession de flyschs orogéniques dominée par des shales et siltstones argileux et siliceux, avec de minces interlits de grès et de calcaire (photos 5 et 6). Les niveaux de calcaire deviennent plus abondants vers le sommet, ce qui caractérise la Formation de Pontgravé. Alors que les sédiments formant le Shale d'Utica sont dérivés de la plateforme carbonatée située au nord-ouest, comme en témoigne leur teneur élevée en carbonates, les unités sédimentaires formant la Formation de Nicolet ont une source provenant vraisemblablement du sud-est, soit de la chaîne taconienne. Cela expliquerait leur contenu élevé en quartz et en minéraux argileux, et leur très faible contenu en carbonates par rapport au Shale d'Utica.

Formation d'Altona (nouvelle formation identifiée au Québec)

Lors des travaux d'échantillonnage réalisés dans le cadre de cette étude, une nouvelle unité stratigraphique a été formellement identifiée dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, soit la Formation d'Altona. Celle-ci est située directement en dessous de la Formation de Covey Hill du Groupe de Potsdam, et représente donc la plus ancienne unité sédimentaire de la Plateforme du Saint-Laurent (figure 4). La Formation d'Altona a d'abord été identifiée près de la ville d'Altona dans l'État de New York, à environ 15 km au sud de la frontière du Québec (Landing *et al.*, 2007; 2009). À cet endroit, la formation est constituée de mudstone rouge, de grès feldspathique et de dolomie. La présence de trilobites a permis d'assigner à cette formation un âge se situant à la limite entre le Cambrien inférieur et le Cambrien moyen, soit approximativement 510 Ma. Bien qu'il n'existe aucun affleurement de la Formation d'Altona au Québec, la présence d'une séquence de dolomie, de mudstone rouge et de grès à la base de la Formation de Covey Hill est connue des géologues pétroliers depuis environ 30 ans, soit durant les premiers travaux de forage de la Société québécoise d'initiative pétrolière (SOQUIP) dans les Basses-Terres du Saint-Laurent (C. Morin, communication personnelle). Au cours de la présente étude, des lithologies typiques de la Formation d'Altona ont été identifiées à partir de carottes et de déblais de forage dans les 16 puits de forage suivant :

A057 – Quonto International No 1, Saint-Vincent-de-Paul
 A058 – Quonto International No 1, Mascouche
 A079 – Mallet No 1
 A157 – Canac B.P. Sisque, Brossard No 1
 A161 – Shell, Sainte-Françoise-Romaine No 1
 A166 – Shell, Saint-Armand Ouest No 1
 A167 – SOQUIP Shell, Sainte-Croix No 1
 A170 – C.S. SOQUIP, Yamachiche No 1
 A172 – C.S. SOQUIP S.W., Maskinongé No 1
 A186 – SOQUIP, Nicolet No 1
 A188 – SOQUIP, Nicolet No 2

A192 – SOQUIP, Sainte-Croix No 1 Lotbinière
 A194 – SOQUIP, Pintendre No 1 Lévis
 A196 – SOQUIP Pétrifina, Bécancour No 1
 A197 – Baieville No 1 Yamaska
 A198 – SOQUIP Pétrifina, Bécancour No 2

Une description détaillée de ces puits est disponible via la boutique de commerce électronique « Système d'information géoscientifique pétrolier et gazier » (SIGPEG) du MRNF à l'adresse suivante : <http://sigpeg.mrnf.gouv.qc.ca>

DONNÉES GÉOPHYSIQUES

Données sismiques

La région des Basses-Terres du Saint-Laurent a été couverte par un grand nombre de levés de sismique réflexion au cours des 45 dernières années. Près de 1200 lignes sismiques ont été réalisées, totalisant près de 11 500 km linéaires. De ce nombre, un total de 427 lignes sismiques sont du domaine public, pour un total de près de 6400 km linéaires (figure 12).

Le MRNF a fait l'acquisition de trois profils sismiques dans les Basses-Terres du Saint-Laurent au cours des années 1978 et 1979, soit les lignes M-2001, M-2002 et M-2003 (figure 12). Ces profils sont orientés NW-SE, et recoupent de façon perpendiculaire la stratigraphie des Basses-Terres du Saint-Laurent. Une interprétation détaillée de chacun de ces profils sismiques par Castonguay *et al.* (2006; 2010) a permis une meilleure compréhension de la stratigraphie des Basses-Terres du Saint-Laurent en sous-surface.

La ligne M-2001 (figure 13), d'une longueur de plus de 150 km, se prolonge du fleuve Saint-Laurent (Pointe-Platon) jusqu'à la frontière américaine, à l'est de Lac-Mégantic. Le profil illustre l'architecture de la plateforme du Saint-Laurent, et inclut le champ gazier de Saint-Flavien. On y observe une série de failles normales à pendage abrupt vers le sud-est représentant une structuration en demi-grabens qui affecte la séquence de plateforme et le socle précambrien. À noter qu'un épaississement marqué du Shale d'Utica est observé sur le côté affaissé de la faille Yamaska, ce qui implique que cette faille était vraisemblablement active lors de la sédimentation. De plus, les failles normales de la plateforme sont recoupées par des failles de chevauchement à faible pendage qui se sont développées lors de l'orogénèse taconienne. Ce profil sismique permet de reconnaître que le Shale d'Utica se situe approximativement à entre 1,2 et 2,5 km de profondeur entre la faille Yamaska et la Ligne de Logan, et entre environ 2,5 et 3,5 km entre cette dernière et le champ gazier de Saint-Flavien. À noter que seulement environ 40 km de la longueur totale de ce profil sismique est présenté à la figure 13, soit l'étendue de la plateforme des Basses-Terres du Saint-Laurent.

La ligne M-2002 s'étend sur une longueur de 70 km entre le secteur nord de Trois-Rivières et Kingsley Falls, situé à

20 km au sud de Victoriaville (figure 12). Le profil sismique (figure 14) montre un patron structural similaire à celui de la ligne M-2001. On y observe la présence de failles normales (plus rarement inverses) qui affectent la plateforme et le socle précambrien, ainsi que des failles de chevauchement plus tardives à pendage vers le sud-est.

La ligne M-2003 (figure 12) s'étend sur environ 50 km le long de la rivière Saint-François, entre le lac Saint-Pierre et Drummondville. Ce profil sismique (figure 15) montre un patron structural similaire aux deux autres profils sismiques.

À partir de l'interprétation des nombreux profils sismiques couvrant les Basses-Terres du Saint-Laurent, la SOQUIP a élaboré des cartes très détaillées du toit du socle précambrien ainsi que du toit du Groupe de Trenton (Laliberté et Trépanier, 1982; SOQUIP, 1984a, 1984b). Ces cartes ont récemment été digitalisées et retraitées par le MRNF (Thériault *et al.*, 2005a, 2005b) afin de mieux illustrer ces marqueurs stratigraphiques. Ces nouvelles cartes ont permis de mettre en évidence deux réseaux de failles distincts, soit : 1) un réseau de failles normales en demi-grabens orientées NNE-SSW à NE-SW dans la plateforme et le socle précambrien; et 2) des failles normales et/ou en décrochement orientées E-W à ESE-WNW, et interprétées comme étant associées au graben d'Ottawa-Bonnechère et/ou à de possibles failles transformantes reliées au rifting du supercontinent Rodinia (Thériault, 2007). Les figures 16 et 17 présentent respectivement la carte du toit du socle précambrien et celle du toit du Groupe de Trenton, la profondeur étant exprimée en temps double (seconde) de propagation de l'onde sismique. Une illumination en provenance du nord-ouest (315°) permet de mettre en relief les structures géologiques, entre autres la structuration en demi-grabens de la plateforme associée aux failles normales (Konstantinovskaya *et al.*, 2009, 2010). Ces cartes sont également présentées selon une vue en pseudo 3D, avec une orientation vers le nord-ouest (figure 18) et vers le nord-est (figure 19), ce qui permet de mieux visualiser les failles normales et/ou en décrochement d'orientation est-ouest, qui sont perpendiculaires à l'axe longitudinal du bassin sédimentaire. Ces cartes en pseudo 3D montrent une exagération verticale de 2,5X afin d'accentuer le relief des différents réseaux de failles. À noter que les deux champs de gaz naturel exploités au Québec, soit ceux de Pointe-du-Lac et de Saint-Flavien, sont localisés le long de deux de ces possibles failles cambriennes d'orientation ESE-WNW, lesquelles ont ensuite probablement rejouées lors de l'orogène appalachien. Il est donc envisageable que ces failles aient eu un certain rôle à jouer dans le développement de ces deux réservoirs et/ou dans la migration subséquente des hydrocarbures. Une troisième faille de même orientation (ESE-WNW), située tout juste au sud du lac Saint-Pierre (voir figures 16 à 19), semble avoir rejouée en faille de décrochement dextre, tel que le laisse suggérer la présence probable de plis d'entraînement situés de par et d'autre de cette structure.

La formation de ces deux réseaux orthogonaux de failles, qui est reliée à l'ouverture de l'Océan Iapetus au Cambrien, a conduit au développement d'un patron structural comportant plusieurs sous-bassins mesurant quelques dizaines de km de dimension latérale. Ces sous-bassins pourraient avoir des implications importantes quant au potentiel gazier des shales de l'Utica et du Lorraine et à la localisation de secteurs plus propices à l'exploration (« sweet spots »), ainsi qu'au potentiel pour des cibles conventionnelles telles les calcaires des groupes de Trenton et de Black River (concept de dolomie hydrothermale) (Davies et Smith, 2006; Smith, 2006; Thériault, 2007).

Données aéromagnétiques

Les levés magnétiques aéroportés sont essentiels à l'évaluation du potentiel pétrolier, gazier et minier d'une région. Les données acquises permettent aux compagnies de reconnaître et d'interpréter les structures géologiques et les limites des sous-bassins sédimentaires d'une région, et ainsi de circonscrire les secteurs les plus propices à l'exploration et les guider quant à la réalisation ultérieure de levés sismiques et de puits exploratoires pétroliers et gaziers. L'utilité des données aéromagnétiques de haute résolution pour l'exploration des ressources gazières non conventionnelles, comme les shales gazéifères, a récemment été démontrée pour le Shale de Montney de l'Ouest canadien (Berger *et al.*, 2008, 2009, 2010). Plus spécifiquement, les puits producteurs de gaz naturel dans le Montney sont spatialement associés à la présence de profondes failles normales interprétées à partir des données aéromagnétiques. Ces failles crustales ont subdivisé la région en plusieurs terranes ou sous-bassins.

Les figures 20, 21, et 22 présentent les résultats d'un levé magnétique aéroporté de haute résolution réalisé en 2009-2010 dans les Basses-Terres du Saint-Laurent par la compagnie EON Géosciences inc. pour le compte du MRNF. Ces trois figures présentent respectivement la composante résiduelle du champ magnétique total, la dérivée première verticale du champ magnétique total résiduel et la dérivée seconde verticale du champ magnétique total résiduel. Toutes les cartes produites dans le cadre de ce levé sont disponibles via la boutique de commerce électronique SIGPEG du MRNF.

Un total de 116 105 km linéaires a été nécessaire afin de couvrir l'ensemble de la région, soit une superficie d'environ 29 000 km². La région couverte par le levé s'étend de la frontière américaine (au sud) jusqu'à Montmagny (au nord). Les lignes de vol étaient distantes de 300 mètres et ont été volées dans une direction SE-NW, alors que la hauteur du vol était de l'ordre de 305 mètres (1000 pieds). La forte densité de population dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, qui cause un bruit culturel important au niveau des données magnétiques enregistrées et nécessite ainsi un énorme travail de correction des données (« déculture »), explique pourquoi la hauteur de vol a été établie quelques centaines de mètres plus élevées que le standard habituel pour ce type de levé de haute résolution.

Données gravimétriques

Les figures 23 et 24 présentent respectivement les cartes de l'anomalie de Bouguer et de la première dérivée de l'anomalie de Bouguer couvrant les Basses-Terres du Saint-Laurent. Les données matricielles sont tirées du site internet de Ressources naturelles Canada (NRCan, 2012), et proviennent d'une compilation de nombreux levés gravimétriques au sol réalisés entre les années 1948 et 1999. La superficie couverte par ces deux cartes représente environ 6000 stations de mesure de la gravité, à un espacement moyen d'environ une station aux 9 km carrés. L'interpolation des données a été réalisée selon une maille de 2 km.

DONNÉES DIAGRAPHIQUES

Localisation des puits avec log composite

L'annexe 1 présente une liste des 63 puits des Basses-Terres du Saint-Laurent où des diagraphies ont été prises dans les unités géologiques du Groupe de Lorraine et du Shale d'Utica. Un log composite a été produit pour chacun de ces puits, lesquels sont localisés sur la carte géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent (figure 25). Chaque log composite contient : 1) l'ensemble des diagraphies prises dans le puits; 2) les résultats d'analyses du carbone organique total (COT), lorsque disponible ; et 3) une interprétation stratigraphique des sommets du Groupe de Trenton, du Shale d'Utica Inférieur et du Shale d'Utica Supérieur. Ces logs composites peuvent être consultés dans le document de format atlas qui accompagne ce rapport (Thériault, 2012). À noter qu'il est possible de se procurer l'ensemble des diagraphies et des logs composites des puits forés au Québec via la boutique de commerce électronique SIGPEG du MRNF.

Interprétation des limites stratigraphiques

Il est important de souligner que la position des contacts stratigraphiques interprétés dans le cadre de cette étude est souvent différente de celle apparaissant dans les rapports de fin de forage des compagnies pétrolières et gazières, ces dernières ayant basé leur interprétation principalement sur les descriptions visuelles des déblais de forage. Les contacts stratigraphiques ont été interprétés principalement à partir des diagraphies des puits, tout en tenant compte également des données géochimiques et minéralogiques et de la description lithologique des carottes et des déblais de forage (Thériault, 2012).

La figure 26 présente la localisation de deux profils stratigraphiques orthogonaux, orientés respectivement NW-SE et SW-NE, le long desquels se retrouvent trois différents puits. Une interprétation stratigraphique à partir des logs

composites des puits situés le long de chacun de ces deux profils est présentée aux figures 27 (profil NW-SE; +/- perpendiculaire à la stratigraphie régionale) et 28 (profil SW-NE; +/- parallèle à la stratigraphie régionale). Sur chacun de ces deux profils, l'épaisseur du Shale d'Utica est inscrite dans la marge de gauche des trois logs composites. De plus, le contact stratigraphique entre le Shale d'Utica Supérieur et le Groupe de Lorraine est illustré à l'aide de tirets bleus épais, étant soit transitionnel ou abrupt. Dans le cas où le contact est transitionnel, la séquence est incluse dans le Shale d'Utica Supérieur plutôt que dans le Groupe de Lorraine considérant que les shales sont calcareux. La position de la faille de Yamaska en relation avec les puits est également montrée sur ces deux figures.

Contact stratigraphique Trenton – Utica

Le contact stratigraphique entre le Groupe de Trenton et le Shale d'Utica Inférieur est généralement graduel et se manifeste par une augmentation progressive de la quantité d'interlits de shale calcareux à l'intérieur des calcaires du Groupe de Trenton. Ainsi, la limite avec le Shale d'Utica a été fixée à l'endroit où la proportion des interlits de shale calcareux est supérieure à 50 %.

Le contact transitionnel entre le Groupe de Trenton et le Shale d'Utica est clairement visible sur les logs composites des diagraphies des puits (voir figures 27 et 28), où l'on observe entre autres une augmentation graduelle des valeurs de rayon gamma accompagné d'une diminution des valeurs de porosité-neutron, d'acoustique et de résistivité. D'ailleurs, la diagraphie de la résistivité est très utile pour localiser ce contact stratigraphique, montrant une diminution beaucoup plus abrupte des valeurs (voir figure 27, puits A189, et figure 28, puits A165), laquelle est reliée à la nature très résistive des niveaux de calcaire qui caractérise le Groupe de Trenton.

Le contact Trenton – Utica est également marqué par une augmentation vers le haut des valeurs en COT, ce qui s'explique par la plus grande quantité de matière organique dans le Shale d'Utica.

Contact stratigraphique Utica Inférieur – Utica Supérieur

Le contact stratigraphique entre l'Utica Inférieur et l'Utica Supérieur, bien qu'en apparence graduel en ce qui concerne la composition géochimique (Thériault, 2012), montre des différences marquées au niveau des données diagraphiques des puits. Par exemple, l'on observe au contact un pic au niveau du rayon gamma, avec une diminution graduelle (c.à.d. inversion) des valeurs vers le haut dans l'Utica Supérieur. De plus, une augmentation assez soudaine et marquée est observée au niveau des diagraphies de porosité-neutron, acoustique et résistivité (voir figures 27 et 28). Une augmentation graduelle des valeurs de COT est également notée au-dessus du contact.

Contact stratigraphique Utica – Lorraine

La nature du contact stratigraphique entre l'Utica Supérieur et le Groupe de Lorraine est variable dépendamment dans quel secteur des Basses-Terres du Saint-Laurent l'on se retrouve. De façon générale, les puits forés à l'est de la faille Yamaska montre un contact très graduel entre l'Utica et le Lorraine, alors qu'à l'ouest de cette faille, le contact est très franc et marqué par une possible discordance (voir figure 27, puits A151, et figure 28, puits A199). Ces variations dans la nature du contact stratigraphique sont très perceptibles sur l'ensemble des données diagraphiques des puits. En particulier, une augmentation importante vers le haut des valeurs du rayon gamma est observée, qui s'explique par l'augmentation importante du contenu en minéraux argileux associé à une diminution significative du contenu en minéraux carbonatés dans la séquence sédimentaire du Groupe de Lorraine. De plus, pour les mêmes raisons, l'on note une diminution importante des valeurs de porosité neutron, de l'acoustique et de la résistivité.

Le contact Utica – Lorraine est également marqué par des variations au niveau de la teneur en COT qui semblent être en partie fonction de la position géographique des puits analysés. En effet, tel que démontré par les valeurs de COT reportées sur les logs composites (figures 27 et 28), les puits situés au sud-ouest du lac Saint-Pierre montrent, de façon générale, des valeurs de COT qui atteignent leur maximum dans la partie inférieure du Groupe de Lorraine (voir figure 27, tous les puits, et figure 28, puits A199) alors qu'au nord-est de la limite sud du lac Saint-Pierre, les valeurs maximales de COT dans un puits se retrouvent près du sommet de l'Utica Supérieur, diminuant ensuite graduellement vers le haut.

Cette variation de la position stratigraphique à laquelle des teneurs maximales de COT sont observées dans un puits, qui varie du nord-est au sud-ouest dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, est possiblement reliée à un approfondissement maximal du bassin qui se serait produit plus tardivement dans la partie sud-ouest du bassin.

Deux hypothèses sont ici proposées pour expliquer ce possible diachronisme, soit : 1) une migration vers le sud-ouest du bombement périphérique (*peripheral bulge*; Jacobi, 1981; Quinlan et Beaumont, 1984) en avant du front appalachien; ou 2) un approfondissement soudain du bassin au sud d'une importante faille normale orientée E-W à NW-SE qui serait située directement au sud du lac Saint-Pierre. Cette possible faille normale, initialement interprétée à partir des images satellitaires et des données magnétiques, gravimétriques et sismiques (Thériault *et al.*, 2005a, 2005b), pourrait être une structure réactivée s'étant initialement formée au Cambrien lors de la phase de rift du supercontinent Rodinia, et ainsi représenter une ancienne faille transformante, ou bien plutôt être génétiquement associée au graben d'Ottawa-Bonnechère, situé tout juste au sud et formé à la même époque, tel que discuté précédemment. La présence possible de failles d'extension orientées perpendiculairement à l'axe longitudinal de la plateforme des Basses-Terres du Saint-Laurent

a déjà été proposée par Lavoie (1994), ces failles délimitant des blocs tectoniques structurés en horsts et grabens entre Montréal et Québec.

DONNÉES GÉOCHIMIQUES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

Localisation des puits avec données de Rock-Eval

Les données géochimiques de la matière organique ont été acquises sur des échantillons prélevés à partir de carottes ou déblais de forage provenant de 88 puits de forage distribués sur l'ensemble du territoire des Basses-Terres du Saint-Laurent (figure 29, annexe 2). Ces analyses ont été réalisées par la méthode Rock-Eval (II ou VI), tandis que des échantillons provenant de 4 autres puits ont été analysés uniquement pour le carbone organique total (COT) par la méthode LECO. Un total de 1062 analyses de Rock-Eval ont été réalisées pour le compte du MRNF dans le cadre de ce projet, alors que 1315 analyses ont été fournies par l'industrie ou le gouvernement fédéral (Lavoie *et al.*, 2011).

Paramètres de Rock-Eval

L'ensemble des analyses géochimiques obtenues par la méthode Rock-Eval dans le cadre de ce projet se retrouvent dans le document complémentaire (format atlas) de Thériault (2012). Le tableau de données et les cartes isocontours présentés dans cet atlas comportent, entre autres, les résultats analytiques des principaux paramètres suivants :

- S1** = Hydrocarbures libres (mg d'hydrocarbures / g d'échantillon; pyrolyse à 300°C)
- S2** = Potentiel en hydrocarbures (mg d'hydrocarbures / g d'échantillon; pyrolyse à 300-650°C)
- S3** = CO₂ de source organique (mg de CO₂ / g d'échantillon; pyrolyse à 850°C)
- T_{max}** = Température au maximum de la courbe de S2 (en °C)
- CR** = Carbone organique résiduel
- CP** = Carbone organique pyrolysable
- COT** = Carbone organique total (CP + CR)
- COT_{max}** = valeur maximale de COT dans un puits
- IH** = Indice d'hydrogène (100 x S2 / COT)
- IO** = Indice d'oxygène (100 x S3 / COT)
- IB** = Indice de bitume (100 x S1 / COT)
- IP** = Indice de production (S1 / (S1 + S2))
- PG** = Potentiel génétique (S1 + S2)
- CMIN** = Carbone minéral
- IRE** = Indice de Rock-Eval (tient compte des paramètres COT, IH et IP; paramètre développé dans le cadre de cette étude)
- IRE_{max}** = valeur maximale de IRE dans un puits

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes pour certains des principaux paramètres de Rock-Eval pour chacune des unités stratigraphiques traitées dans ce rapport. Sur la base de ces valeurs moyennes, les shales appartenant au Groupe de Lorraine et au Shale d'Utica Supérieur semblent posséder un potentiel gazier plus intéressant que le Shale d'Utica Inférieur, considérant leurs valeurs plus élevées en COT, S1 et IP, et leurs plus faibles valeurs de IH.

TABLEAU 1 - Valeur moyenne de certains paramètres de Rock-Eval

	COT	S1	IH	IP
Lorraine	0,99	0,33	63	0,37
Utica Supérieur	1,04	0,47	82	0,38
Utica Inférieur	0,61	0,26	91	0,32

Cartes isocontours des paramètres de Rock-Eval

Des cartes isocontours en couleur ont été réalisées pour chacun des paramètres de Rock-Eval afin d'évaluer les variations latérales régionales de la composition géochimique. Ces cartes se retrouvent dans l'atlas accompagnant ce rapport (Thériault, 2012). À l'exception des paramètres du COT_{max} et de IRE_{max} , toutes les données reportées sur ces cartes représentent des valeurs moyennes dans le cas où plus d'un échantillon a été analysé au sein de la même unité stratigraphique. Les valeurs reportées sur chaque carte correspondent à la localisation des puits analysés (identifiés par de petits cercles blancs sur les cartes). Il est important de souligner qu'une extrapolation des données a été effectuée sur une certaine distance en périphérie de chacune des cartes isocontours présentées dans cet atlas, et que cela doit être pris en compte lors de l'interprétation des résultats.

Les principales cartes isocontours suivantes sont présentées et discutées ci-dessous :

- Carbone organique total (COT)
- Indice d'hydrogène (IH)
- Indice de production (IP)
- Indice de Rock-Eval (IRE)

La faille Yamaska et la Ligne de Logan ont été tracées sur chacune des cartes afin de faciliter l'interprétation.

Carbone organique total (COT)

Les figures 30, 31 et 32 présentent les cartes isocontours des valeurs moyennes du COT, et ce, respectivement pour le Groupe de Lorraine, le Shale d'Utica Supérieur et le Shale d'Utica Inférieur. Les valeurs de COT du Groupe de Lorraine montrent des variations assez régulières et sont nettement plus élevées dans la partie ouest et nord-ouest de la région,

particulièrement entre Trois-Rivières et le sud de Montréal, où elles atteignent jusqu'à 2,1 % de moyenne dans un même puits (figure 30). La plus grande quantité de matière organique dans les roches de ces secteurs n'est pas surprenante considérant la diminution graduelle de la maturité thermique vers le nord-ouest, et qui est reliée à un enfouissement moins profond des séquences sédimentaires. Les valeurs moyennes de COT dans le Shale d'Utica Supérieur (figure 31) sont quant à elles très irrégulières, et atteignent jusqu'à 2,0 % à l'ouest de la faille Yamaska dans la région de Trois-Rivières et au sud du lac Saint-Pierre. Cette grande irrégularité au niveau du contenu en COT est surprenante et difficile à expliquer. Le Shale d'Utica Inférieur se caractérise par des valeurs moyennes de COT plus élevées au nord-est du lac Saint-Pierre (entre Trois-Rivières et Québec), atteignant jusqu'à 1,1 %, avec des valeurs très faibles vers le sud-ouest dans le secteur de Montréal (figure 32).

La figure 33 présente les valeurs de COT_{max} (valeur maximale de COT dans un puits) pour le Shale d'Utica Supérieur. Cette carte comprend les analyses géochimiques provenant de puits situés à l'est de la Ligne de Logan, soit dans la zone allochtone. Dans le puits A185, une valeur très élevée de 5,1 % COT a été obtenue à une profondeur de 13 500 pieds (4115 m). De plus, dans le puits A179, des valeurs relativement élevées se situant entre 2 et 3 % COT ont été mesurées entre 9100 et 9600 pieds de profondeur (2775-2925 m). La présence de telles concentrations suggère l'existence d'un intéressant potentiel gazier dans les séquences sédimentaires chevauchées situées en profondeur et à l'est de la Ligne de Logan, où très peu de puits d'exploration ont été réalisés.

Indice d'hydrogène (IH)

Les figures 34, 35 et 36 présentent les cartes isocontours des valeurs moyennes de l'indice d'hydrogène (IH) pour le Groupe de Lorraine, le Shale d'Utica Supérieur et le Shale d'Utica Inférieur. Pour chacune de ces unités, les valeurs de IH diminuent de façon relativement régulière vers le sud-est de la région, ce qui témoigne d'une augmentation graduelle et d'envergure régionale du degré de maturité thermique dans le bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent. À noter que pour ce paramètre, les valeurs les plus faibles se sont vues assigner les couleurs les plus chaudes (teintes rosées), considérant qu'elles représentent une dégradation plus importante de la matière organique et donc d'un potentiel gazier plus intéressant.

Indice de production (IP)

Les cartes isocontours des valeurs moyennes de l'indice de production (IP) sont présentées aux figures 37, 38 et 39 pour les mêmes séquences sédimentaires que décrites ci-dessus. Comme pour les valeurs de IH, l'on observe généralement une variation graduelle des valeurs vers le sud-est, dans ce cas-ci une augmentation du paramètre IP, ce qui témoigne d'un plus important potentiel gazier. Toutefois, pour le Groupe de Lorraine, l'on observe également

des valeurs plus importantes au sud du lac Saint-Pierre. Ceci pourrait suggérer un enfouissement plus profond des séquences sédimentaires de cette unité dans ce secteur, possiblement relié à un effondrement tectonique syn-sédimentaire le long d'une importante faille normale d'orientation E-W à NW-SE située au sud du lac Saint-Pierre, tel que discuté précédemment.

Indice de Rock-Eval (IRE)

Dans le but de délimiter les secteurs ayant un potentiel gazier plus intéressant, et ce, strictement sur la base des données de Rock-Eval, un paramètre nommé « Indice de Rock-Eval (IRE) » a été développé dans le cadre de cette étude (Thériault, 2008a). Cet indice, qui combine à la fois des paramètres de quantité de matière organique (COT) et de degré de maturité thermique (IH et IP), permet d'identifier des secteurs où la quantité de matière organique demeure relativement importante malgré un degré de maturité thermique élevé, ce qui pourrait correspondre à des endroits à potentiel gazier plus important. La procédure utilisée permettant de calculer l'indice de Rock-Eval pour chacune des unités stratigraphiques est la suivante :

- **Groupe de Lorraine** : $IRE_{LO} = ((COT \times 30,77) + (100 - (IH/2,09) + (IP \times 128,2)) / 3)$; Valeur ensuite recalculée à 100% : $IRE_{LO} \times (100 / IRE_{LO-max}) = IRE_{LO} \times (100 / 83,72)$
- **Utica Supérieur** : $IRE_{UT-Sup} = ((COT \times 43,86) + (100 - (IH/2,77) + (IP \times 126,6)) / 3)$; Valeur ensuite recalculée à 100% : $IRE_{UT-Sup} \times (100 / IRE_{UT-Sup-max}) = IRE_{UT-Sup} \times (100 / 89,38)$
- **Utica Inférieur** : $IRE_{UT-Inf} = ((COT \times 51,55) + (100 - (IH/2,69) + (IP \times 169,5)) / 3)$; Valeur ensuite recalculée à 100% : $IRE_{UT-Inf} \times (100 / IRE_{UT-Inf-max}) = IRE_{UT-Inf} \times (100 / 77,51)$

Les figures 40, 41 et 42 présentent les cartes isocontours du paramètre IRE respectivement pour le Groupe de Lorraine, le Shale d'Utica Supérieur et le Shale d'Utica Inférieur. Les cartes pour les deux unités du Shale d'Utica montrent un patron très similaire aux cartes du paramètre IH. Ainsi, les valeurs élevées de IRE, qui devraient correspondre à un potentiel gazier théoriquement plus important, se retrouvent dans la partie sud-est et plus profonde du bassin. Ceci concorde avec les travaux d'exploration réalisés à ce jour par les entreprises gazières, lesquels se sont concentrés principalement dans un corridor délimité par la faille Yamaska et la Ligne de Logan (figure 5). Toutefois, la carte du Groupe de Lorraine montre plutôt des valeurs élevées de IRE dans la partie sud des Basses-Terres du Saint-Laurent, et des valeurs beaucoup plus faibles vers le nord-est. Tel que décrit précédemment pour la carte du paramètre IP, une démarcation importante d'orientation WNW-ESE coïncide avec la limite sud du lac Saint-Pierre, ce qui vient également

suggérer la présence possible à cet endroit d'une importante faille normale, avec un possible effondrement du bassin sédimentaire au sud. À noter que cette démarcation WNW-ESE se remarque également, bien qu'à un moindre niveau, sur les cartes du Shale d'Utica Supérieur et Inférieur.

Comparatif entre le Shale d'Utica, le Groupe de Lorraine et certaines unités de shales gazéifères aux États-Unis

Diagramme binaire S2 vs. COT

La figure 43 présente les résultats d'analyses de Rock-Eval sur un diagramme binaire du paramètre S2 versus le carbone organique total. Les analyses provenant de quatre bassins sédimentaires de shales gazéifères situés aux États-Unis (c.-à-d. les shales de Barnett, Antrim, New Albany et Haynesville) sont d'abord présentées sur la figure 43a (Jarvie, 2007), alors que les analyses provenant du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine sont reportées sur les figures 43b et 43c. Le paramètre S2 représente le « potentiel en hydrocarbures » encore présent dans la roche, c'est-à-dire la quantité de matière organique n'ayant pas été transformée en « hydrocarbures libres » (paramètre S1). Ainsi, la valeur du paramètre S2 diminue en fonction d'une augmentation du degré de maturité thermique de la roche.

Tel qu'illustré sur la figure 43a, les shales gazéifères de Antrim et de New Albany possèdent des valeurs de S2 beaucoup plus élevées que celles associées aux shales de Barnett et de Haynesville, pour des valeurs similaires de carbone organique total, ce qui témoigne d'un plus faible degré de maturité thermique pour les premiers. La présence de quantités significatives de gaz naturel dans ces gisements malgré le fait que le degré de maturité thermique soit faible (c.-à-d. valeurs élevées de S2) est relié à une origine biogénique (Shale de Antrim) ou biogénique/thermogénique combiné (Shale de New Albany) du gaz naturel (Rokosh *et al.*, 2009). L'étalement des valeurs sur le diagramme de S2 vs. COT est très différent en ce qui concerne les shales de Barnett et de Haynesville, lesquels sont caractérisés par de faibles valeurs de S2 peu importe le contenu en carbone organique total. Cette tendance est typique des shales où l'origine du gaz est thermogénique, ayant été généré à un degré relativement élevé de maturité thermique. Il est à noter que certaines analyses provenant du Shale de Barnett montrent un étalement très similaire à celui des shales de Antrim et de New Albany, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que la formation du Shale de Barnett montre un approfondissement graduel à partir de la marge du bassin, où il affleure en surface. Ainsi, une augmentation graduelle du degré de maturité thermique est observée en fonction de la profondeur de la formation.

Les figures 43b et 43c (agrandi de 43b) présentent les résultats d'analyses sur le diagramme de S2 vs. COT pour les shales de l'Utica et du Lorraine. De façon similaire au Shale de Barnett, et malgré le fait que les valeurs de S2 et de COT soient sensiblement moins élevées, les valeurs

montrent deux tendances distinctes, soit : 1) un groupe d'analyses ayant systématiquement de très faibles valeurs de S2 peu importe le contenu en COT, et qui représente des échantillons de forage prélevés dans la partie sud-est du bassin sédimentaire (c.-à-d. corridors no 2 et no 3, figure 5), soit à des profondeurs relativement importantes où le degré de maturité thermique est élevé; et 2) un groupe d'analyses montrant une diminution graduelle des valeurs de S2 en fonction d'une diminution concomitante des valeurs de COT, et qui représente des échantillons provenant du corridor no 1 (partie nord-ouest du bassin), là où les shales de l'Utica et du Lorraine affleurent en surface ou se retrouvent à de faibles profondeurs. Tout comme pour le Shale de Barnett, cette dernière tendance témoigne d'une augmentation graduelle de la maturité thermique en fonction de la profondeur, soit du nord-ouest vers le sud-est.

Diagramme binaire IH vs. T_{max}

La figure 44 présente les résultats d'analyses de Rock-Eval sur un diagramme binaire du paramètre IH (indice d'hydrogène) versus T_{max} (température au maximum de la courbe de S2).

La figure 44a présente les résultats des 4 mêmes bassins de shales gazéifères situés aux États-Unis (Jarvie, 2007), et tout comme pour le diagramme précédent, les analyses provenant des shales de Antrim et de New Albany montrent un degré de maturité thermique relativement faible, comme en témoigne les valeurs très élevées de l'indice d'hydrogène (>200) combiné à de faibles valeurs de T_{max} . À l'inverse, les analyses provenant des shales de Barnett et de Haynesville montrent de faibles valeurs de l'indice d'hydrogène (<100) combiné à des valeurs élevées de T_{max} , ce qui indique un degré de maturité thermique élevé. À noter que les échantillons ayant des valeurs très faibles de T_{max} (c.-à-d. 330-430°C) représentent des résultats erronés pour ce paramètre qui sont dus au fait que la valeur de S2 (c.-à-d. hauteur de la courbe obtenue par pyrolyse) de ces échantillons est trop faible, ce qui apporte une sous-évaluation de la valeur de T_{max} .

La figure 44b présente les résultats pour les shales de l'Utica et du Lorraine. La très grande majorité des analyses provenant de ces deux unités stratigraphiques ont des valeurs de l'indice d'hydrogène inférieures à 200, ce qui témoigne du degré de maturité thermique relativement élevé de ces roches. Toutefois, un regroupement d'analyses provenant exclusivement du Shale d'Utica possèdent des valeurs du paramètre IH relativement élevées (c.-à-d. 200-300); ces échantillons ont été prélevés dans la partie nord-ouest de la région (c.-à-d. corridor no 1), où le degré de maturité thermique est moins élevé. De façon encore plus marquée que pour le Shale de Barnett, de nombreuses analyses possèdent des valeurs très faibles de T_{max} (c.-à-d. 300-430°C), et qui s'explique également par une sous-évaluation de cette valeur causée par des valeurs très faibles du paramètre S2 en général dans les Basses-Terres du Saint-Laurent (figure 43).

DONNÉES MINÉRALOGIQUES

Localisation des puits avec données minéralogiques

L'annexe 3 présente une liste des puits des Basses-Terres du Saint-Laurent pour lesquels un total de 313 analyses minéralogiques par diffractométrie de rayons X (DRX) ont été réalisées dans le cadre de cette étude. De plus, 6 autres analyses ont été obtenues de l'industrie. Les analyses ont été réalisées sur des échantillons prélevés à partir de carottes ou déblais de forage provenant de 18 puits distribués sur l'ensemble du territoire des Basses-Terres du Saint-Laurent (figure 45).

L'ensemble des analyses minéralogiques obtenues par DRX dans le cadre de ce projet se retrouvent dans le document complémentaire (format atlas) de Thériault (2012). Les analyses ont été réalisées pour le compte du MRNF par la compagnie RMB Earth Science Consultants Ltd de la Colombie-Britannique à l'aide de la méthode d'analyse quantitative de Rietveld. Les proportions des minéraux suivants ont été déterminées : quartz, chlorite, illite, kaolinite, pyrite, albite, orthoclase, dolomie et calcite.

Valeurs moyennes de la composition minéralogique

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes de la composition minéralogique à partir des données de DRX pour les échantillons du Groupe de Lorraine, de l'Utica Supérieur et Inférieur et du Groupe de Trenton, et ce, pour les principaux minéraux suivants : quartz, feldspaths, calcite, dolomie et argiles. Ces résultats démontrent que, de façon générale, les échantillons du Shale d'Utica sont typiquement très riches en calcite et ont une composition qui est relativement similaire aux calcaires du Groupe de Trenton. Ceci confirme que le Shale d'Utica est formé principalement de shales calcareux (marnes). À l'inverse, les échantillons du Groupe de Lorraine sont très pauvres en calcite, étant plutôt enrichis en minéraux argileux et en minéraux silicatés (quartz et feldspaths).

TABLEAU 2 - Composition minéralogique moyenne des principales unités

	Quartz	Feldspaths ¹	Calcite	Dolomie	Argiles ²
Lorraine	27,1	10,1	8,0	6,5	46,4
Utica Supérieur	13,8	4,9	53,4	6,4	20,2
Utica Inférieur	11,3	4,4	52,5	4,7	25,8
Trenton	7,4	2,3	71,3	4,1	13,6

¹ : Feldspaths = albite + orthoclase

² : Argiles = illite + chlorite + kaolinite

Diagrammes ternaires et binaires de la composition minéralogique

Diagrammes ternaires

Des diagrammes ternaires présentant la composition minéralogique d'échantillons provenant du Groupe de Lorraine, du Shale d'Utica Supérieur et Inférieur et du Groupe de Trenton ont été réalisés dans le cadre de cette étude, et ceux-ci sont présentés dans l'atlas accompagnant le présent rapport (Thériault, 2012).

À titre d'exemple, sur le diagramme ternaire de quartz+feldspaths vs calcite vs argiles (figure 46), l'on remarque que les échantillons du Groupe de Trenton possèdent une composition minéralogique qui évolue de façon graduelle vers les analyses minéralogiques de l'Utica Inférieur, avec une diminution du contenu en calcite (voir flèche bleu et blanche). Ceci suggère une évolution graduelle de la composition minéralogique entre ces deux unités stratigraphiques, ce qui est corroboré par la nature transitionnelle du contact géologique, tel qu'observé en affleurement et sur les données diagraphiques des puits. De façon similaire, les résultats d'analyses de l'Utica Supérieur montrent une évolution graduelle de la minéralogie vers des compositions représentatives du Groupe de Lorraine (voir flèche rouge et jaune), ce qui est également appuyé par la nature habituellement transitionnelle du contact géologique entre ces deux unités, à tout le moins à l'est de la Faille Yamaska. Ces deux différentes tendances observées dans l'évolution de la composition minéralogique sont vraisemblablement reliées à une variation temporelle et spatiale de la source de sédiments, provenant d'abord de l'ouest (c.-à-d. déposition et érosion de la plateforme carbonatée) dans le cas de la sédimentation des unités calcareuses du Groupe de Trenton, du Shale d'Utica Inférieur et de la partie basale du Shale d'Utica Supérieur, et de l'est (c.-à-d. érosion de la chaîne orogénique taconienne des Appalaches) en ce qui concerne la sédimentation de la partie sommitale du Shale d'Utica Supérieur et du Groupe de Lorraine.

Diagrammes binaires

Un total de 16 différents diagrammes binaires présentant la composition minéralogique d'échantillons provenant du Groupe de Lorraine, du Shale d'Utica Supérieur et Inférieur et du Groupe de Trenton sont présentés dans le document complémentaire à ce rapport (Thériault, 2012).

Sur la plupart de ces diagrammes, on remarque un patron de dispersion des analyses minéralogiques qui est très similaire à ce qui a été présenté sur le diagramme ternaire discuté à la section précédente. Plus particulièrement, tel qu'illustré sur le diagramme de calcite vs argiles (figure 47), la composition minéralogique des échantillons du Groupe de Trenton montre une transition graduelle avec les échantillons provenant de la partie inférieure du Shale d'Utica, et une relation similaire est observée entre les échantillons de la partie supérieure du Shale d'Utica et ceux du groupe de

Lorraine. La figure 48 présente quant à elle sur l'axe des abscisses la somme du quartz, des feldspaths (albite+orthoclase) et des carbonates (calcite+dolomie). Puisque ces minéraux possèdent des propriétés faisant en sorte qu'ils se comportent de façon cassante lorsque soumis à un stress élevé (par rapport aux argiles), ce diagramme permet donc de faire une évaluation sommaire de la facilité à laquelle la roche pourrait se fracturer dans le cadre de travaux éventuels de fracturation hydraulique associée à la mise en production de gaz naturel. Ainsi, strictement sur la base de leur composition minéralogique, les unités sédimentaires du Groupe de Trenton et du Shale d'Utica devraient posséder un potentiel de fracturation nettement plus élevé que celles du Groupe de Lorraine, et qui s'explique par le fait qu'elles contiennent des quantités relativement faibles de minéraux argileux.

Variations minéralogiques dans les puits

Les figures 49a et 49b présentent les variations de la composition minéralogique en fonction de la profondeur dans les puits Imperial Lowlands No 1 (A069) et Sarep Laduboro, Saint-Ours No 1 (A162), respectivement. Sur chacune des figures, la proportion des minéraux (% en poids) pour les paramètres suivants sont illustrés : calcite, quartz + feldspaths, argiles et calcite / dolomie. De plus, dans la marge de droite se retrouve les variations du carbone organique total (COT) en fonction de la profondeur. Les contacts stratigraphiques, tels qu'interprétés à partir de l'ensemble des données géologiques, diagraphiques, géochimiques et minéralogiques, figurent également sur chacune de ces figures. À noter que le puits A069 est situé environ 50 km au nord-est de Trois-Rivières le long de la rive sud du Saint-Laurent, tout juste à l'ouest de la faille Yamaska, alors que le puits A162 est situé entre Montréal et le lac Saint-Pierre sur la rive sud du Saint-Laurent, mais du côté est de la faille Yamaska.

Sur les deux figures, l'on observe une diminution graduelle vers le haut du contenu en calcite (+/- rapport calcite/dolomie) associée à une augmentation du contenu en argiles (+/- quartz+feldspaths), et ce, à partir du Groupe de Trenton jusqu'au sommet du Shale d'Utica Inférieur. Environ au contact entre l'Utica Inférieur et l'Utica Supérieur, cette tendance s'inverse abruptement, à savoir qu'une augmentation soudaine du contenu en calcite (+/- rapport calcite/dolomie) est observée, accompagnée d'une diminution du contenu en argiles (+/- quartz+feldspaths), tel qu'illustré à l'aide des flèches de couleur. Finalement, dans la partie médiane du Shale d'Utica Supérieur, cette tendance s'inverse à nouveau, montrant une diminution du contenu en calcite et du rapport calcite/dolomie accompagnée d'une augmentation du contenu en argiles et en quartz+feldspaths, et ce, jusque dans le Groupe de Lorraine.

La hausse soudaine du contenu en calcite accompagnée d'une diminution du contenu en argiles, observé approximativement au niveau du contact entre le Shale d'Utica Inférieur et Supérieur, pourrait être reliée à une variation

eustatique du niveau marin (cycle transgressif-régressif), ou bien à un effondrement tectonique soudain de la plateforme carbonatée le long de failles normales en demi-graben orientées SW-NE (ex. faille Yamaska). Suivant cette dernière hypothèse, la partie inférieure de l'Utica Supérieur pourrait représenter des dépôts turbiditiques de talus continentaux situés à l'est des failles normales d'orientation SW-NE (structures en demi-grabens), selon le modèle proposé pour expliquer l'origine de la Formation de Dolgeville dans l'État de New York (Bradley et Kidd, 1991; Baird et Brett, 2002), et qui correspond, du côté américain, à l'unité médiane du Shale d'Utica. La Formation de Dolgeville se caractérise par l'alternance de lits de shale et de calcaire, et ressemble à la séquence stratigraphique affleurant le long de la rive nord du fleuve Saint-Laurent dans le secteur de Cap-Santé (voir photo 2), et qui correspond approximativement à la partie médiane du Shale d'Utica. La présence de lits de calcaire dans la partie inférieure du Shale d'Utica Supérieur est de plus suggérée par la diagraphie de la résistivité (figures 27 et 28), laquelle se caractérise par des valeurs nettement plus élevées dans l'Utica Supérieur par rapport à l'Utica Inférieur et qui est typique de roches contenant des niveaux de calcaire.

DONNÉES DE LA RÉFLECTANCE DE LA VITRINITE

Localisation des puits avec données de la réflectance de la vitrinite

L'annexe 4 présente une liste des puits et des affleurements des Basses-Terres du Saint-Laurent pour lesquels 135 valeurs de la réflectance de la vitrinite ont été compilées à partir des données provenant de la littérature (Bertrand, 1991). Les valeurs couvrent l'ensemble du territoire des Basses-Terres du Saint-Laurent (figure 50).

L'ensemble des valeurs de la réflectance de la vitrinite se retrouvent dans l'atlas accompagnant ce rapport (Thériault, 2012). La réflectance de la vitrinite permet d'évaluer le degré de maturité thermique d'une région.

Carte isocontour des données de la réflectance de la vitrinite

La figure 51 présente une carte isocontour des données de la réflectance de la vitrinite à partir des valeurs compilées. La carte présente les données pour l'ensemble des unités stratigraphiques pour lesquelles des valeurs de réflectance de la vitrinite ont été obtenues, soit le Groupe de Lorraine, le Shale d'Utica Inférieur et Supérieur, les formations de Sainte-Sabine et de Lotbinière du Groupe de Sainte-Rosalie (équivalent distal du Groupe de Lorraine) et la Formation de la Ville de Québec (équivalent distal du Shale d'Utica).

La carte isocontour montre des valeurs qui augmentent graduellement vers le sud-est, soit dans la direction d'appro-

fondissement du bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent. Cette augmentation de la réflectance de la vitrinite, et donc du degré de maturité thermique, est corroborée par certains paramètres de Rock-Eval présentés précédemment, dont l'indice d'hydrogène (IH) et l'indice de production (IP).

CONCLUSIONS

Ce rapport ainsi que l'atlas qui l'accompagne ont été réalisés dans le but de présenter une compilation et une interprétation de l'ensemble des données géoscientifiques provenant des unités sédimentaires du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine des Basses-Terres du Saint-Laurent. Un accent particulier a été placé sur l'acquisition de nouvelles données géochimiques et minéralogiques ainsi que sur une interprétation stratigraphique à partir des diagraphies des puits, et ce, afin de permettre à l'industrie pétrolière et gazière de mieux évaluer le potentiel en gaz naturel du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine. Ces séquences sédimentaires montrent de nombreuses similitudes avec plusieurs importants gisements de shales gazéifères présentement exploités aux États-Unis.

Les principales conclusions de ce projet sont les suivantes :

1) Trois différents corridors pour l'exploration des shales gazéifères ont été délimités dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, soit :

- un premier corridor situé à l'ouest de la faille Yamaska, et où la plateforme sédimentaire est peu profonde (toit du Shale d'Utica à moins de 800 mètres de profondeur); ce secteur possède un potentiel limité vu la faible profondeur des unités favorables;
- un deuxième corridor situé entre la faille Yamaska et la Ligne de Logan, et où la plateforme sédimentaire est relativement profonde (toit du Shale d'Utica situé à entre 1200 et 2500 mètres de profondeur); ce secteur possède un excellent potentiel, ce qui est confirmé par la forte densité de forages exploratoires et des résultats préliminaires très encourageants;
- un troisième corridor situé à l'est de Ligne de Logan, et où la plateforme sédimentaire est très profonde (toit du Shale d'Utica généralement situé à plus de 2500 mètres de profondeur); ce secteur, qui se caractérise par la présence de nombreuses écailles de chevauchement, offre un potentiel intéressant qui reste à être confirmé.

2) À partir des données sismiques (et à un moindre niveau, diagraphiques et géochimiques), deux principaux réseaux de failles sont reconnus dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, soit :

- un réseau dominant de failles normales en demi-grabens orientées NNE-SSW à NE-SW dans la plateforme et le socle précambrien, formées lors du rifting du

supercontinent Rodinia il y a environ 550 à 600 millions d'années; un certain nombre de ces failles ont vraisemblablement rejouées par la suite lors de la sédimentation ainsi que lors de l'orogène appalachien, comme par exemple la faille Yamaska;

- un réseau de failles normales et/ou en décrochement orientées E-W à ESE-WNW, et interprétées comme étant associées au graben d'Ottawa-Bonnechère et/ou à de possibles failles transformantes reliées au rifting du supercontinent Rodinia; ces failles ont probablement aussi rejouées lors de la sédimentation et lors de l'orogène appalachien, comme par exemple une importante structure située tout juste au sud du lac Saint-Pierre.

3) Le Shale d'Utica a une épaisseur variant généralement entre 100 et 250 mètres, et qui atteint jusqu'à 750 mètres dans la partie sud des Basses-Terres du Saint-Laurent. À l'ouest de la faille Yamaska, son épaisseur moyenne est de 105 mètres, alors qu'à l'est de cette faille, il atteint en moyenne 220 mètres d'épaisseur, soit plus du double. Ceci indique que la faille Yamaska était active lors de la sédimentation, avec un mouvement en extension (faille normale) avec rejet vers le sud-est.

4) À partir des données minéralogiques, géochimiques et diagraphiques des puits, le Shale d'Utica a été subdivisé en deux formations distinctes, soit l'Utica Inférieur et l'Utica Supérieur. Le Shale d'Utica Inférieur montre une composition qui est transitionnelle avec les calcaires sous-jacents du Groupe de Trenton, avec une source de sédiments interprétée comme provenant principalement de la plateforme carbonatée située à l'ouest, alors que la séquence sédimentaire du Shale d'Utica Supérieur est transitionnelle avec les shales sus-jacents du Groupe de Lorraine, avec une source de sédiments semblant provenir graduellement de l'érosion de la chaîne taconienne située à l'est.

5) La quantité de matière organique, représentée par le carbone organique total (COT), est nettement plus élevée dans le Shale d'Utica Supérieur et le Groupe de Lorraine par rapport au Shale d'Utica Inférieur et au Groupe de Trenton sous-jacents, ce qui leur confère un plus grand potentiel gazier. Les puits situés au nord de la faille interprétée d'orientation ESE-WNW située tout juste au sud du lac Saint-Pierre montrent des valeurs maximales de COT qui se situent vers le sommet du Shale d'Utica Supérieur, alors que les puits situés au sud de cette possible faille possèdent des valeurs maximales de COT qui se situent dans la partie inférieure du Groupe de Lorraine. Ceci suggère un affaissement tectonique avec rejet vers le sud le long de cette structure, ce qui aurait conduit à un approfondissement rapide du bassin à l'époque du début de la sédimentation du Groupe de Lorraine. Cet approfondissement aurait également pu être causé par la migration vers le sud-ouest du bombement périphérique (*peripheral bulge*).

6) La maturité thermique interprétée à partir des données de Rock-Eval de l'indice d'hydrogène (IH) est généralement faible à modérée à l'ouest de la faille Yamaska, et modérée à élevée à l'ouest de cette faille. Ceci concorde avec un approfondissement du bassin vers le sud-est.

7) Dans le but de délimiter les secteurs ayant un potentiel gazier plus intéressant, un paramètre nommé « indice de Rock-Eval (IRE) » a été développé dans le cadre de cette étude à partir des données de Rock-Eval. Cet indice combine à la fois des paramètres de quantité de matière organique (COT) et de degré de maturité thermique (IH et IP), et permet d'identifier des secteurs où la quantité de matière organique demeure relativement importante malgré un degré de maturité thermique élevé, ce qui devrait correspondre à des endroits à potentiel gazier plus important. En ce qui concerne le Shale d'Utica, les valeurs maximales du paramètre IRE se situent systématiquement au sud-est de la faille Yamaska, alors que pour le Groupe de Lorraine, les valeurs plus élevées sont situées dans la partie sud des Basses-Terres, soit au sud de la structure ESE-WNW interprétée près de la limite sud du lac Saint-Pierre.

8) Les analyses minéralogiques par diffractométrie de rayons X (DRX) démontrent que les unités sédimentaires du Shale d'Utica sont typiquement très riches en calcite, et qu'elles sont donc constituées principalement de shales calcareux (ou marnes). À l'inverse, les unités du Groupe de Lorraine sont relativement pauvres en calcite, étant plutôt enrichies en minéraux argileux, en quartz et en feldspaths. Ainsi, ces séquences sont constituées de shales argileux et siliceux.

9) À partir des données de DRX, une hausse soudaine du contenu en calcite accompagnée d'une diminution du contenu en argiles est observée approximativement au niveau du contact entre le Shale d'Utica Inférieur et Supérieur. Cette inversion soudaine de la composition minéralogique pourrait avoir été causée par une variation eustatique du niveau marin (cycle transgressif-régressif), ou bien à un effondrement tectonique soudain de la plateforme carbonatée le long de failles normales en demi-graben orientées SW-NE (ex. faille Yamaska). Suivant cette dernière hypothèse, la partie inférieure de l'Utica Supérieur pourrait représenter des dépôts turbiditiques de talus continentaux situés au sud-est des failles normales d'orientation SW-NE.

10) Tout comme pour l'indice d'hydrogène, les données de réflectance de la vitrinite montrent une augmentation graduelle de la maturité thermique vers le sud-est.

RÉFÉRENCES

- BAIRD, G.C. – BRETT, C.E., 2002 – Indian Castle Shale : late synorogenic siliciclastic succession in an evolving Middle to Late Ordovician foreland basin, eastern New York State. *Physics and Chemistry of the Earth, parts A/B/C*; volume 27 (1), pages 203-230.
- BEAULIEU, J. – LAJOIE, J. – HUBERT, C., 1980 – Provenance et mode de dépôt de la Formation de la Rivière Nicolet : flysch taconique du domaine autochtone et du domaine externe des Appalaches du Québec. *Journal canadien des Sciences de la Terre*; volume 17, pages 855–865.
- BÉLAND, P. – MORIN, C., 2000 – Le gisement de gaz naturel de Saint-Flavien, Québec. Ministère des Ressources naturelles, Secteur de l'énergie, Québec; document interne, 19 pages.
- BERGER, Z. – BOAST, M. – MUSHAYANDEBVU, M., 2008 – The contribution of integrated HRAM studies to exploration and exploitation of unconventional plays in North America. Part 1: The Peace River Arch. *Canadian Society of Petroleum Geologists. The Reservoir*; volume 35(10), pages 42-47.
- BERGER, Z. – BOAST, M. – MUSHAYANDEBVU, M., 2009 – The contribution of integrated HRAM studies to exploration and exploitation of unconventional plays in North America. Part 1: Basement structures control on the development of the Peace River Arch's Montney/Doig resources plays. *Canadian Society of Petroleum Geologists. The Reservoir*; volume 36(2), pages 40-45.
- BERGER, Z. – BOAST, M. – MUSHAYANDEBVU, M., 2010 – Structural synthesis of emerging unconventional oil and gas plays along the Fold Belt Region of the Western Canada Sedimentary Basin. *Canadian Society of Petroleum Geologists. The Reservoir*; volume 37(05), pages 26-30.
- BERTRAND, R., 1991 – Maturation thermique des roches mères dans les bassins des basses-terres du Saint-Laurent et dans quelques buttes témoins au sud-est du Bouclier canadien. *International Journal of Coal Geology*; volume 19, pages 359-383.
- BERTRAND, R. – THÉRIAULT, R., 2010 – Le Shale d'Utica, le principal objectif pour le gaz de shale dans les Basses-Terres du Saint-Laurent : sa maturité thermique et son potentiel. Congrès annuel de l'Association pétrolière et gazière du Québec (APGQ); Programme et résumés, Montréal, octobre 2010.
- BRADLEY, D.C. – KIDD, W.S.F., 1991 – Flexural extension of the upper continental crust in collisional foredeeps. *Geological Society of America Bulletin*; volume 103, pages 1416-1438.
- CASTONGUAY, S. – DIETRICH, J. – SHINDUKE, R. – LALIBERTÉ, J.-Y., 2006 – Nouveau regard sur l'architecture de la Plateforme du Saint-Laurent et des Appalaches du sud du Québec par le retraitement des profils de sismique réflexion M-2001, M-2002 et M-2003. Commission géologique du Canada; dossier public 5328, 19 pages, 2 feuillets.
- CASTONGUAY, S. – DIETRICH, J. – LAVOIE, D. – LALIBERTÉ, J.-Y., 2010 – Structure and petroleum plays of the St. Lawrence Platform and Appalachians in southern Quebec : insights from interpretation of MRNQ seismic reflection data. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*; volume 58(3), pages 1-16.
- DAVIES, G.R. – SMITH, L.B., 2006 – Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies : An overview. *AAPG Bulletin*; volume 90(11), pages 1641-1690.
- ETTENSohn, F.R., 2008 – The Appalachian foreland basin in eastern United States. *In : Sedimentary basins of the World, Volume 5 – The sedimentary basins of the United States and Canada* (A. D. Miall, editor); Chapter 4, pages 105-179.
- GLOBENSKY, Y., 1987 – Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MM 85-02, 63 pages.
- GLOBENSKY, Y., 1993 – Lexique stratigraphique canadien, volume V-B – Région des Appalaches, des Basses-Terres du Saint-Laurent et des Îles-de-la-Madeleine. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DV 91-23, 327 pages.
- GOLDMAN, D. – MITCHELL, C.E. – BERGSTRÖM, S.M. – DELANO, J.W. – TICE, S.J., 1994 – Relations between K-bentonites and graptolite biostratigraphy in the Middle Ordovician of New York State and Quebec : A new chronostratigraphic model. *Palaios*; volume 9 (2), pages 124-143.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY., 2009. *International Stratigraphic Chart*.
- JACOBI, R.D., 1981 – Peripheral bulge – A causal mechanism for the Lower/Middle Ordovician unconformity along the western margin of the Northern Appalachians. *Earth and Planetary Science Letters*; volume 56, pages 245-251.
- JARVIE, D., 2007 – Workshop on organic geochemistry focused on gas shales. AAPG; Southwest Section Annual Meeting, Wichita Falls, Texas, April 2007, 329 pages.
- KONSTANTINOVSKAYA, E. – RODRIGUEZ, D. – KIRKWOOD, D. – HARRIS, L.B. – THÉRIAULT, R., 2009 – Effects of basement structure, sedimentation and erosion on thrust wedge geometry : An example from the Quebec Appalachians and analogue models. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*; volume 57(1), pages 34-62.
- KONSTANTINOVSKAYA, E. – RODRIGUEZ, D. – KIRKWOOD, D. – HARRIS, L.B. – THÉRIAULT, R., 2010 – Triangle zones in accretionary wedges : Examples from the Québec Appalachians and physical modelling. Congrès annuel de l'Association pétrolière et gazière du Québec (APGQ); Programme et résumés, Montréal, octobre 2010.
- LALIBERTÉ, J.-Y. – TRÉPANIER, A., 1982 – Carte structurale du marqueur bleu (Trenton autochtone), Basses-Terres du Saint-Laurent. Ministère des Richesses naturelles du Québec, Québec; rapport 1982TA000-01, 2 cartes.
- LAMOTHE, M., 1993 – Géologie des formations quaternaires de la région du lac Saint-Pierre. Rapport produit pour la compagnie Intragaz inc., Trois-Rivières, 56 pages.
- LANDING, E. – FRANZI, D.A. – HAGADORN, J.W. – WESTROP, S.R. – KRÖGER, B. – DAWSON, J.C., 2007 – Cambrian of East Laurentia : field workshop in eastern New York and western Vermont. *In : Ediacaran–Ordovician of East Laurentia – S.W. Ford memorial volume* (E. Landing editor). New York State Museum; Bulletin 510, pages 25-80.
- LANDING, E. – AMATI, L. – FRANZI, D.A., 2009 – Epeirogenic transgression near a triple junction : the oldest (latest early–middle Cambrian) marine onlap of cratonic New York and Quebec. *Geological Magazine*; volume 146(4), pages 552-566.
- LAVOIE, D., 1994 – Diachronous tectonic collapse of the Ordovician continental margin, eastern Canada : comparison between the Quebec Reentrant and St. Lawrence Promontory. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 31, pages 1309-1319.

- LAVOIE, D., 2008 – Appalachian foreland basin of Canada. *In* : Sedimentary basins of the World, Volume 5 – The sedimentary basins of the United States and Canada (A. D. Miall, editor); Chapter 3, pages 65-103.
- LAVOIE, D. – HAMBLIN, A.P. – THÉRIAULT, R. – BEAULIEU, J. – KIRKWOOD, D., 2008 – The Upper Ordovician Utica Shales and Lorraine Group flysch in southern Québec : Tectonostratigraphic setting and significance for unconventional gas. Geological Survey of Canada; Open File 5900, 56 pages.
- LAVOIE, D. – PINET, N. – DIETRICH, J. – HANNIGAN, P. – CASTONGUAY, S. – HAMBLIN, A.P. – GILES, P., 2009 – Petroleum resource assessment, Paleozoic successions of the St. Lawrence Platform and Appalachians of eastern Canada. Geological Survey of Canada; Open File 6174, 273 pages.
- LAVOIE, D. – OBERMAJER, M. – FOWLER, M.G., 2011 – Rock-Eval/TOC data from Cambrian-Ordovician of the Saint Lawrence Platform and Humber Zone, and Silurian-Devonian of the Gaspé Belt successions, Quebec. Geological Survey of Canada; Open File 6050, 1 CD-ROM.
- NRCAN, 2012 – Ressources naturelles Canada, Centre de données géophysiques. Site internet http://gdcinfo.agg.nrcan.gc.ca/gdc/index_f.html
- OFFICE NATIONAL DE L'ÉNERGIE, 2009 – L'ABC du gaz de schistes au Canada - Dossier énergie. Novembre 2009, 3 pages.
- OKULITCH, A.V., 2001 – Geological time scale. Geological Survey of Canada; Open File 3040, National Earth Science Series, Geological Atlas.
- QUINLAN, G. – BEAUMONT, C., 1984 – Appalachian thrusting, lithospheric flexure, and the Paleozoic stratigraphy of the Eastern Interior of North America. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 21, pages 973–996.
- RANKIN, D.W., 1975 – The continental margin of eastern North America in the southern Appalachians : the opening and closing of the proto-Atlantic ocean. *American Journal of Science*; volume 275-A, pages 298-336.
- ROKOSH, C.D. – PAWLOWICZ, J.G. – BERHANE, H. – ANDERSON, S.D.A. – BEATON, A.P., 2009 – What is shale gas? An introduction to shale-gas geology in Alberta. Energy Resources Conservation Board ERCB/AGS; Open File Report 2008-08, 26 pages.
- SLOSS, L. L., 1963 – Sequences in the cratonic interior of North America. *Geological Society of America Bulletin*; volume 74, pages 93-114.
- SMITH, JR., L.B., 2006 – Origin and Reservoir Characteristics of Upper Ordovician Trenton-Black River Hydrothermal Dolomite Reservoirs in New York. *AAPG Bulletin*; volume 90(11), pages 1691-1718.
- SOQUIP, 1984a – Carte structurale du Trenton autochtone. Société québécoise d'initiative pétrolière (SOQUIP), Ministère des Richesses naturelles du Québec; DP 84-31, 2 cartes.
- SOQUIP, 1984b – Carte structurale du socle (Basses-Terres du Saint-Laurent). Société québécoise d'initiative pétrolière (SOQUIP). Ministère des Richesses naturelles du Québec; DP 84-32, 2 cartes.
- THÉRIAULT, R. – LALIBERTÉ, J.-Y. – BRISEBOIS, D. – RHEAULT, M., 2005a – Fingerprinting of the Ottawa-Bonnechère and Saguenay grabens under the St. Lawrence Lowlands and Québec Appalachians : Prime targets for hydrocarbon exploration. Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada (GAC-MAC); Annual Meeting, Program with abstracts, Halifax, Nova Scotia, May 2005.
- THÉRIAULT, R. – LALIBERTÉ, J.-Y. – BRISEBOIS, D., 2005b – Empreintes des grabens d'Ottawa-Bonnechère et du Saguenay dans la plate-forme du Saint-Laurent et les Appalaches : cibles pour l'exploration des hydrocarbures. *Dans* : Résumé des conférences et des photoprésentations, Québec exploration 2005. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DV 2005-03, page 20.
- THÉRIAULT, R., 2007 – Trenton / Black River hydrothermal dolomite reservoirs in Québec : The emergence of a new and highly promising play along the St. Lawrence platform. American Association of Petroleum Geologists (AAPG); Eastern Section Annual Meeting, Program with abstracts, Lexington, Kentucky, September 2007.
- THÉRIAULT, R., 2008a – Regional geochemical evaluation of the Ordovician Utica Shale gas play in Québec. American Association of Petroleum Geologists (AAPG); Eastern Section Annual Meeting, Program with abstracts, Pittsburgh, Pennsylvania, October 2008.
- THÉRIAULT, R., 2008b – Caractérisation géochimique et minéralogique et évaluation du potentiel gazéifère des shales de l'Utica et du Lorraine, Basses-Terres du Saint-Laurent. *Dans* : Résumé des conférences et des photoprésentations, Québec exploration 2008. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DV 2008-06, page 21.
- THÉRIAULT, R., 2009 – Variations géochimiques, minéralogiques et stratigraphiques des shales de l'Utica et du Lorraine : Implications pour l'exploration gazière dans les Basses-Terres du Saint-Laurent. Congrès annuel de l'Association pétrolière et gazière du Québec (APGQ); Programme et résumés, Montréal, octobre 2009.
- THÉRIAULT, R., 2012 – Caractérisation du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine, Basses-Terres du Saint-Laurent - Partie 1 : Compilation des données. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DV 2012-03, 212 pages.
- THOMAS, W.A., 2006 – Tectonic inheritance at a continental margin. *Geological Society of America Today*; volume 16(2), pages 4-11.

FIGURES 2 À 51

LISTE DES FIGURES

- Figure 2 - Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent et localisation des puits pétroliers et gaziers
- Figure 3 - Légende stratigraphique pour la carte géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent (voir figure 2)
- Figure 4 - Colonne stratigraphique des Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 5 - Puits et corridors d'exploration des shales gazéifères, Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 6 - Carte isocontour de la profondeur du toit du Shale d'Utica
- Figure 7 - Carte isocontour de la profondeur du toit du Groupe de Trenton
- Figure 8 - Carte isocontour de l'épaisseur (isopaque) du Shale d'Utica
- Figure 9 - Carte isocontour de l'épaisseur (isopaque) du Shale d'Utica Supérieur
- Figure 10 - Carte isocontour de l'épaisseur (isopaque) du Shale d'Utica Inférieur
- Figure 11 - Corrélations stratigraphiques du Shale d'Utica – Québec vs New York
- Figure 12 - Lignes sismiques dans les Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 13 - Profil sismique de la ligne M-2001
- Figure 14 - Profil sismique de la ligne M-2002
- Figure 15 - Profil sismique de la ligne M-2003
- Figure 16 - Carte isocontour de la profondeur du toit du socle précambrien exprimée en temps de propagation de l'onde sismique
- Figure 17 - Carte isocontour de la profondeur du toit du Groupe de Trenton exprimée en temps de propagation de l'onde sismique
- Figure 18 - Carte isocontour d'orientation NW (vue pseudo 3D) de la profondeur : a) du toit du socle précambrien, b) du toit du Groupe de Trenton
- Figure 19 - Carte isocontour d'orientation NE (vue pseudo 3D) de la profondeur : a) du toit du socle précambrien, b) du toit du Groupe de Trenton
- Figure 20 - Carte de la composante résiduelle du champ magnétique total, Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 21 - Carte de la dérivée première verticale du champ magnétique, Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 22 - Carte de la dérivée seconde verticale du champ magnétique, Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 23 - Carte de l'anomalie de Bouguer, Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 24 - Carte de la dérivée première verticale de l'anomalie de Bouguer, Basses-Terres du Saint-Laurent
- Figure 25 - Carte de localisation des puits avec diagraphies et log composite
- Figure 26 - Localisation des profils stratigraphiques NW-SE (puits A151, A162 et A189) et SW-NE (puits A199, A165 et A190)
- Figure 27 - Interprétation des diagraphies des puits A151, A162 et A189 le long du profil stratigraphique NW-SE
- Figure 28 - Interprétation des diagraphies des puits A199, A165 et A190 le long du profil stratigraphique SW-NE
- Figure 29 - Carte de localisation des puits avec analyses par Rock-Eval
- Figure 30 - Carte isocontour du COT – Groupe de Lorraine
- Figure 31 - Carte isocontour du COT – Shale d'Utica Supérieur
- Figure 32 - Carte isocontour du COT – Shale d'Utica Inférieur
- Figure 33 - Carte isocontour du COT_{max} – Shale d'Utica Supérieur (incluant la zone de chevauchement)
- Figure 34 - Carte isocontour de l'indice d'hydrogène (IH) – Groupe de Lorraine
- Figure 35 - Carte isocontour de l'indice d'hydrogène (IH) – Shale d'Utica Supérieur
- Figure 36 - Carte isocontour de l'indice d'hydrogène (IH) – Shale d'Utica Inférieur
- Figure 37 - Carte isocontour de l'indice de production (IP) – Groupe de Lorraine
- Figure 38 - Carte isocontour de l'indice de production (IP) – Shale d'Utica Supérieur
- Figure 39 - Carte isocontour de l'indice de production (IP) – Shale d'Utica Inférieur
- Figure 40 - Carte isocontour de l'indice de Rock-Eval (IRE) – Groupe de Lorraine
- Figure 41 - Carte isocontour de l'indice de Rock-Eval (IRE) – Shale d'Utica Supérieur
- Figure 42 - Carte isocontour de l'indice de Rock-Eval (IRE) – Shale d'Utica Inférieur
- Figure 43 - Diagramme binaire de S2 vs COT : a) shales gazéifères aux États Unis; b) Shale d'Utica et Groupe de Lorraine; et c) agrandi de la figure 43b
- Figure 44 - Diagramme binaire de IH vs T_{max} : a) shales gazéifères aux États Unis; et b) Shale d'Utica et Groupe de Lorraine.
- Figure 45 - Carte de localisation des puits avec analyses par DRX
- Figure 46 - Diagramme ternaire de quartz+feldspaths vs calcite vs argiles
- Figure 47 - Diagramme binaire de calcite vs argiles
- Figure 48 - Diagramme binaire de quartz vs quartz+feldspaths+carbonates
- Figure 49 - Variation verticale de la composition minéralogique : a) puits A069; et b) puits A162
- Figure 50 - Carte de localisation des puits et affleurements avec données de réflectance de la vitrinite
- Figure 51 - Carte isocontour de la réflectance de la vitrinite (Rh) – Groupe de Lorraine, Shale d'Utica, Groupe de Sainte-Rosalie et Formation de la Ville de Québec

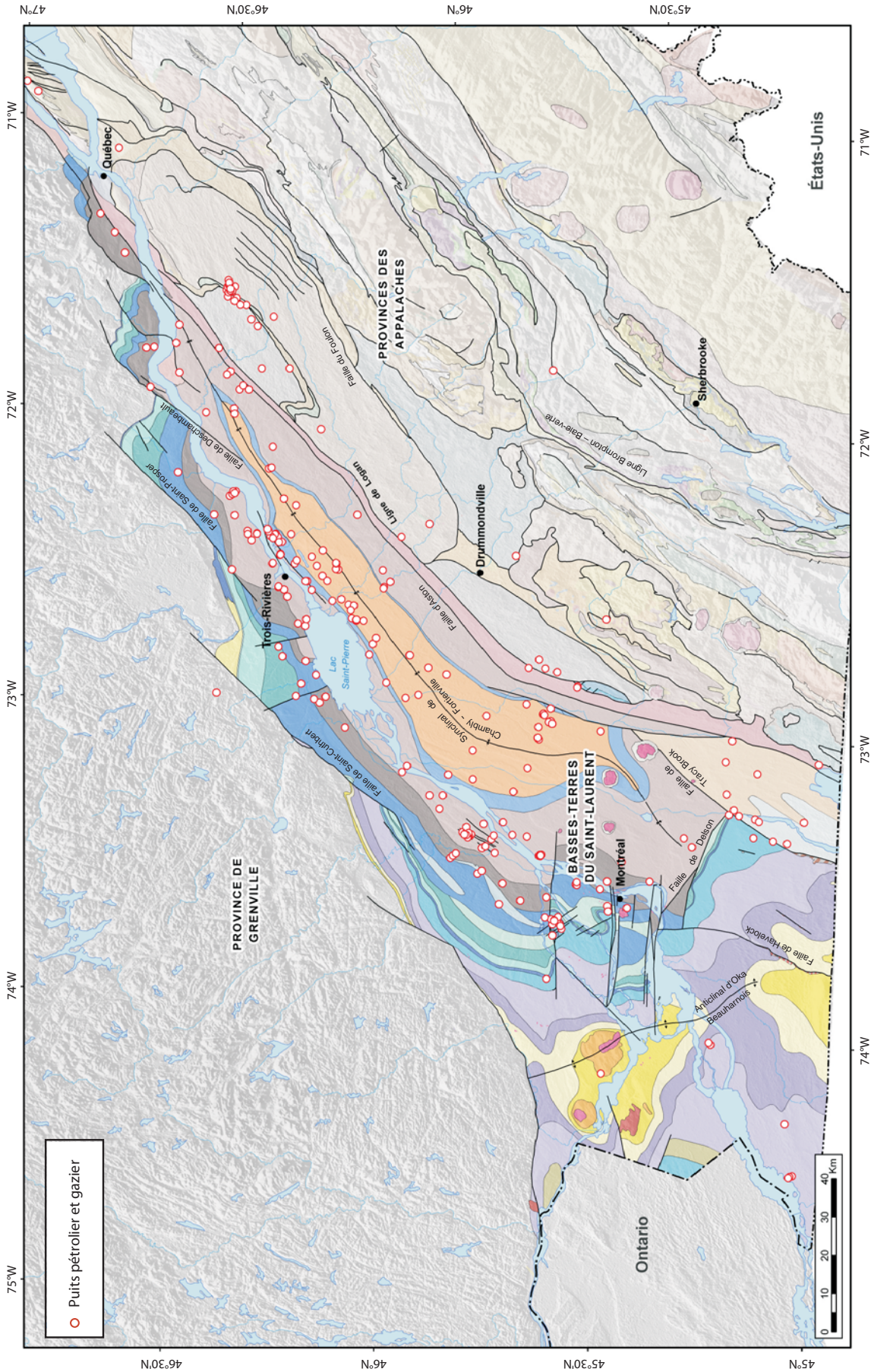




FIGURE 2 - Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent et localisation des puits pétroliers et gaziers.

BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT

CRÉTACÉ INFÉRIEUR

Collines Montérégiennes



-  Roches alcalines, kimberlite, brèches associées et fragments de calcaire dévonien
-  Roches cornéennes métamorphosées: shale, grès, siltstone et calcaire

ORDOVICIEN SUPÉRIEUR

Groupe de Queenston

-  **Formation de Bécancour**
Shale rouge et grès vert

Groupe de Lorraine

-  **Formation de Pontgravé**
Calcaire et shale
-  **Formation de Nicolet**
Shale et grès

ORDOVICIEN MOYEN

-  **Shale d'Utica**
Shale

Groupe de Sainte-Rosalie


-  **Formation de Lotbinière**
Shale silteux et lamines de grès
-  **Formations de Sainte-Sabine et de Les Fonds**
Ardoise et dolomie
-  **Formation d'Iberville**
Mudstone non calcaireux et siltstone dolomitique

-  **Formation de Stony Point**
Mudstone calcaireux

-  **Brèche de Lacolle**
Dolomie et calcaire

-  **Brèche de Havelock**
Grès, dolomie et calcaire

-  **Groupe de Trenton**
Non différencié : calcaire et shale

-  **Formation de Tétreauville (Région de Montréal)**
Formation de Neuville, Membre de Grondines (Région de Québec)
Calcaire argileux et shale

-  **Faciès de Terrebonne**
Calcaire et shale

Formations de Montréal et de Neuville

-  **Membre de Rosemont (Région de Montréal)**
Calcaire cristallin et shale

-  **Membres de Saint-Michel (Région de Montréal) et de Saint-Casimir (Région de Québec)**
Calcaire cristallin micritique et nodulaire

-  **Formation de Deschambault**
Calcaire cristallin et crinoïdal

-  **Formations de Mile End, de Ouareau, de Fontaine, de Sainte-Anne, de Saint-Alban et de Pont-Rouge**
Calcaire cristallin, nodulaire et argileux

Groupe de Black River

-  **Formations de Leray, de Lowville et de Pamela**
Calcaire, dolomie et grès

-  **Formation de La Gabelle**
Grès

Groupe de Chazy

-  **Formation de Laval**
Calcaire cristallin et shale

-  **Membres de Sainte-Thérèse et de Joliette et Grès de Saint-Dominique**
Grès gris vert et shale

ORDOVICIEN INFÉRIEUR


Groupe de Beekmantown

-  **Formation de Beauharnois**
Dolomie et calcaire

-  **Formation de Theresa**
Grès dolomitique et dolomie

CAMBRIEN

Groupe de Potsdam

-  **Formation de Cairnside**
Grès quartzitique

-  **Formation de Covey Hill**
Conglomérat et grès feldspathique

-  **Formation d'Altona**
Dolomie, grès et mudstone rouge

VENDIEN

-  **Stock de Chatam-Grenville (560 Ma)**
Syénite et granite


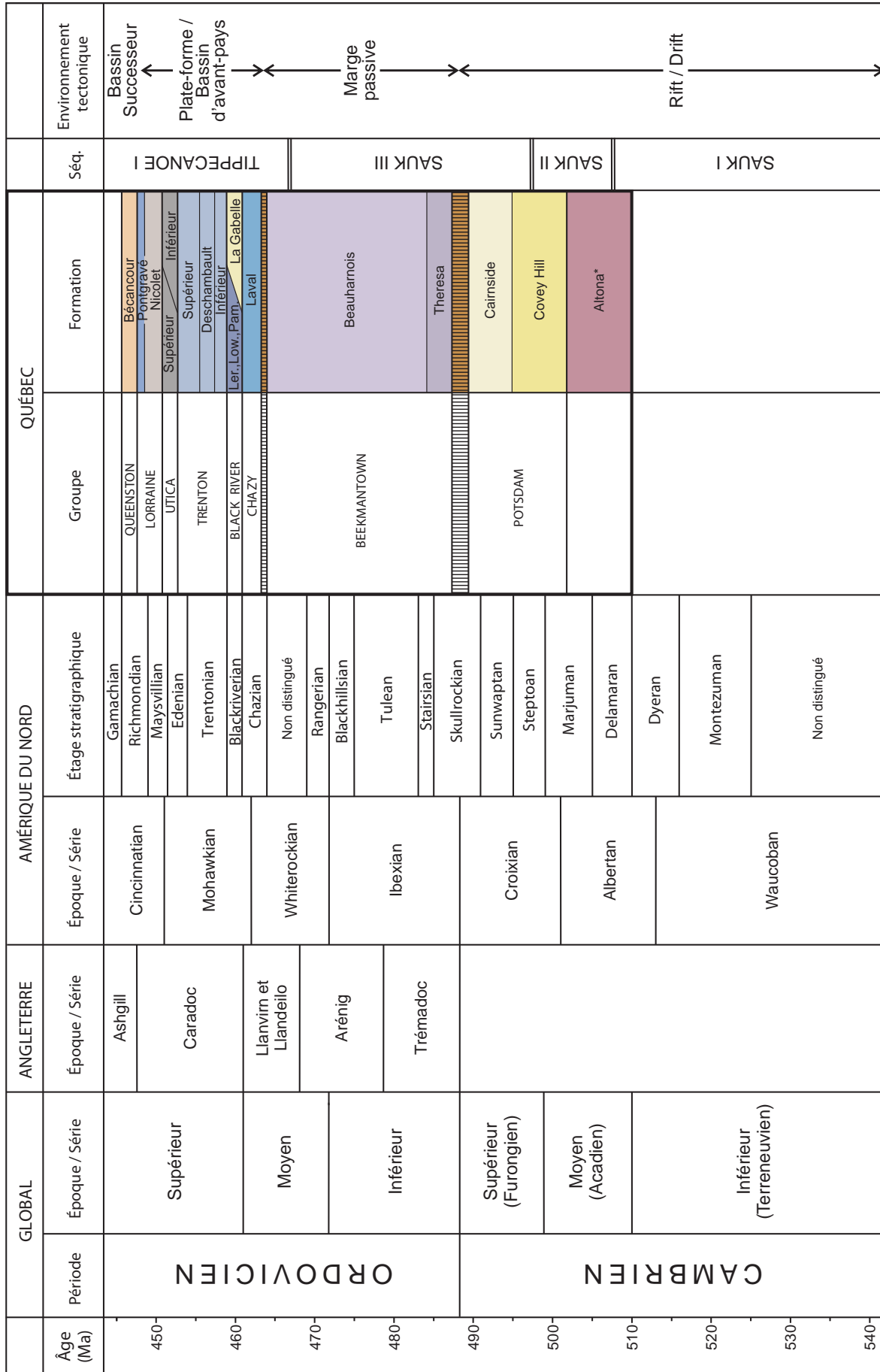
-  **Stock du mont Rigaud (564 Ma)**
Syénite et granite

FIGURE 3 - Légende stratigraphique pour la carte géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent (voir figure 2).



Abbreviations : Ler.= Leray; Low = Lowville; Pam.= Pamela; Pam.= Lowville; Ség.= Séquence;
 Le patron de lignes verticales représente une discordance et/ou un hiatus de déposition;
 * : Nouvelle unité stratigraphique identifiée en forage dans les Basses-Terres du Saint-Laurent.

FIGURE 4 - Colonne stratigraphique des Basses-Terres du Saint-Laurent (Sources : International Commission on Stratigraphy, 2009; Okulitch, 2001; Lavote et al., 2009; Landing et al., 2009; Sloss, 1963).

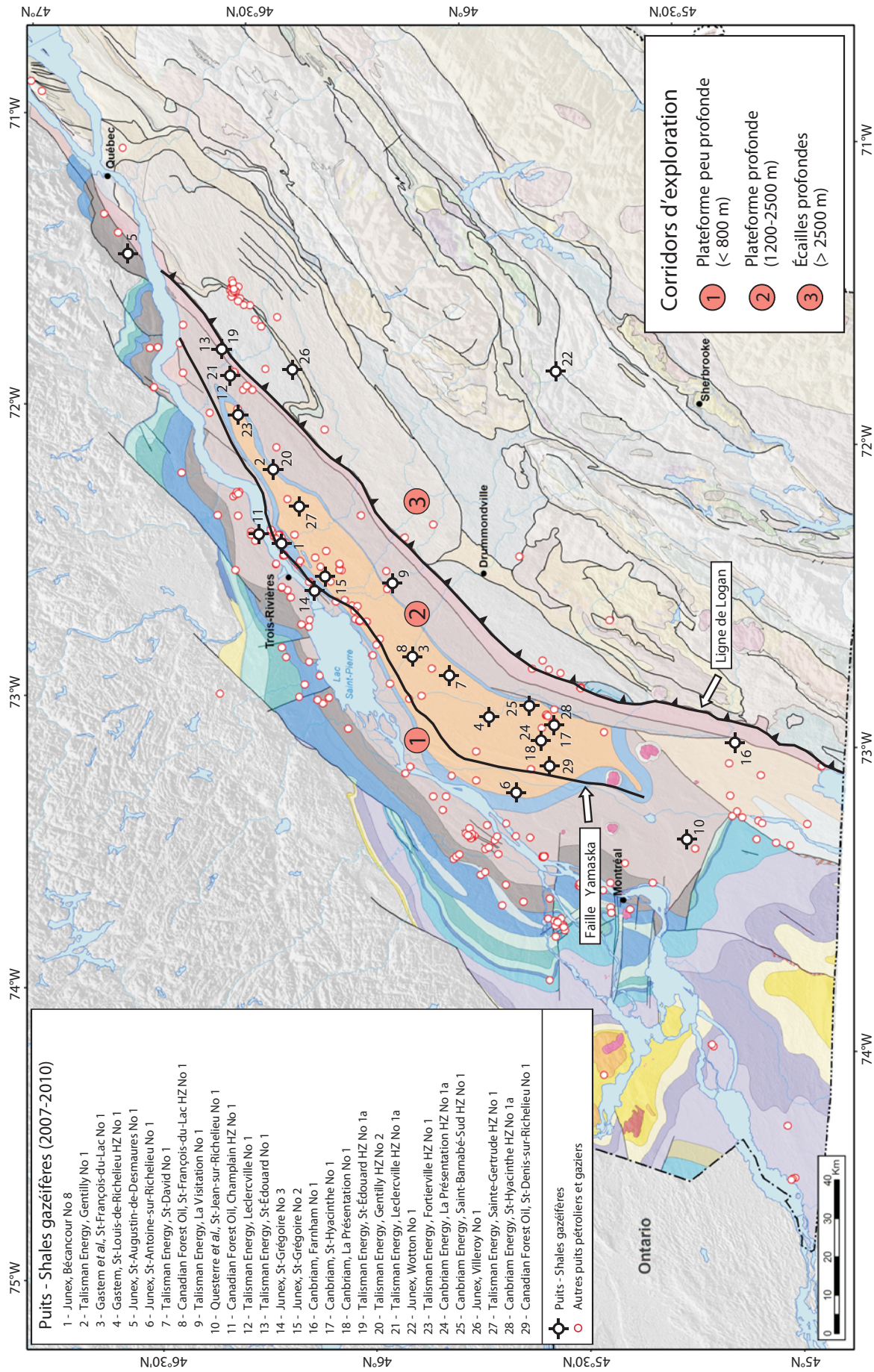


FIGURE 5 - Puits et corridors d'exploration des shales gazéifères, Basses-Terres du Saint-Laurent.

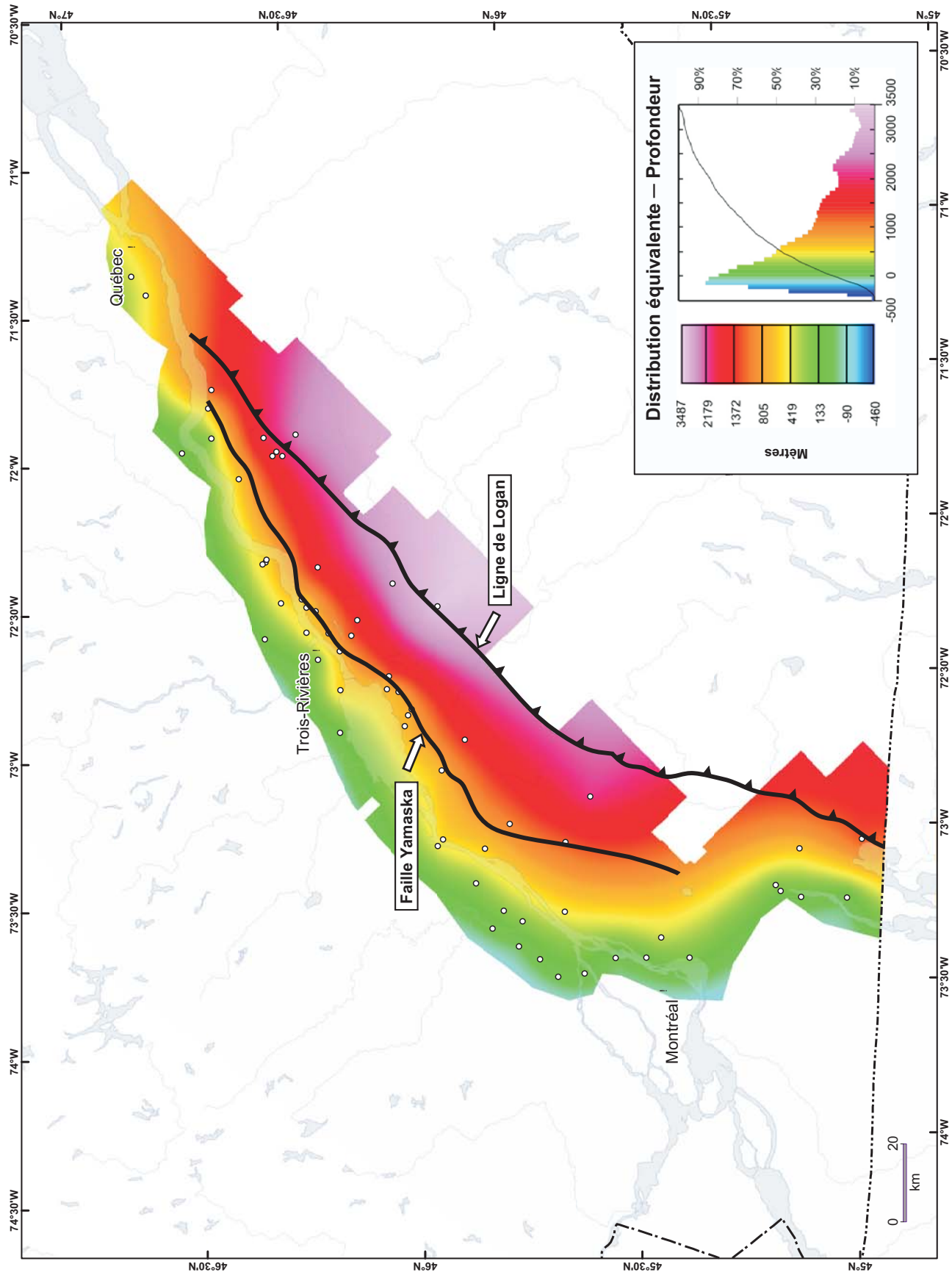


FIGURE 6 - Carte isocontour de la profondeur du toit du Shale d'Utica.

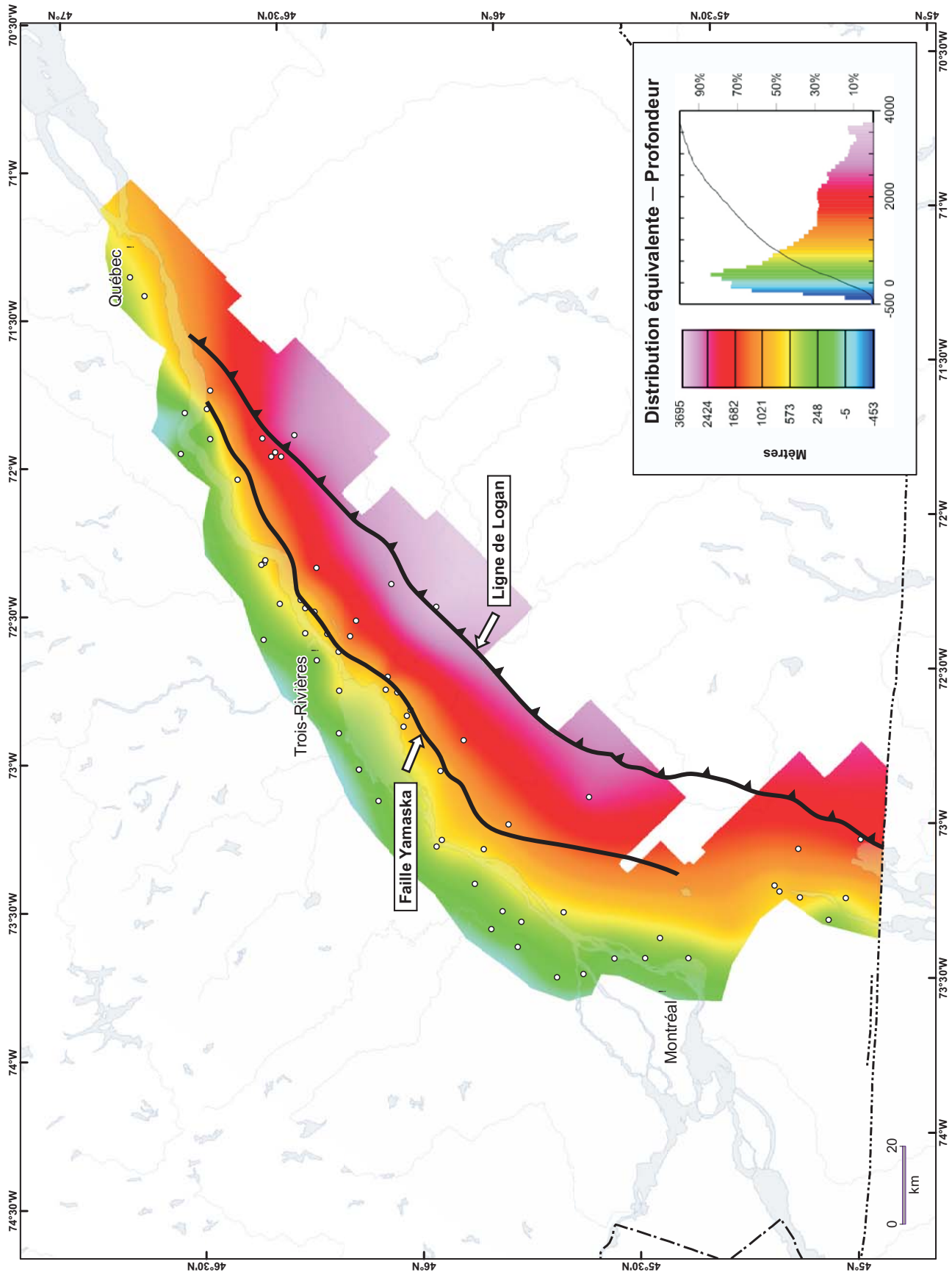


FIGURE 7- Carte isocontour de la profondeur du toit du Groupe de Trenton.

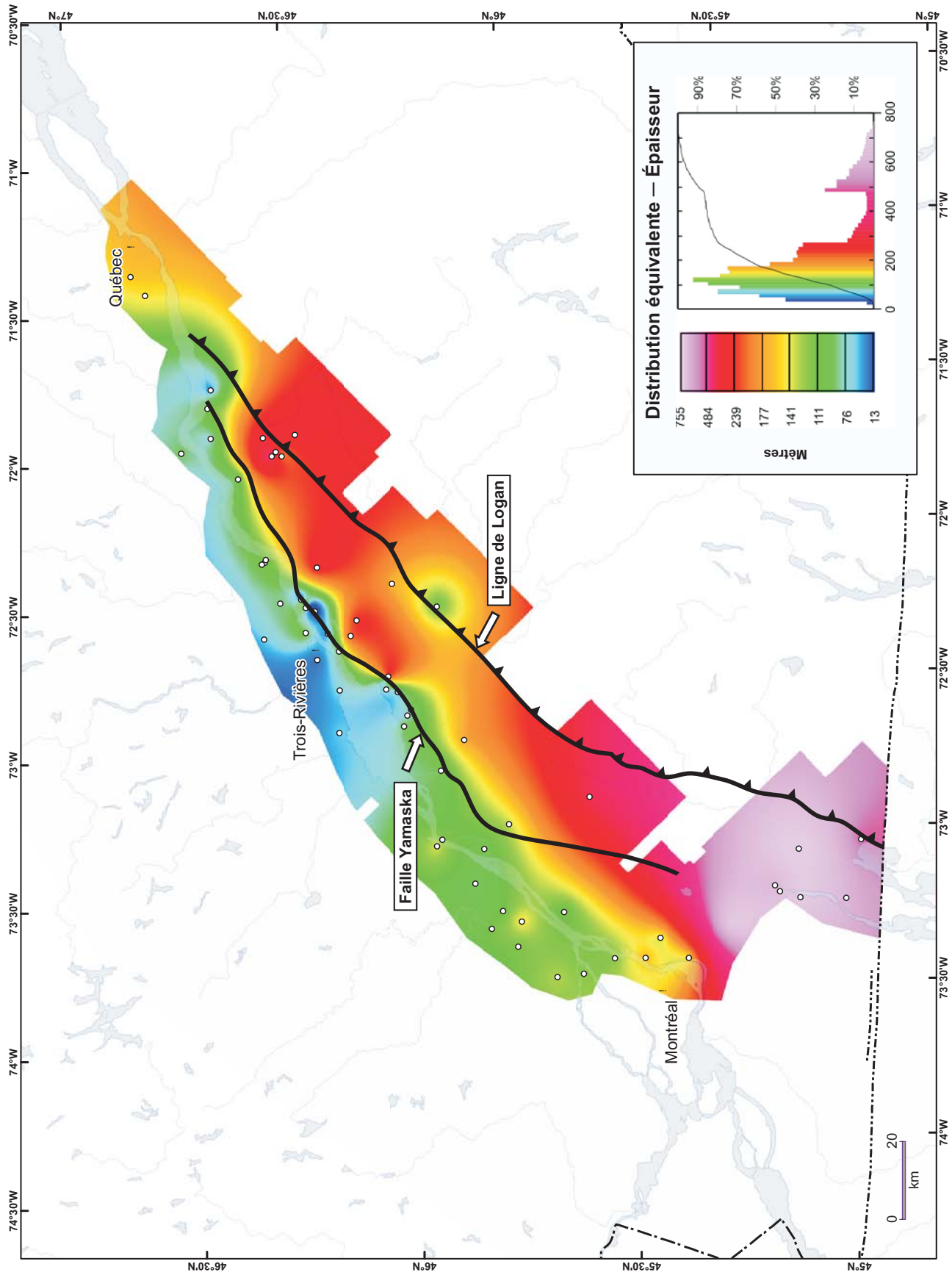


FIGURE 8 - Carte isocontour de l'épaisseur (isopaque) du Shale d'Utica.

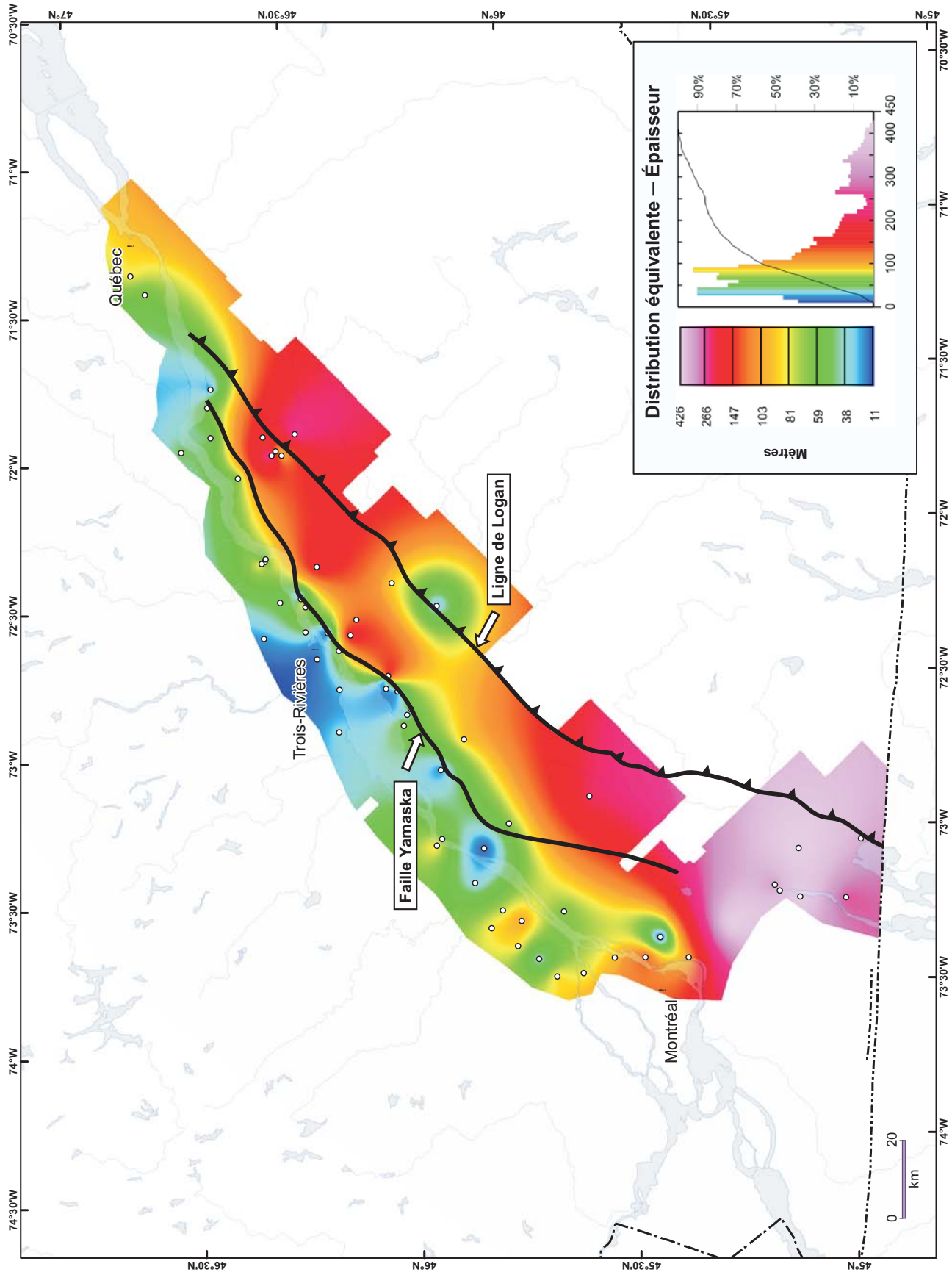


FIGURE 9 - Carte isocontour de l'épaisseur (isopaque) du Shale d'Utica Supérieur.

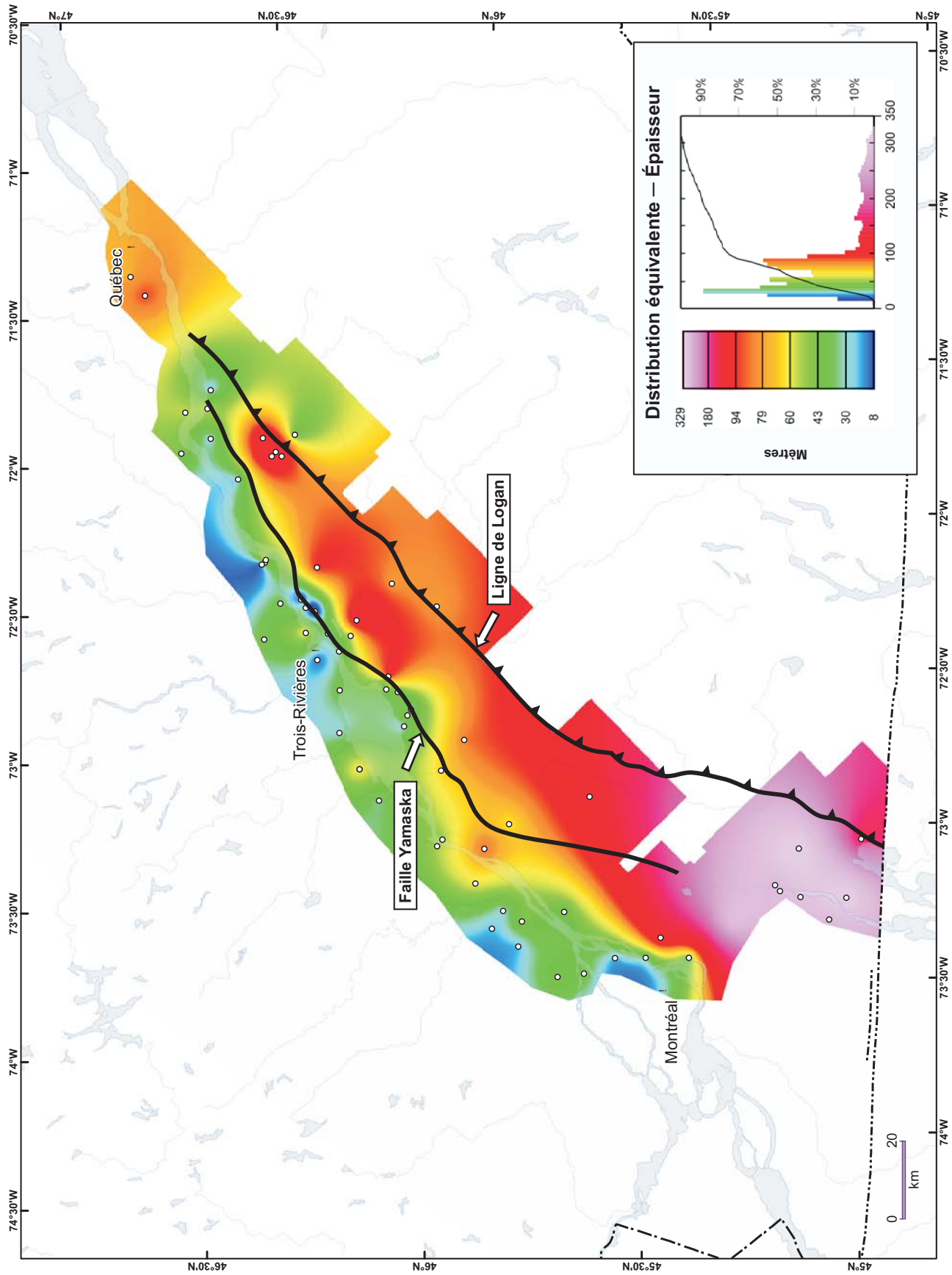


FIGURE 10 - Carte isocontour de l'épaisseur (isopaque) du Shale d'Utica Inférieur.

New York

Québec

GROUPE	FORMATION	LITHOLOGIE	GROUPE	FORMATION
Lorraine	Schenectady	Shales non-calcareux	Lorraine	Nicolet
Utica	Indian Castle Sup.	Shales calcaireux	Utica	Utica Supérieur
	Indian Castle Inf.			Utica Inférieur
	Dolgeville			
	Flat Creek			
Trenton	Steuben	Calcaires	Trenton	Tétreauville / Neuville

FIGURE 11 - Corrélations stratigraphiques du Shale d'Utica – Québec vs New York.

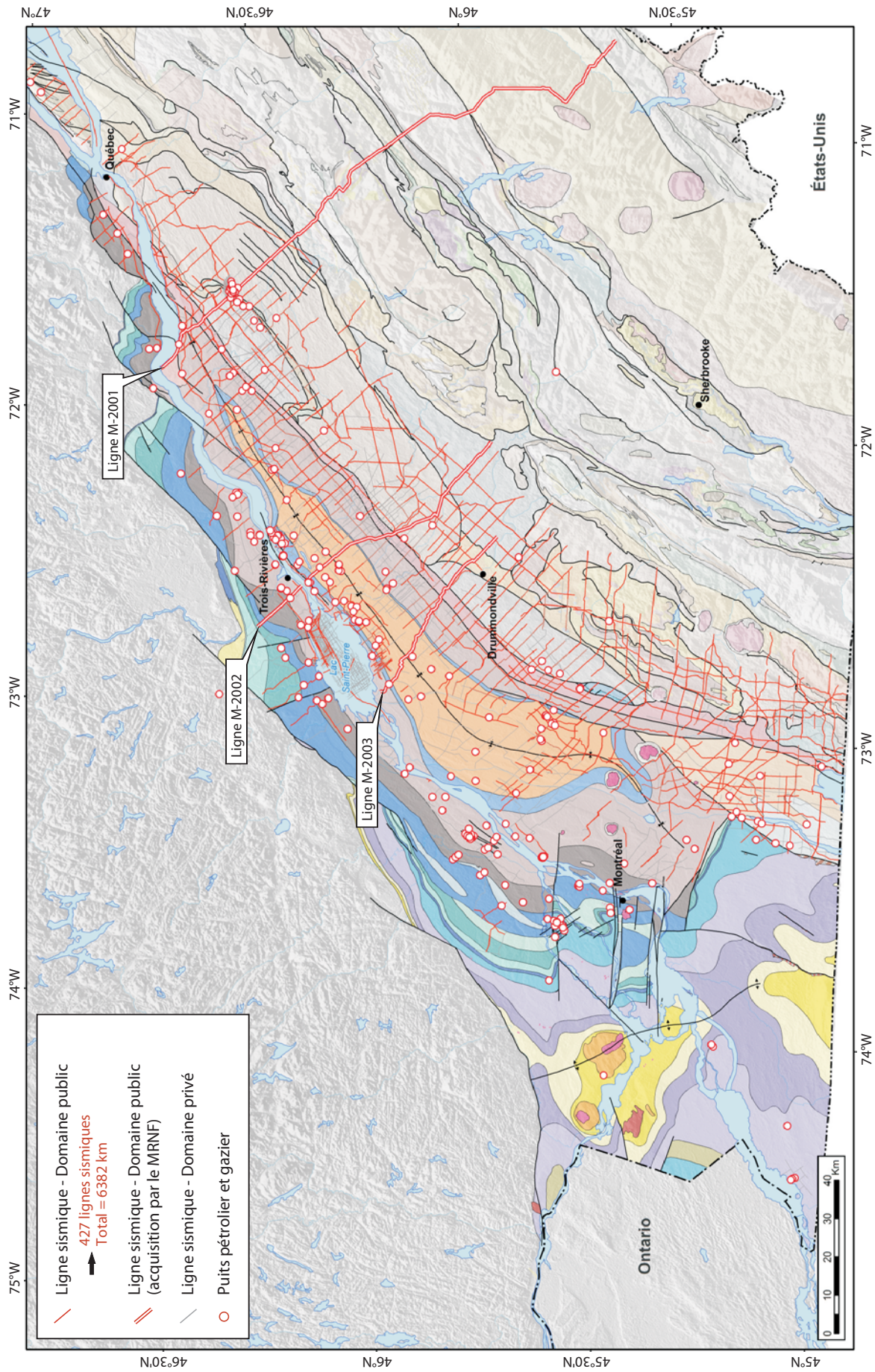


FIGURE 12 - Lignes sismiques dans les Basses-Terres du Saint-Laurent.

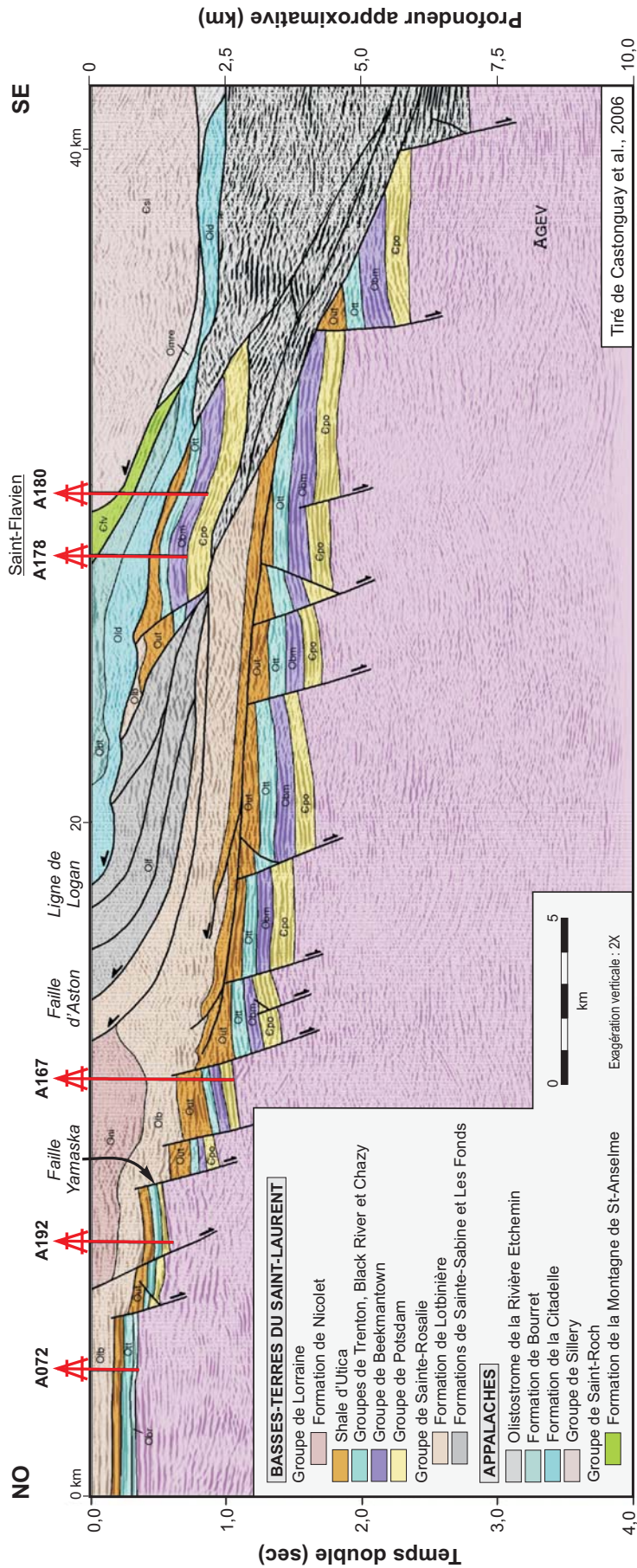


FIGURE 13 - Profil sismique de la ligne M-2001.

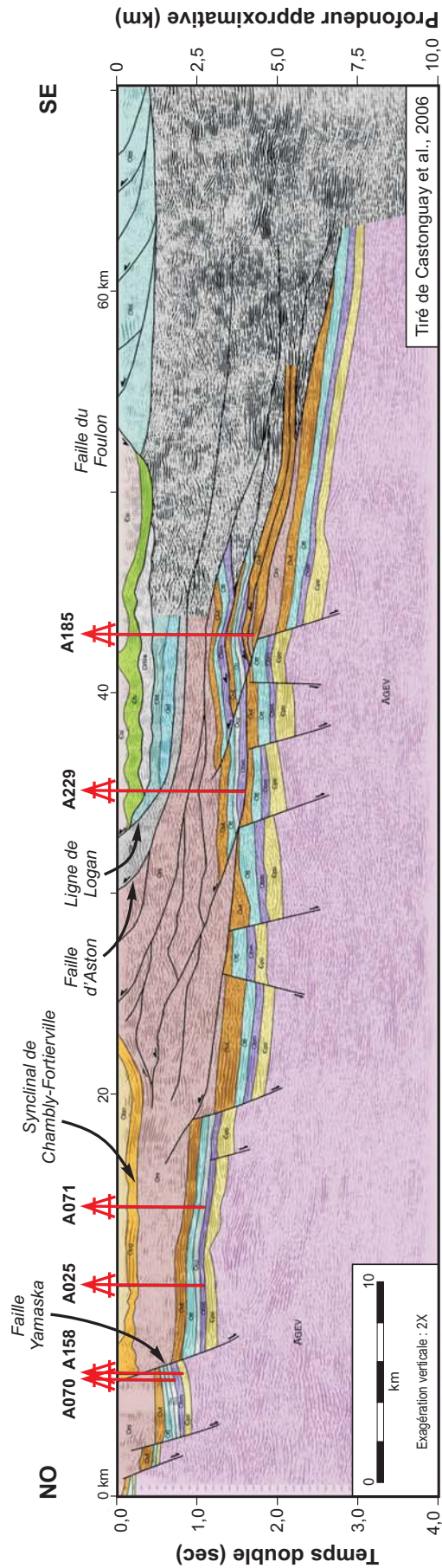


FIGURE 14 - Profil sismique de la ligne M-2002.

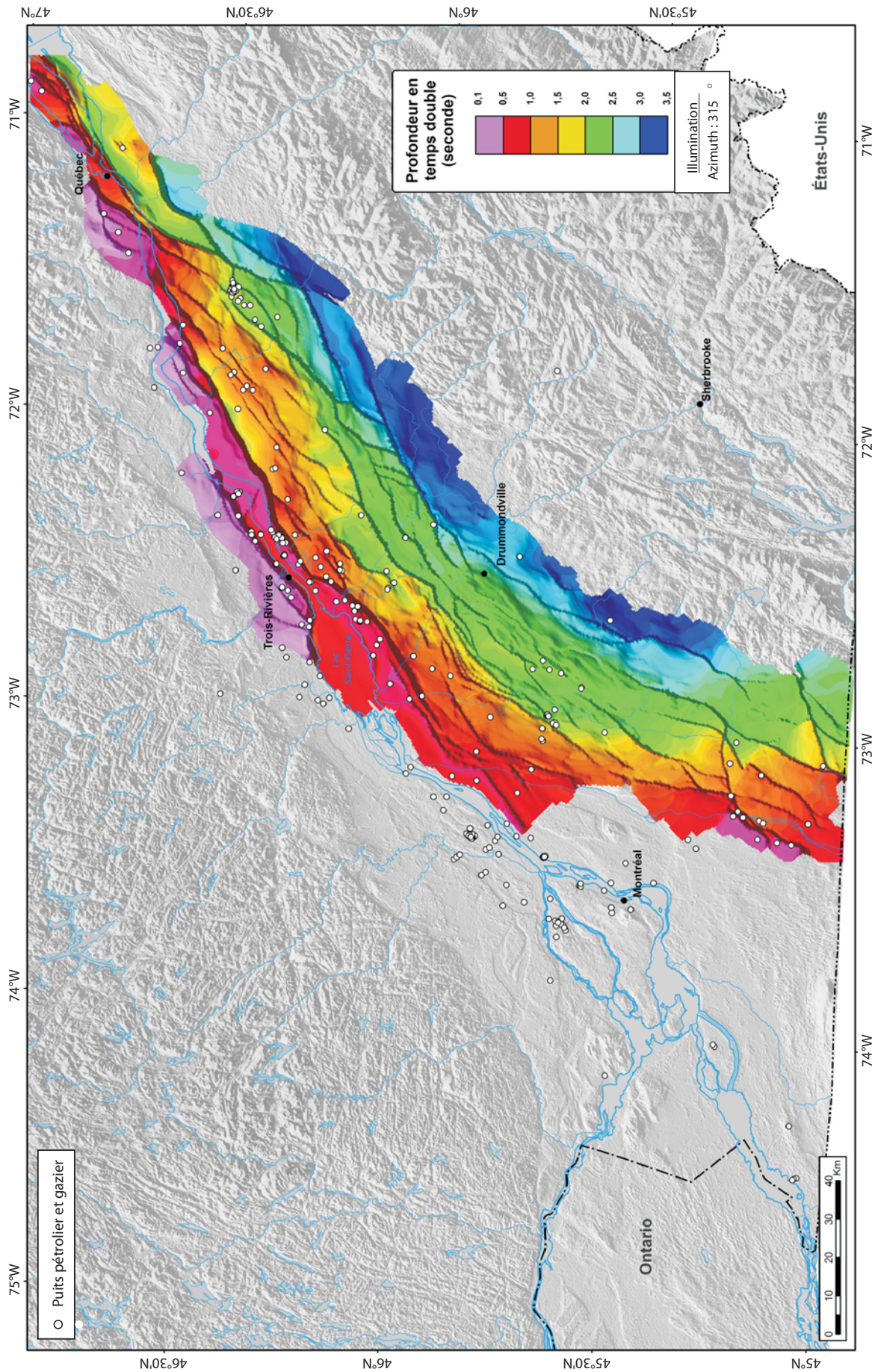


FIGURE 16 - Carte isocontour de la profondeur du toit du socle précambrien exprimée en temps de propagation de l'onde sismique.

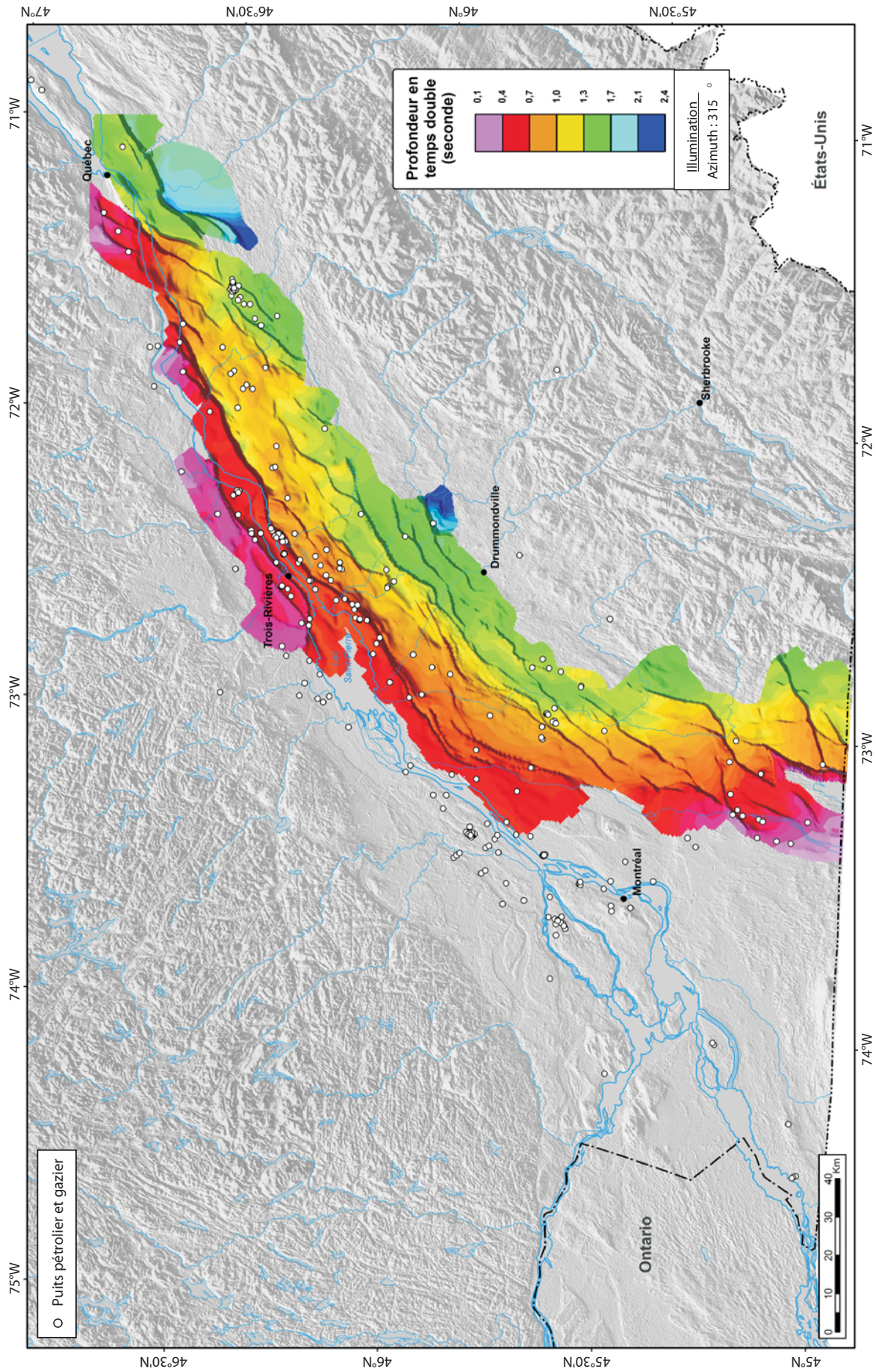


FIGURE 17 - Carte isocontour de la profondeur du toit du Groupe de Trenton exprimée en temps de propagation de l'onde sismique.

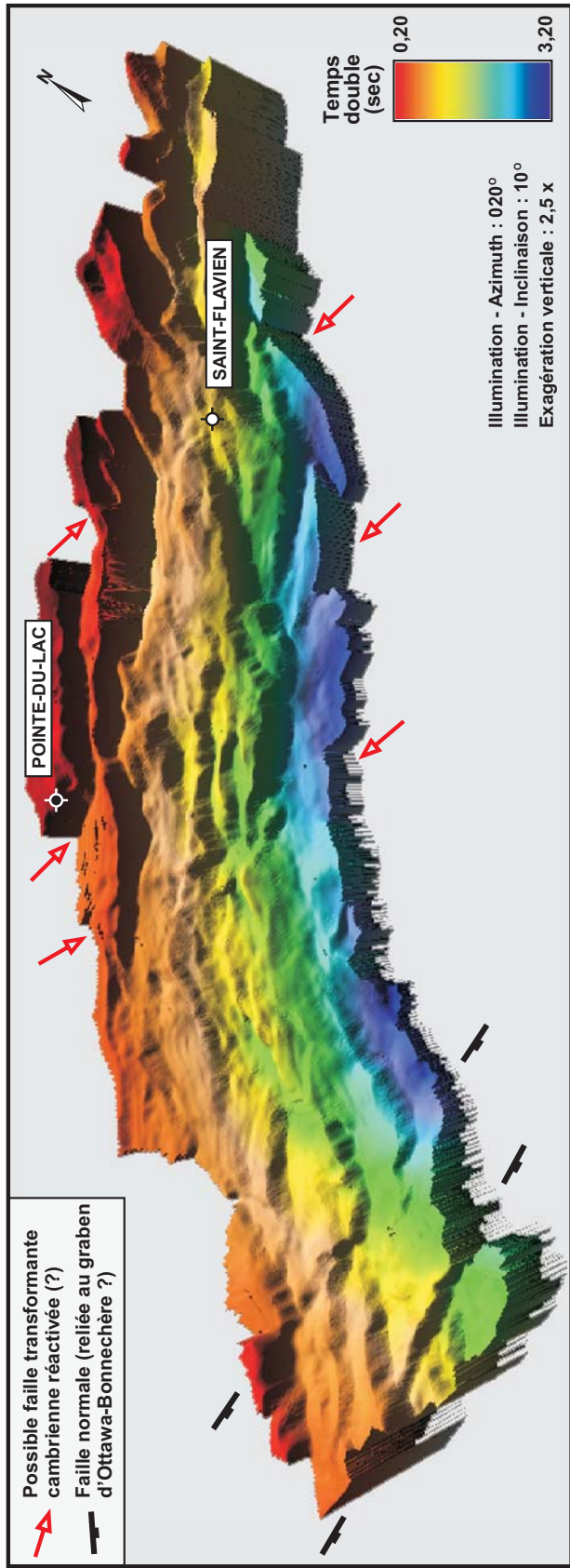


FIGURE 18A - Carte isocontour d'orientation NW (vue pseudo 3D) de la profondeur du toit du socle précambrien.

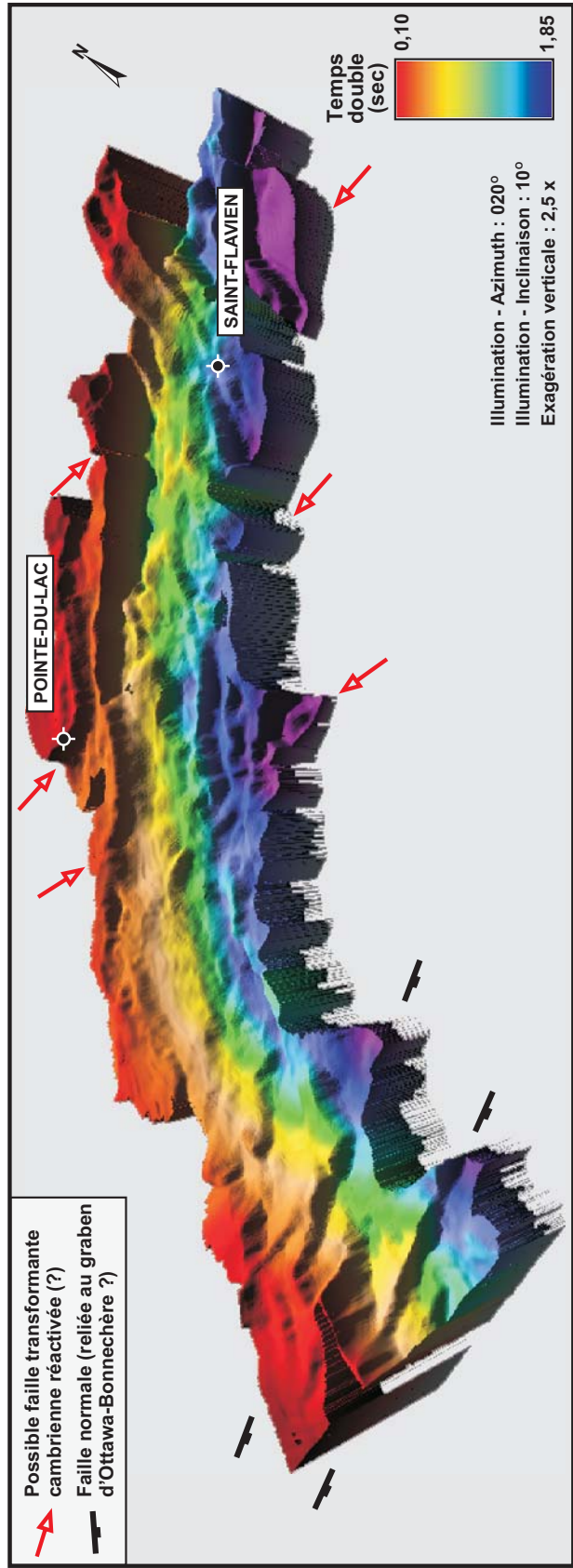


FIGURE 18B - Carte isocontour d'orientation NW (vue pseudo 3D) de la profondeur du toit du Groupe de Trenton.

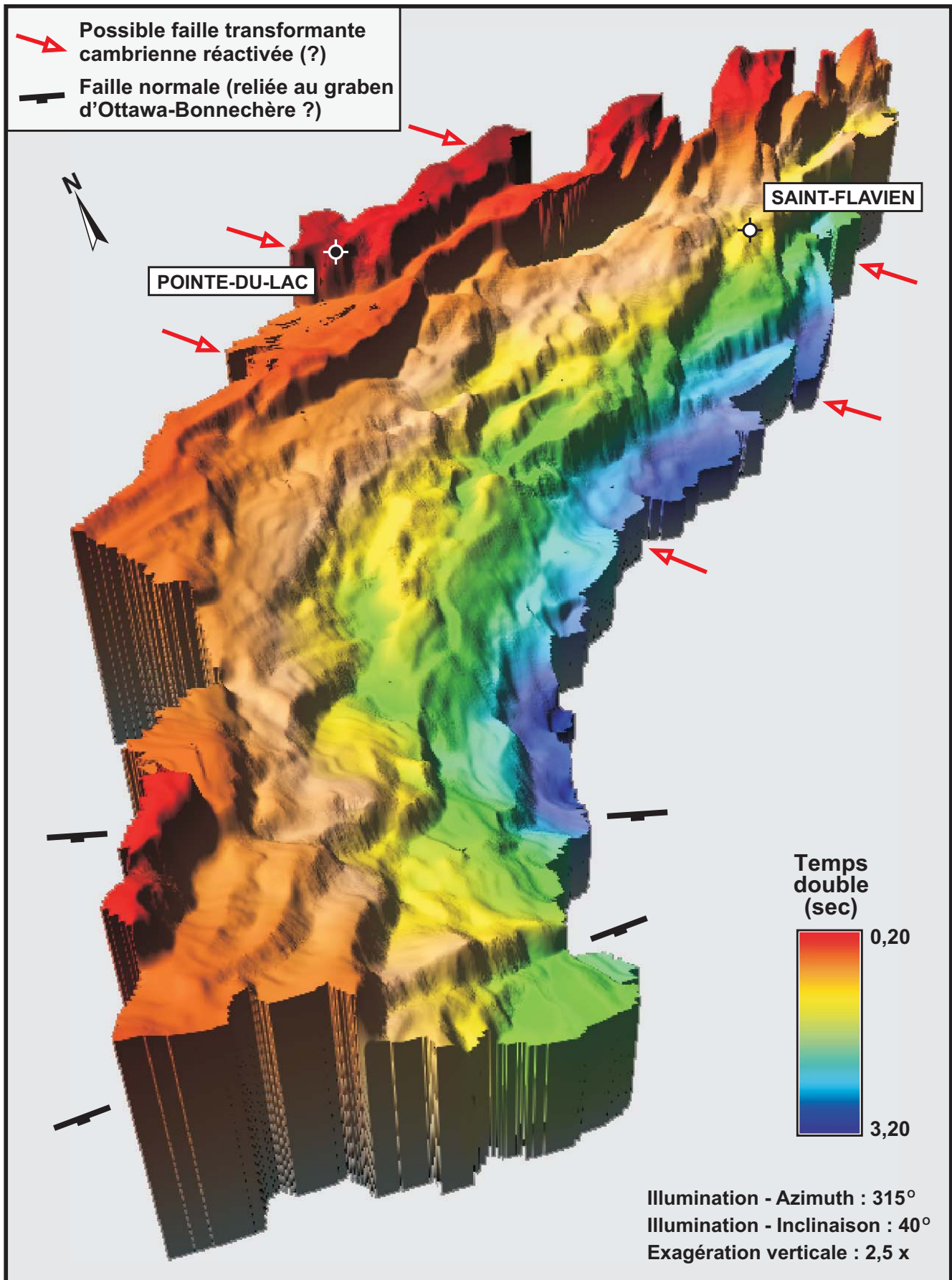


FIGURE 19A - Carte isocontour d'orientation NE (vue pseudo 3D) de la profondeur du toit du socle précambrien.

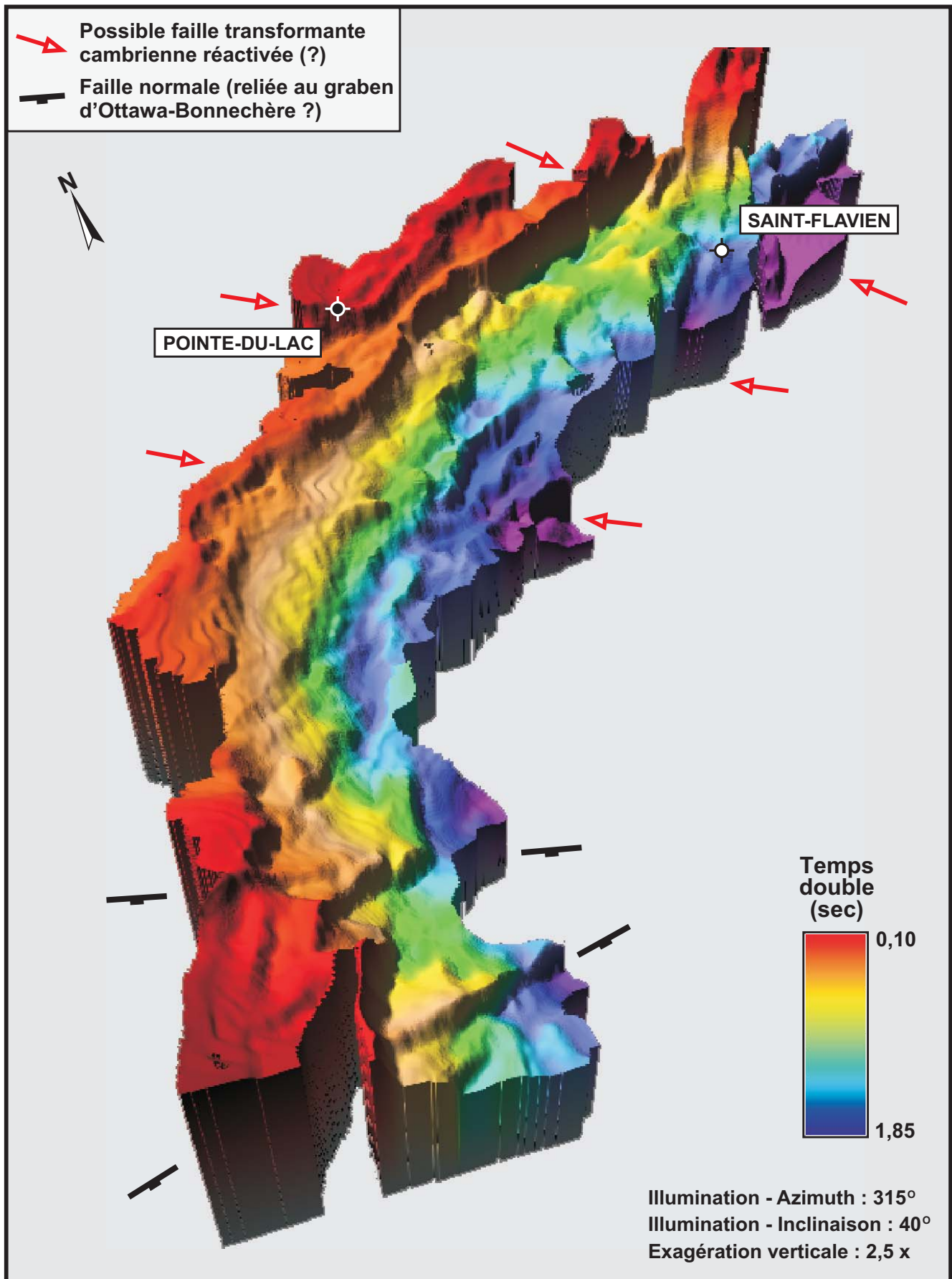


FIGURE 19B - Carte isocontour d'orientation NE (vue pseudo 3D) de la profondeur du toit du Groupe de Trenton.

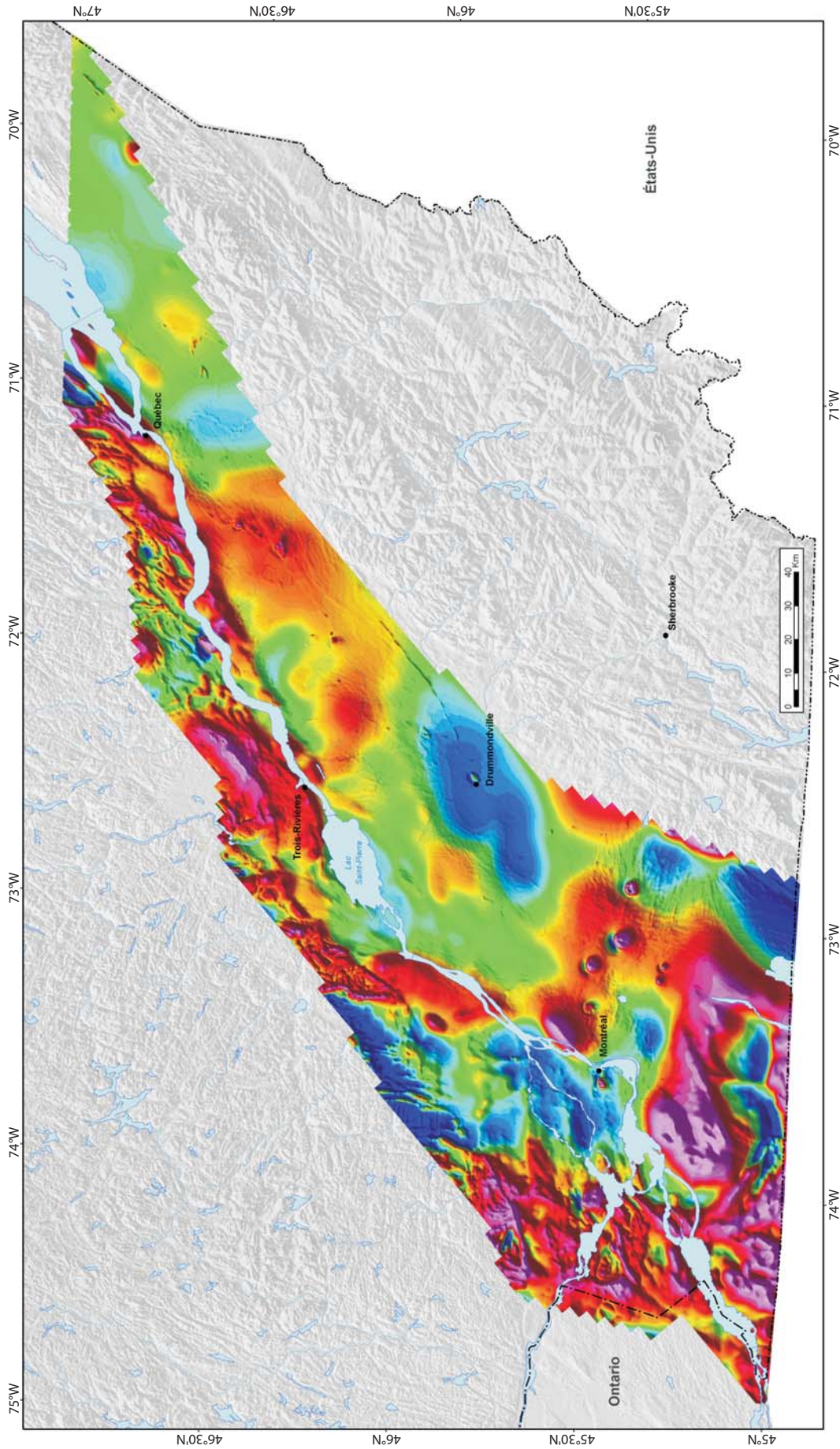


FIGURE 20 - Carte de la composante résiduelle du champ magnétique total, Basses-Terres du Saint-Laurent (Réalisation du levé : ÉON Géosciences inc.).

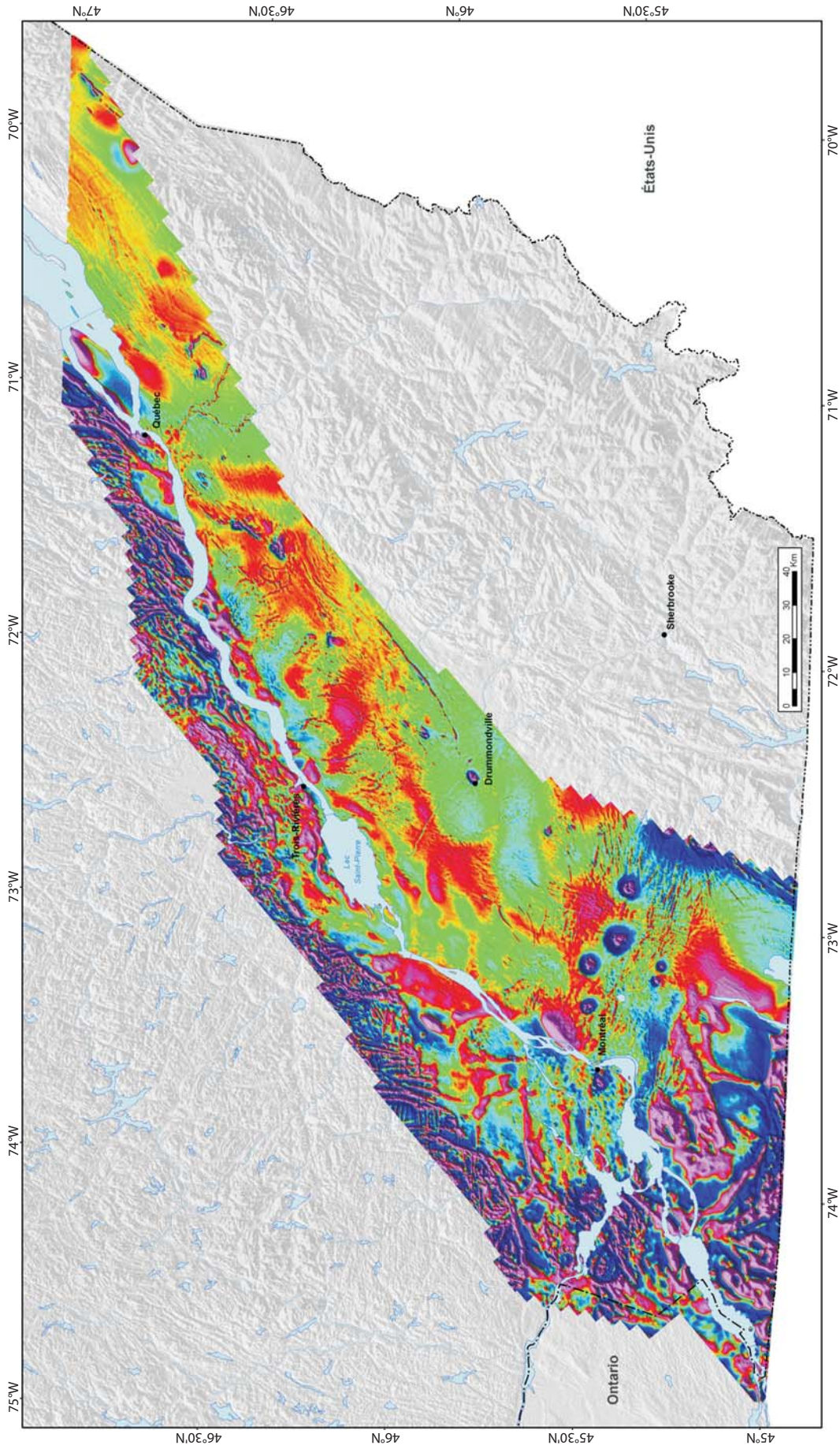


FIGURE 21 - Carte de la dérivée première verticale du champ magnétique, Basses-Terres du Saint-Laurent (Réalisation du levé : ÉON Géosciences inc.).

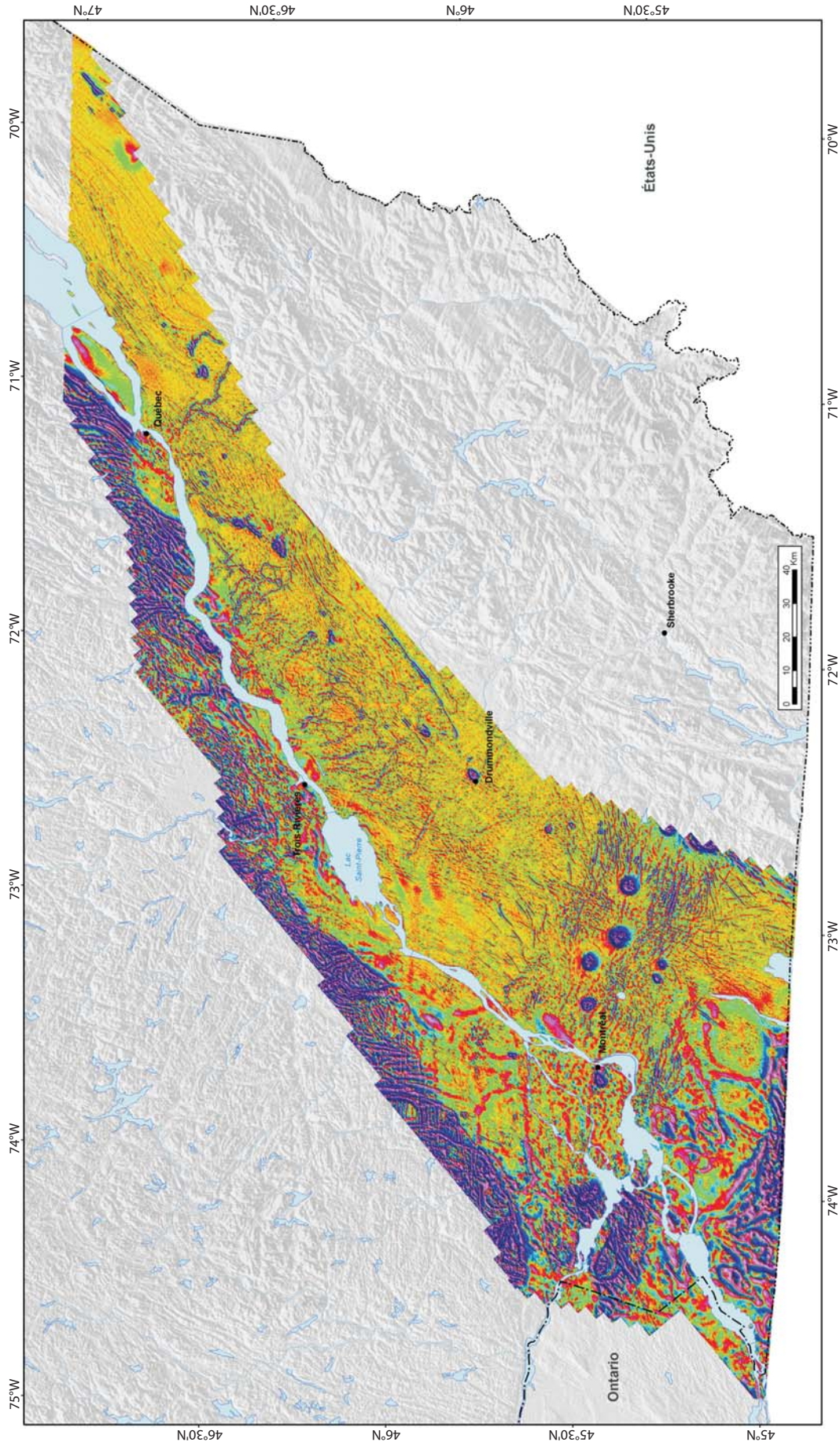


FIGURE 22 - Carte de la dérivée seconde verticale du champ magnétique, Basses-Terres du Saint-Laurent (Réalisation du levé : ÉON Géosciences inc.).

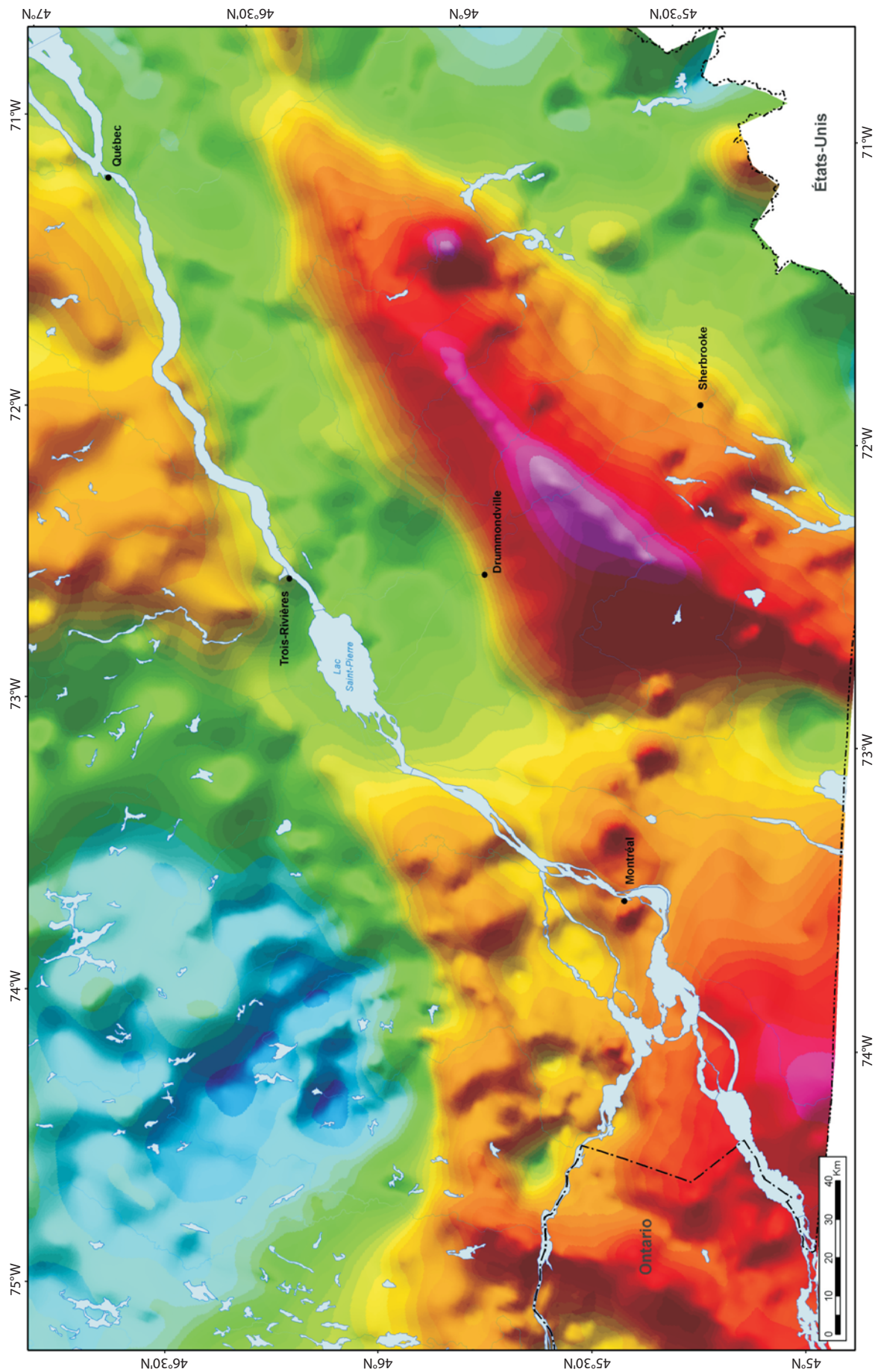


FIGURE 23 - Carte de l'anomalie de Bouguer, Basses-Terres du Saint-Laurent (Source : Ressources naturelles Canada.).

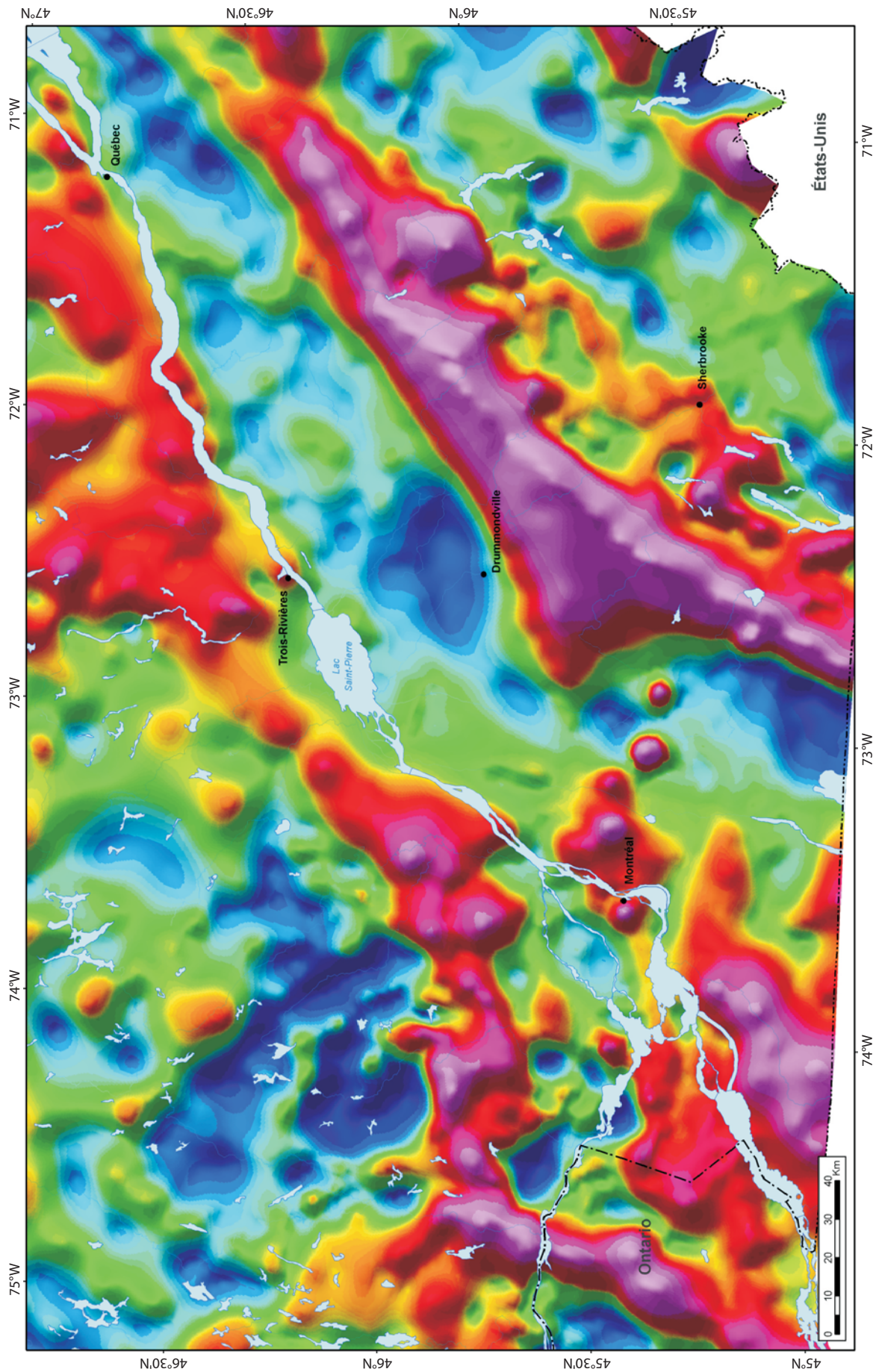


FIGURE 24 - Carte de la dérivée première verticale de l'anomalie de Bouguer, Basses-Terres du Saint-Laurent (Source : Ressources naturelles Canada.).

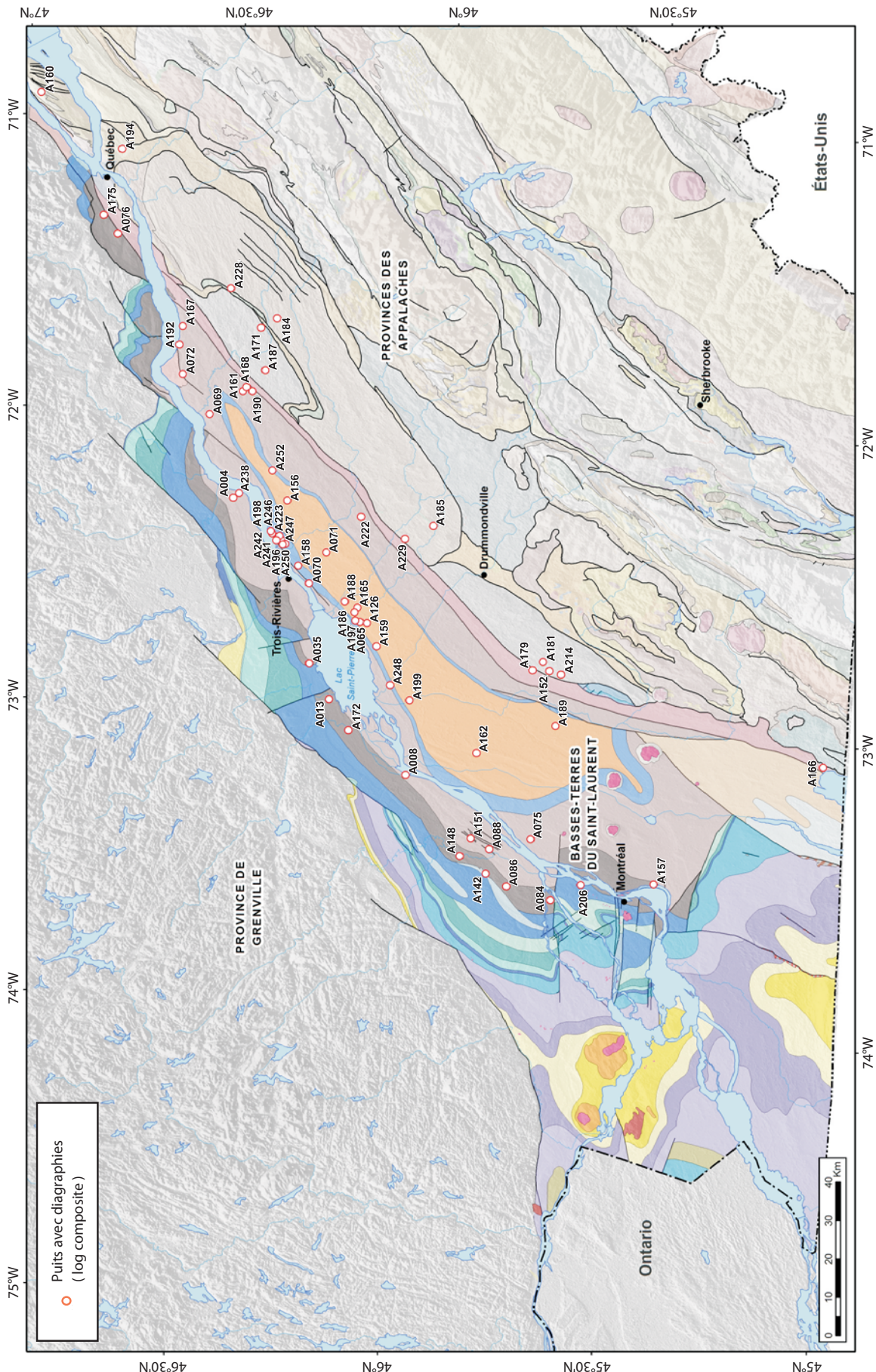


FIGURE 25 - Carte de localisation des puits avec diagraphies et log composite.

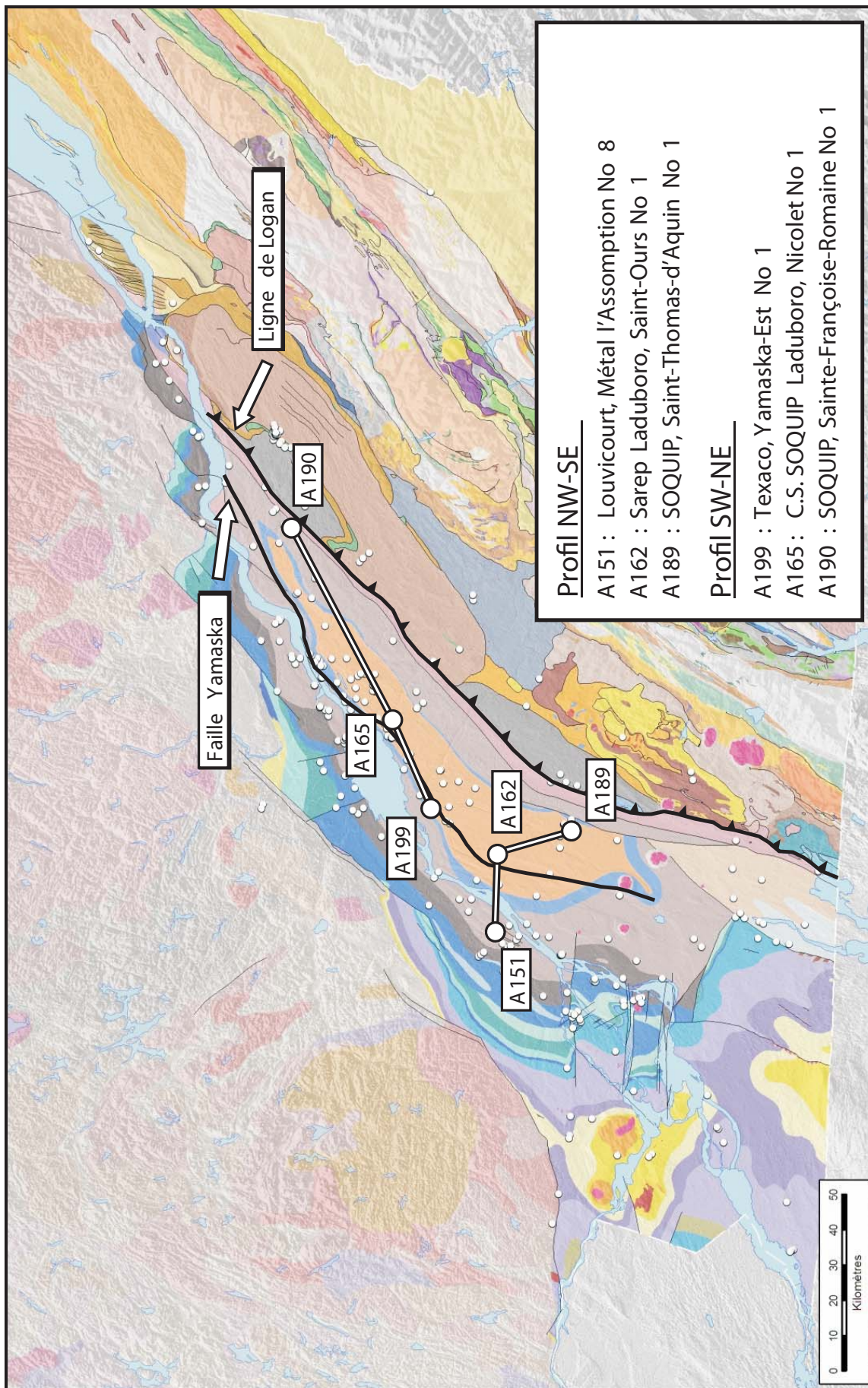


FIGURE 26 - Localisation des profils stratigraphiques NW-SE (puits A151, A162 et A189) et SW-NE (puits A199, A165 et A190).

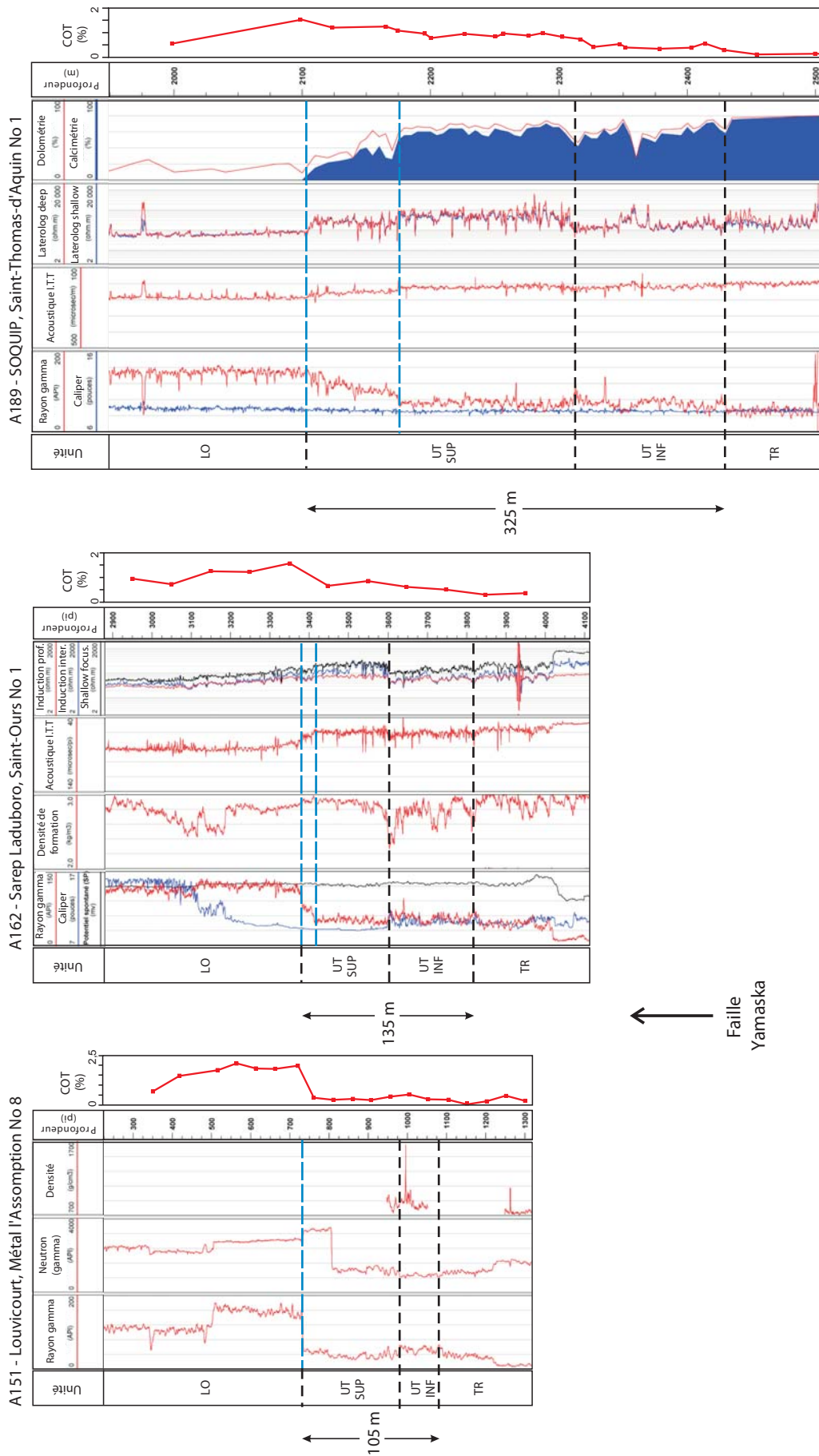
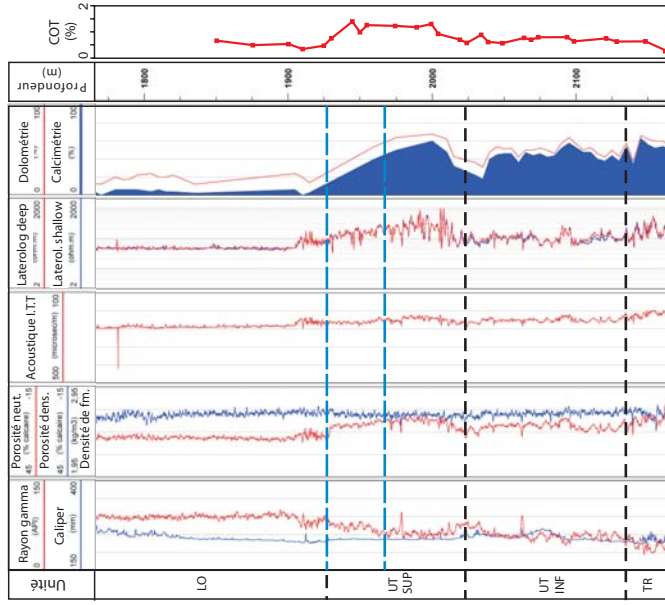
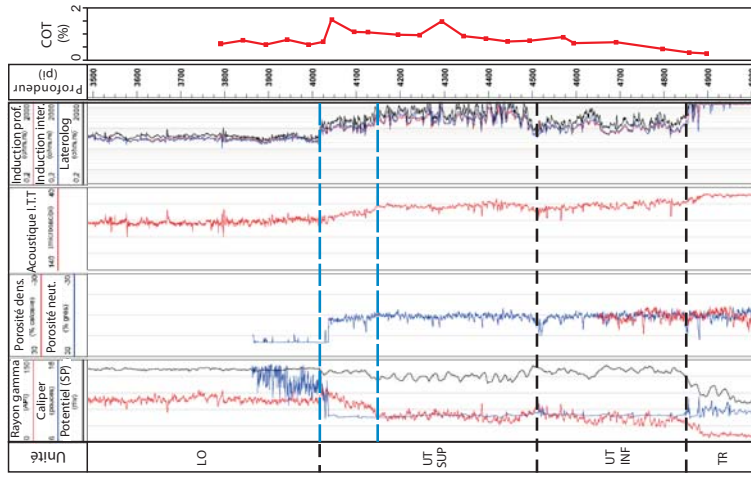


FIGURE 27 - Interprétation des diagraphties des puits A151, A162 et A189 le long du profil stratigraphique NW-SE.

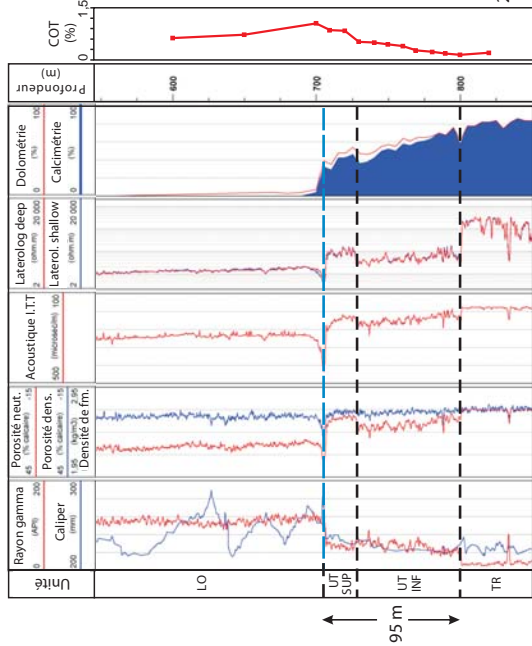
A 190 - SOQUIP, Sainte-Françoise-Romaine No 1



A165 - C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1 et No 1a



A199 - Texaco, Yamaska-Est No 1



Faille Yamaska

FIGURE 28 - Interprétation des diagrammes des puits A199, A165 et A190 le long du profil stratigraphique SW-NE.

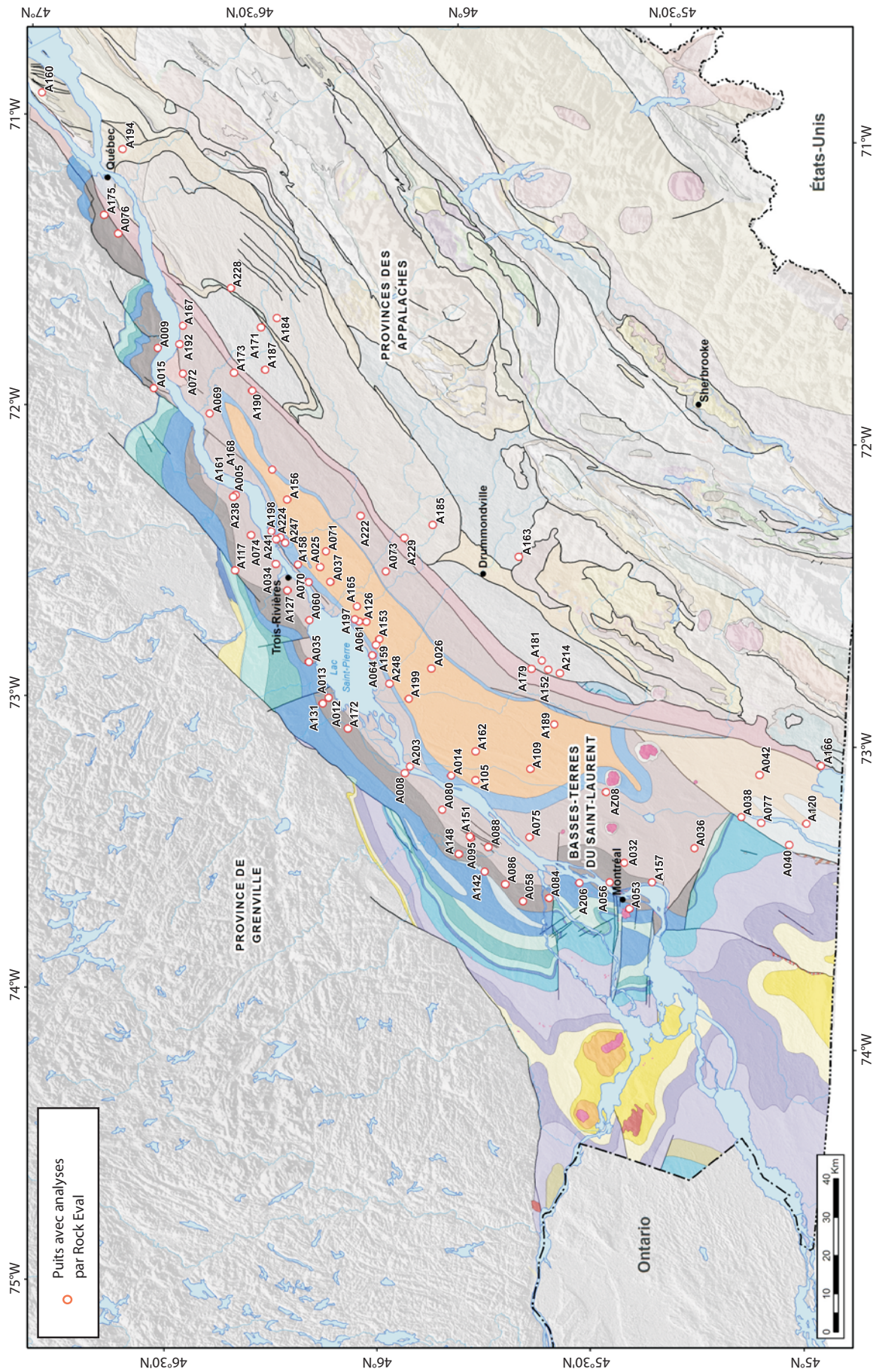


FIGURE 29 - Carte de localisation des puits avec analyses par Rock Eval.

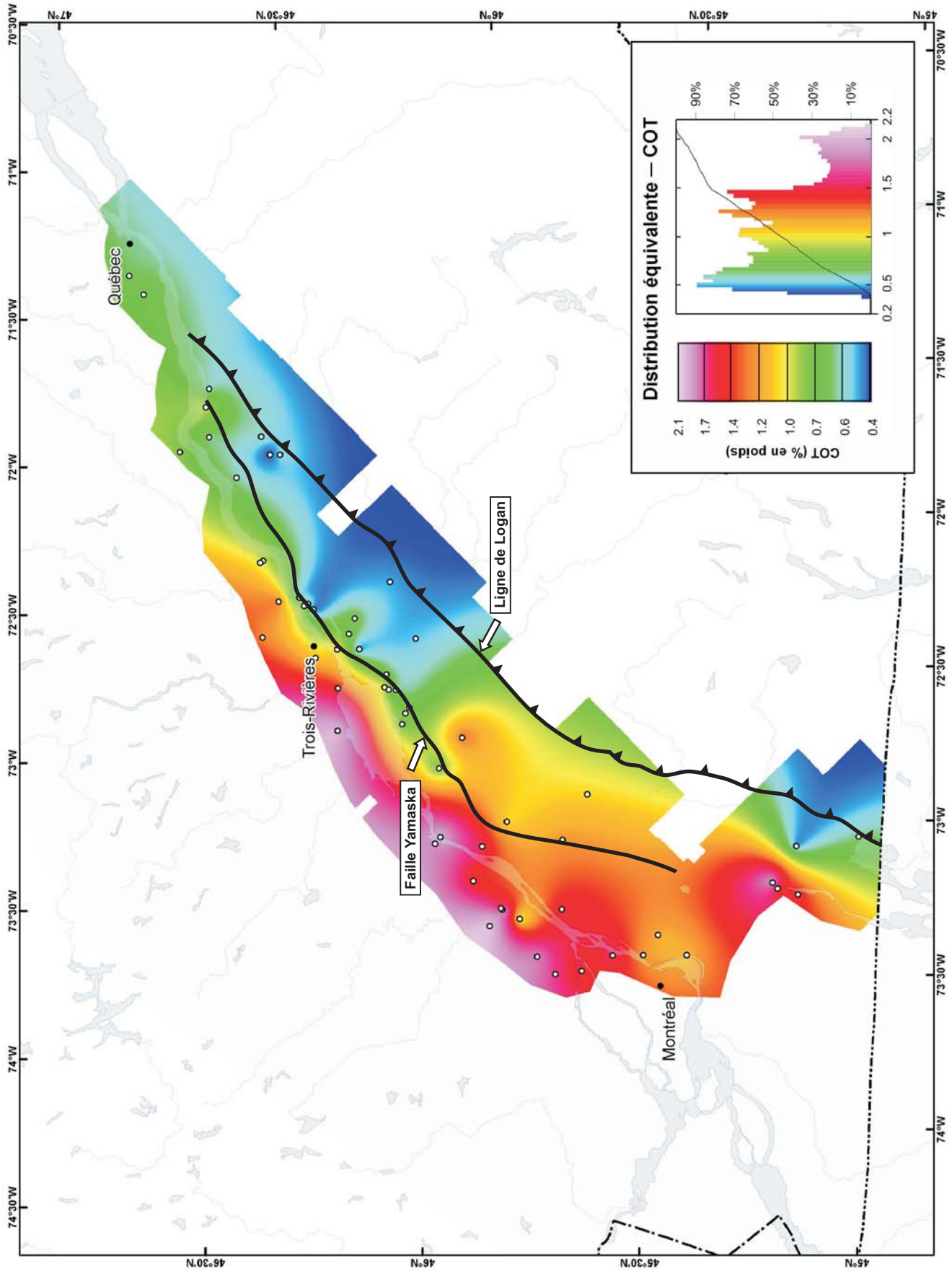


FIGURE 30 - Carte isocontour du COT - Groupe de Lorraine.

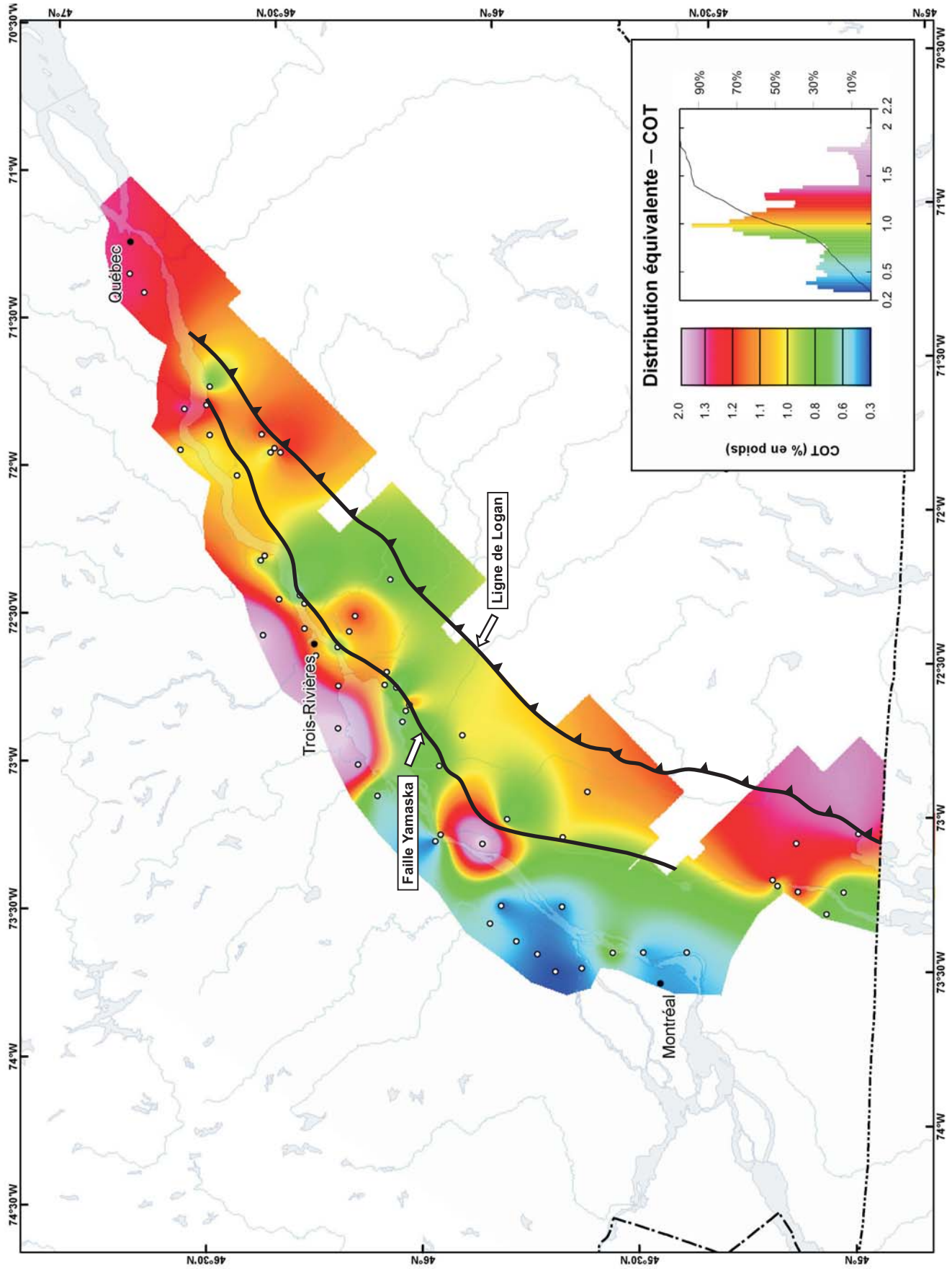


FIGURE 31 - Carte isocontour du COT - Shale d'Utica Supérieur.

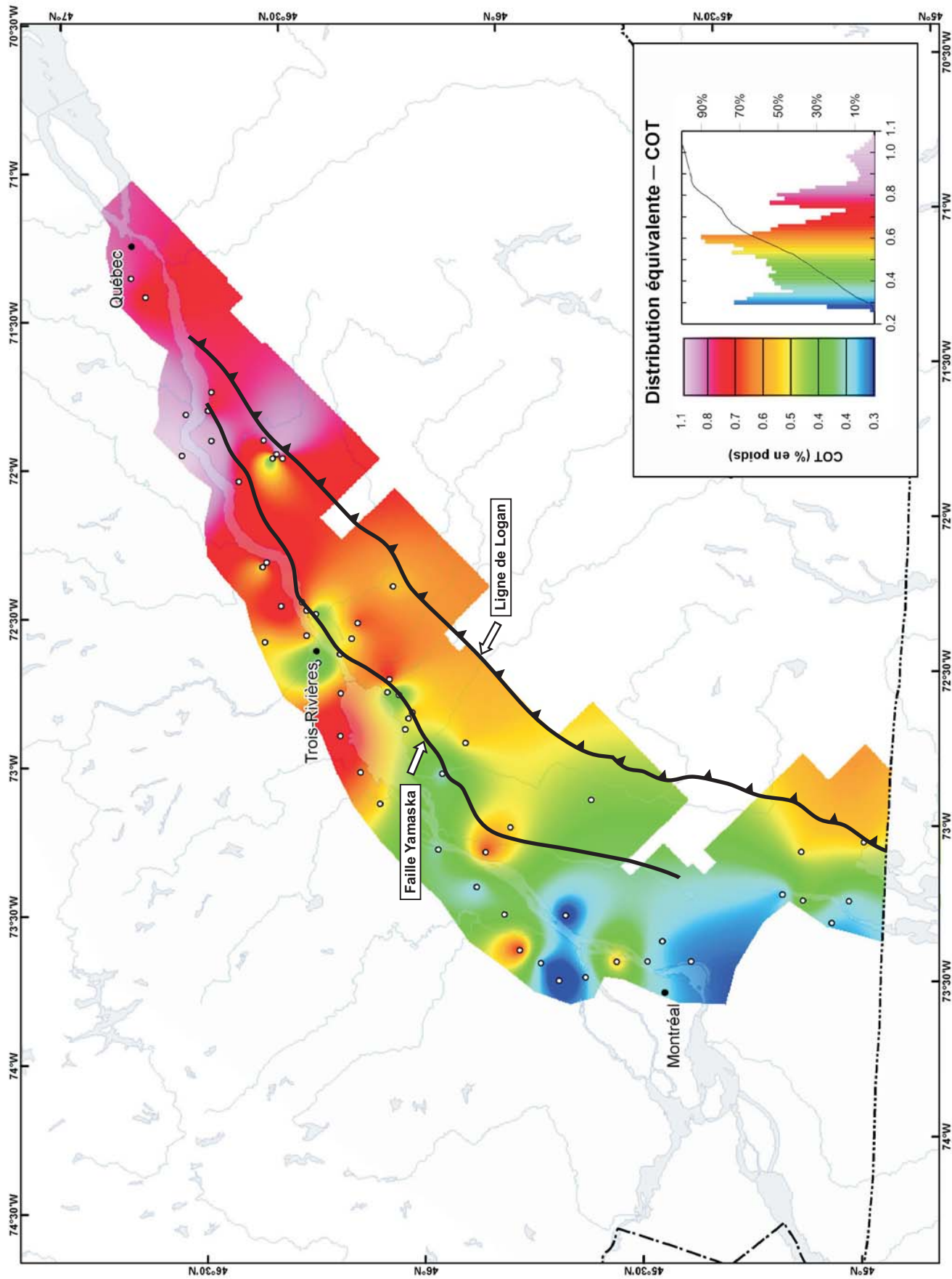
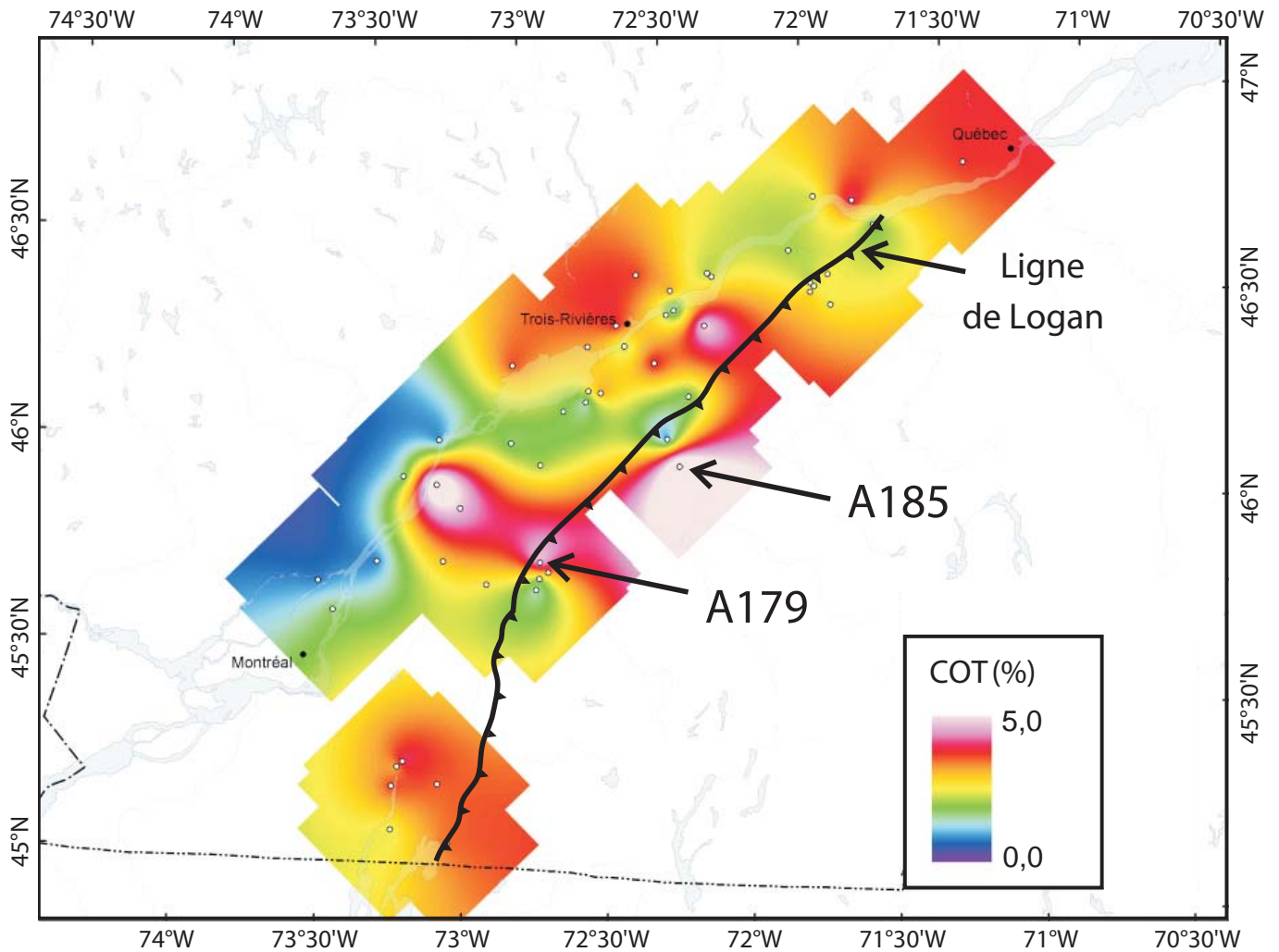


FIGURE 32 - Carte isocontour du COT - Shale d'Utica Inférieur.



Puits A185

Profondeur	COT	IH
13500 pi	5,10 %	807

Puits A179

Profondeur	COT	IH
4750 pi	2,38 %	24
9250 pi	2,90 %	12
9100-9600 pi (>150 m)	2,00-3,00 % (moy.= 2,40 %)	10-35 (moy.= 20)

FIGURE 33 - Carte isocontour du COT_{max} – Shale d’Utica Supérieure (incluant la zone de chevauchement).

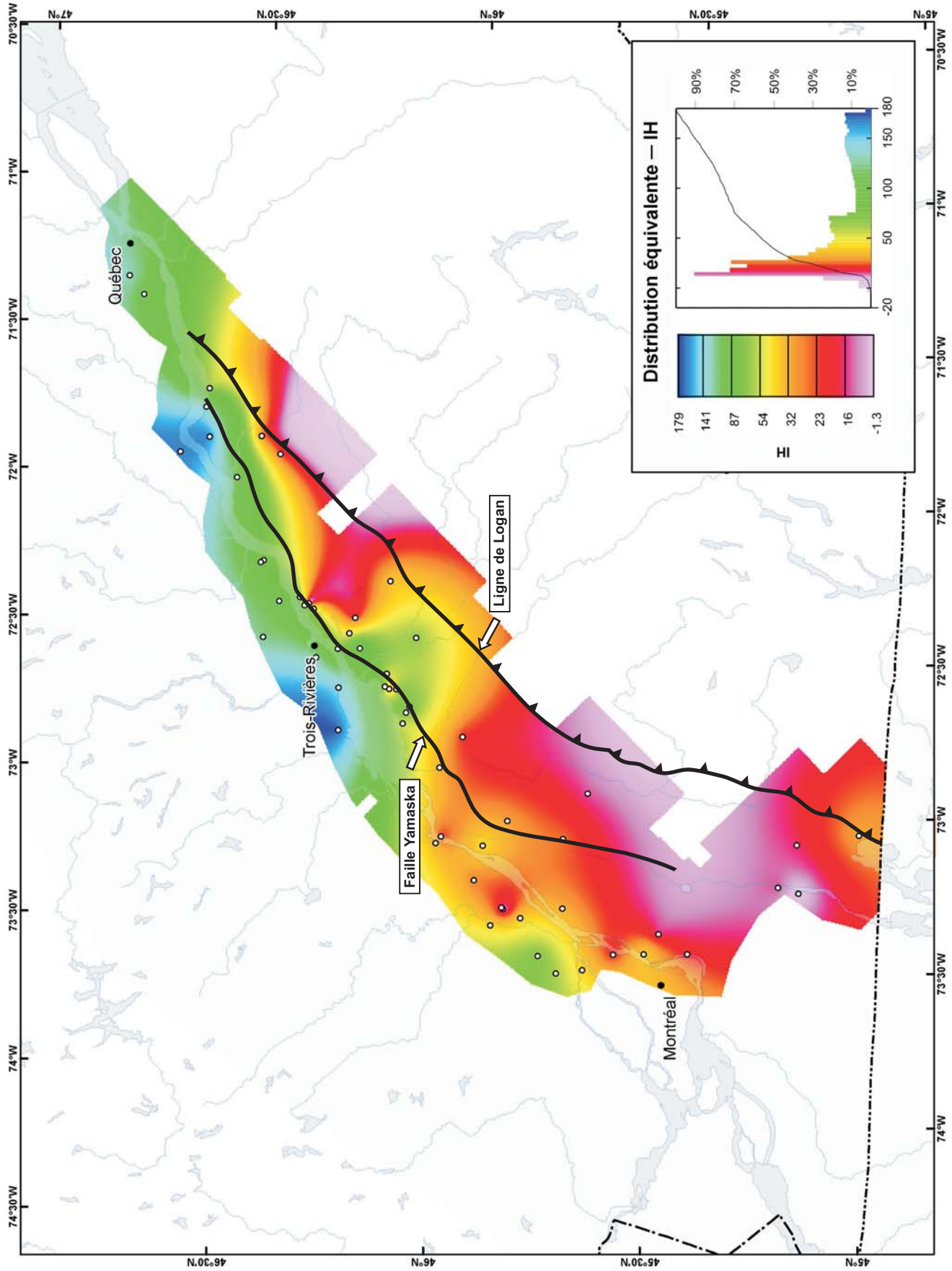


FIGURE 34 - Carte isocontour de l'indice d'hydrogène (IH) – Groupe de Lorraine.

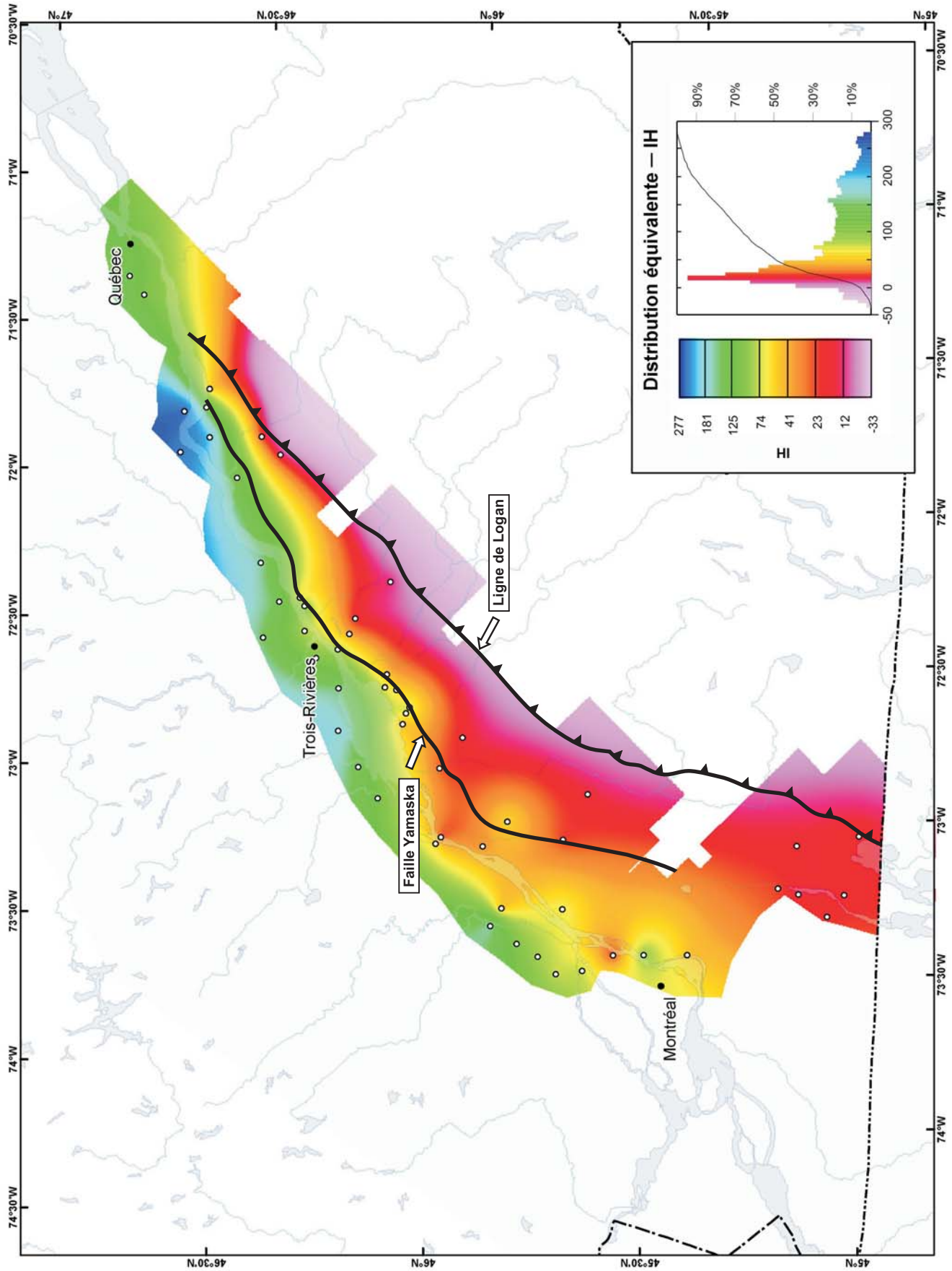


FIGURE 35 - Carte isocontour de l'indice d'hydrogène (IH) – Shale d'Utica Supérieure.

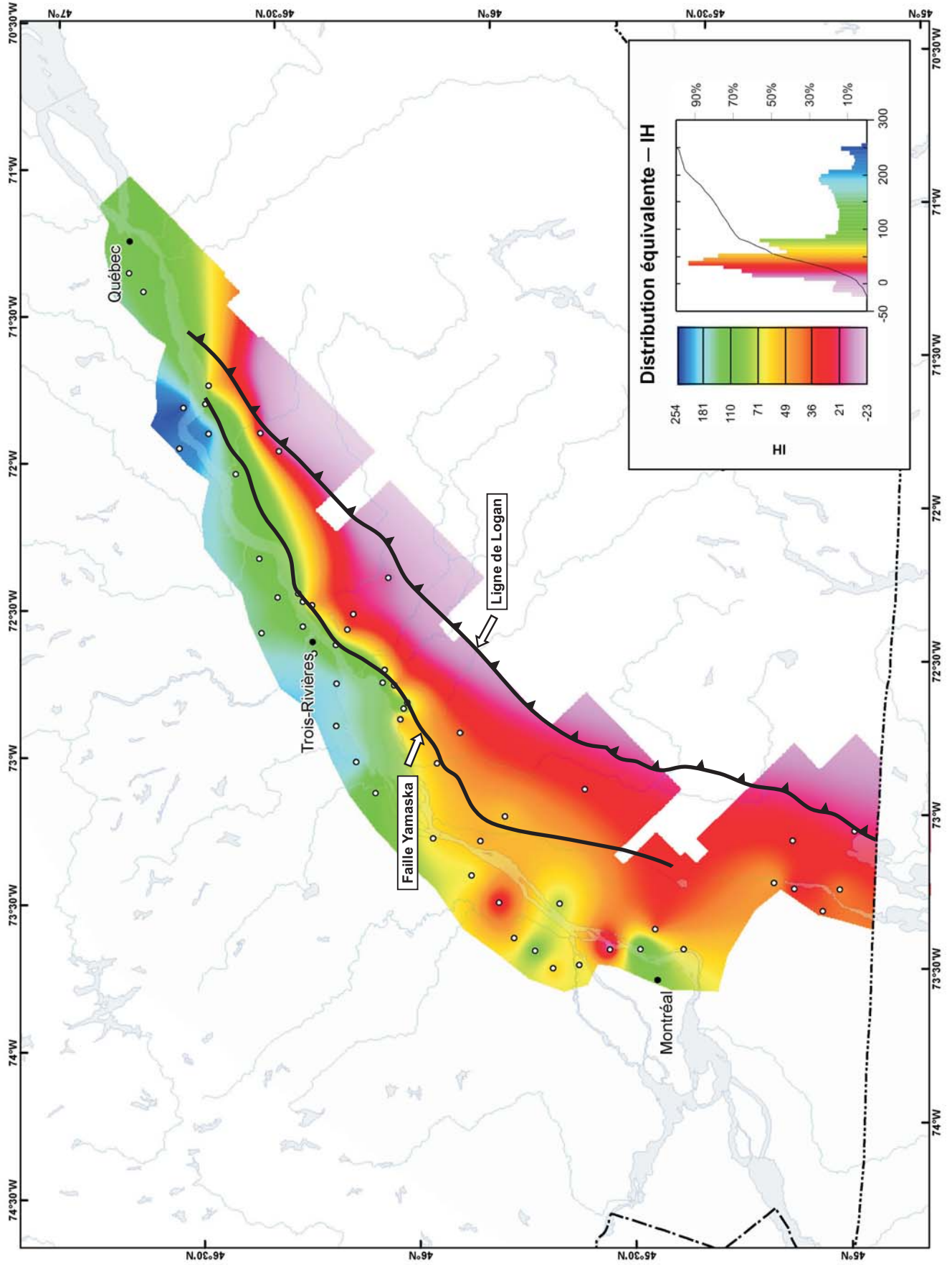


FIGURE 36 - Carte isocontour de l'indice d'hydrogène (IH) – Shale d'Utica Inférieur.

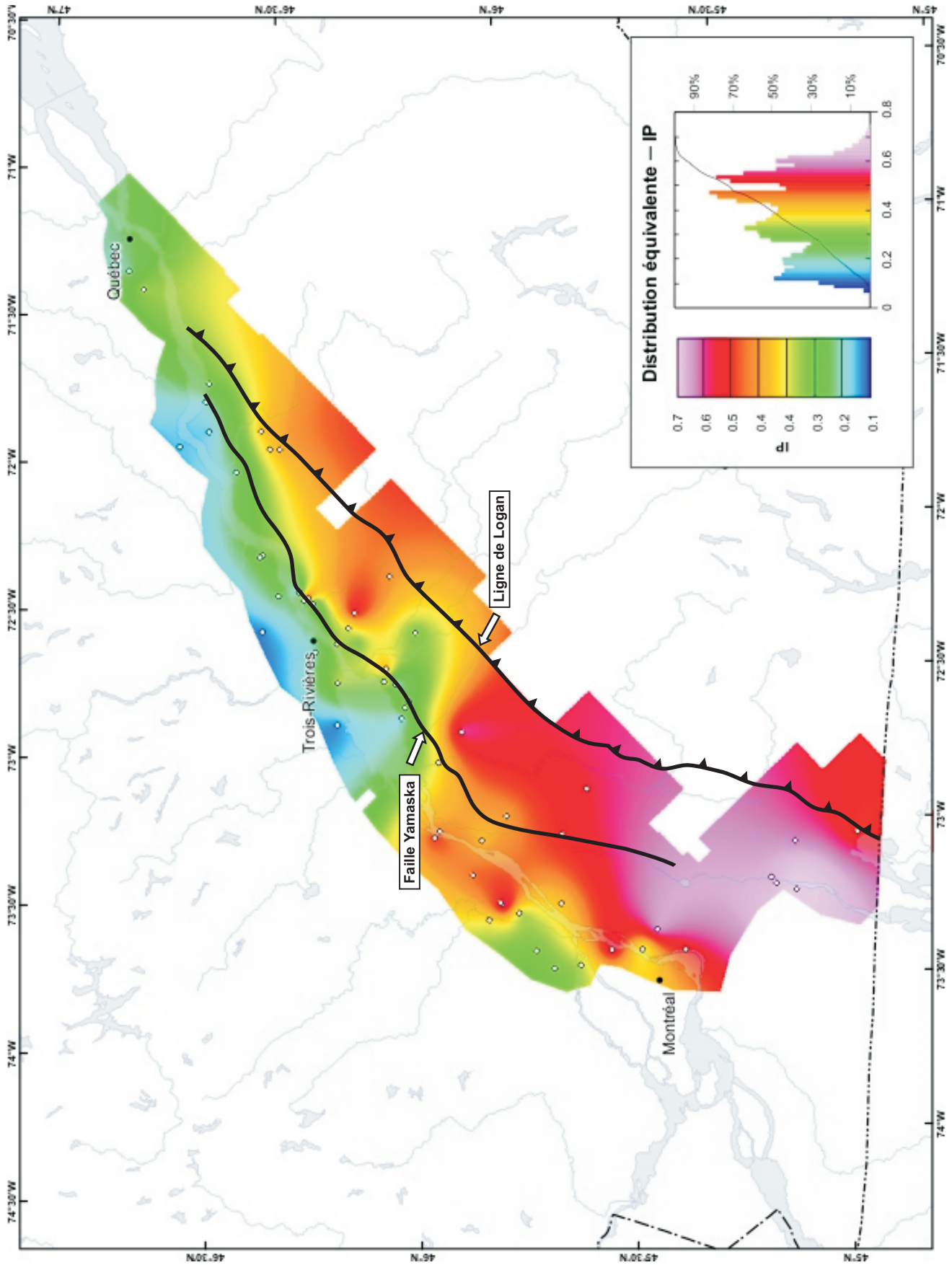


FIGURE 37 - Carte isocontour de l'indice de production (IP) - Groupe de Lorraine.

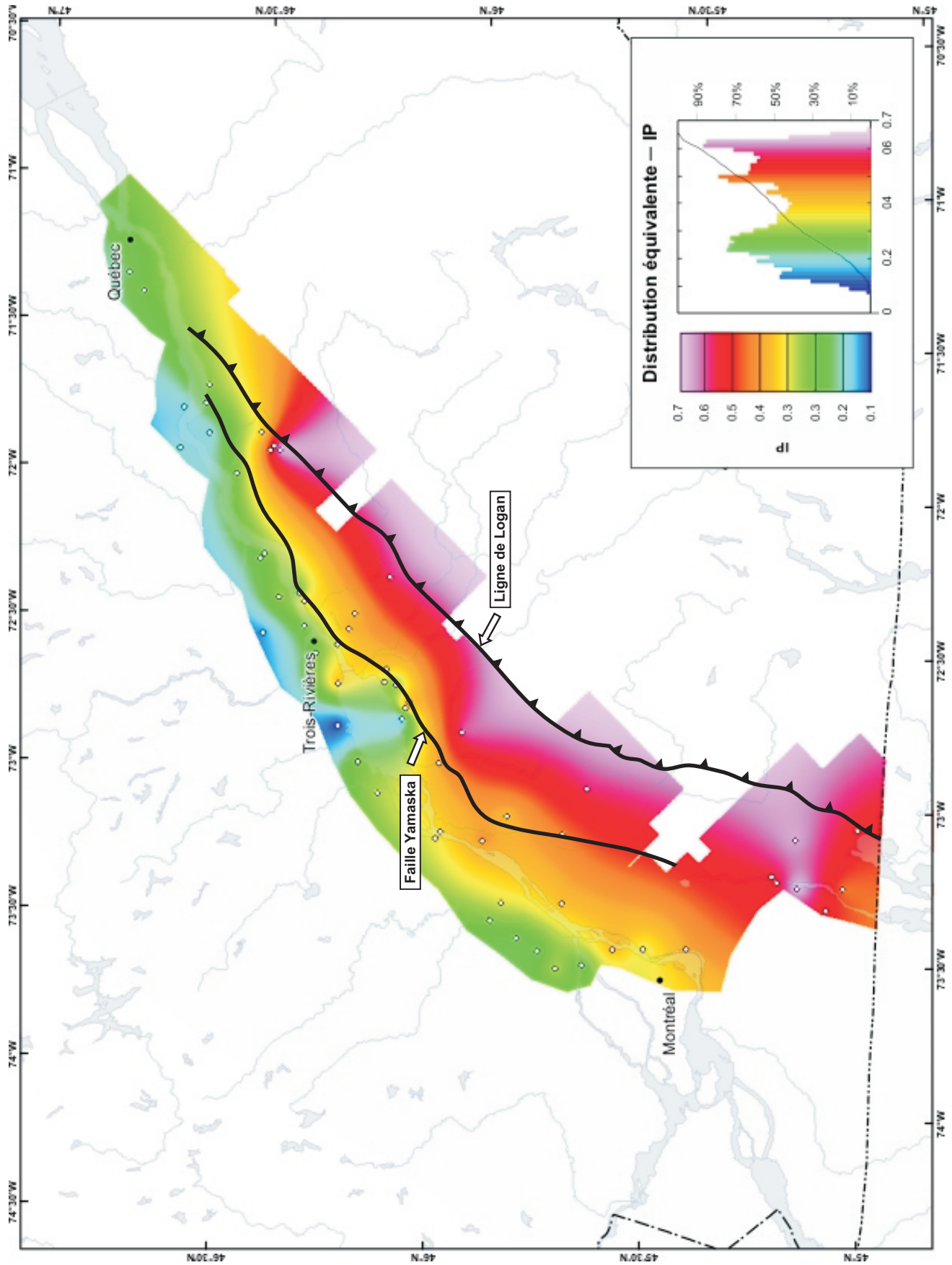


FIGURE 38 - Carte isocontour de l'indice de production (IP) - Shale d'Utica Supérieure.

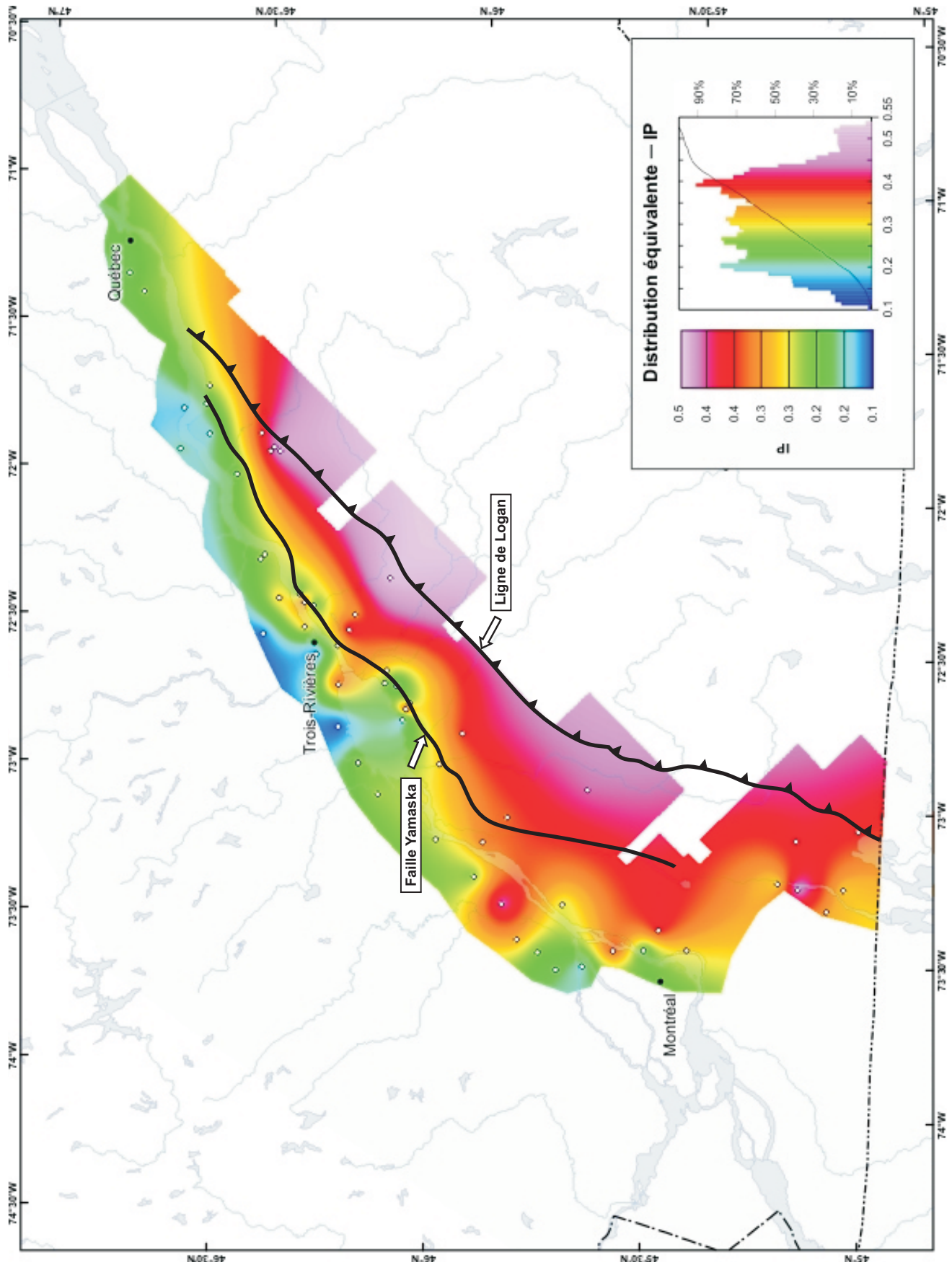


FIGURE 39 - Carte isocontour de l'indice de production (IP) - Shale d'Utica Inférieur.

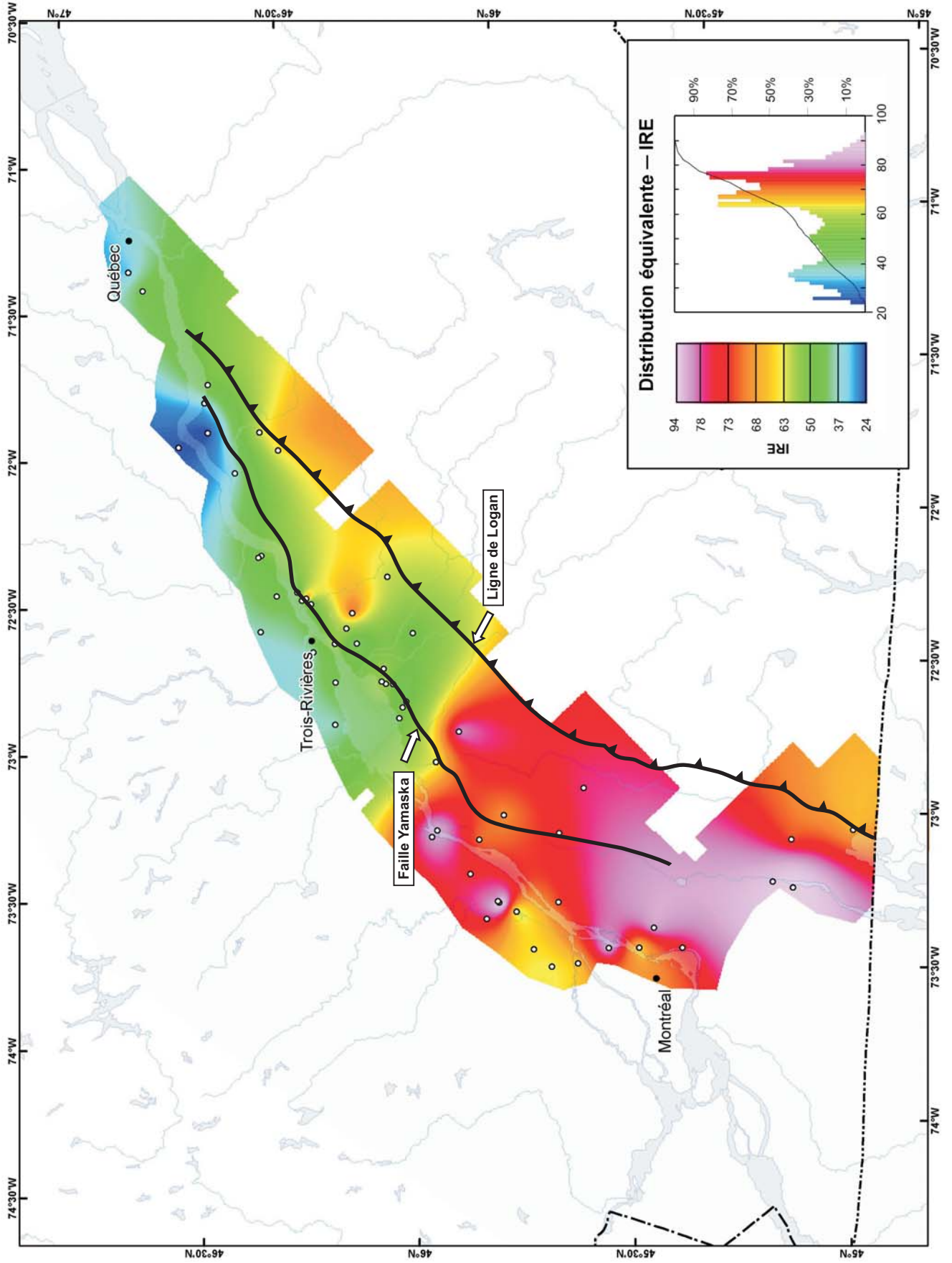


FIGURE 40 - Carte isocontour de l'indice de Rock-Eval (IRE) – Groupe de Lorraine.

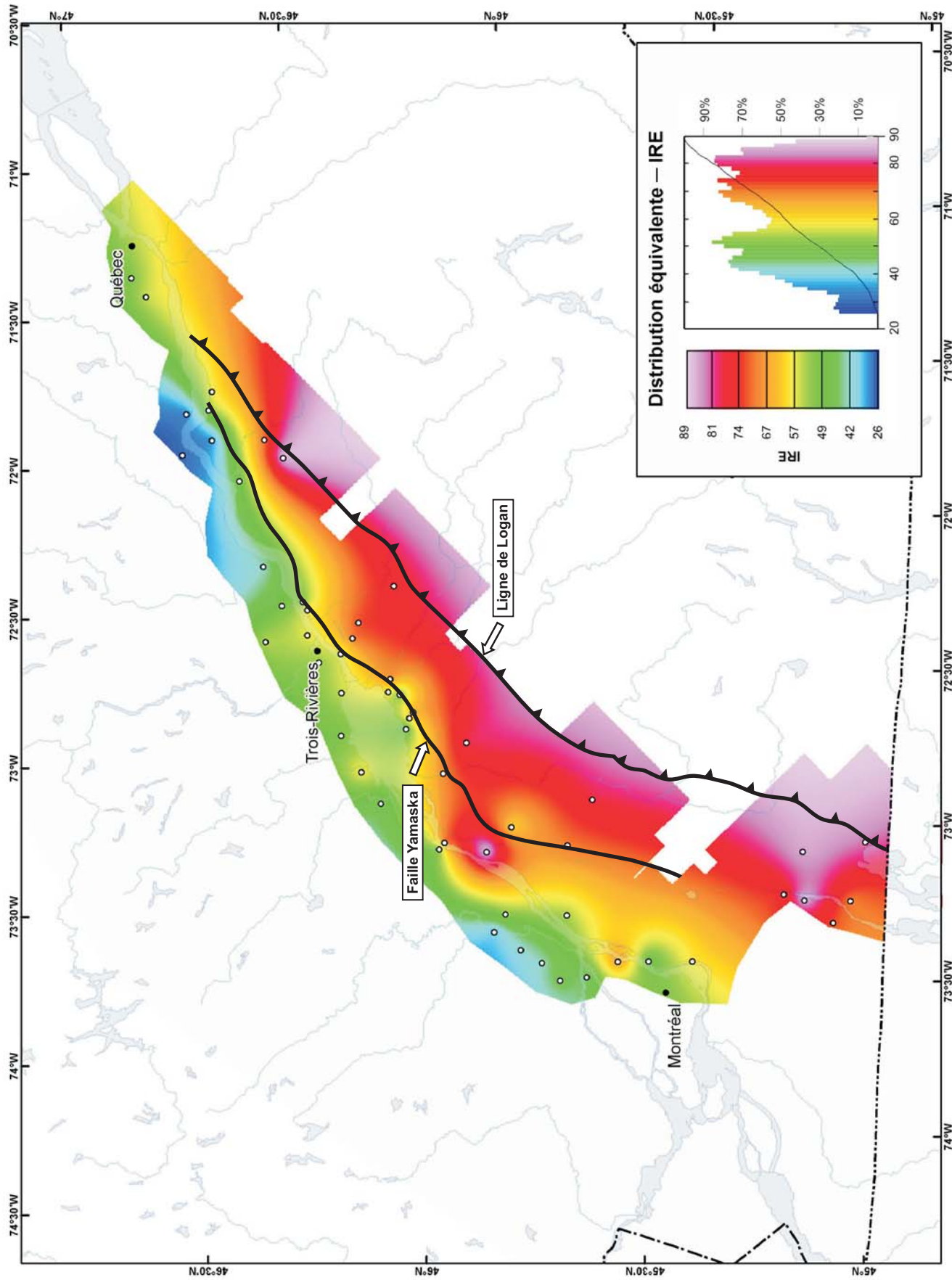


FIGURE 41 - Carte isocontour de l'indice de Rock-Eval (IRE) – Shale d'Utica Supérieure.

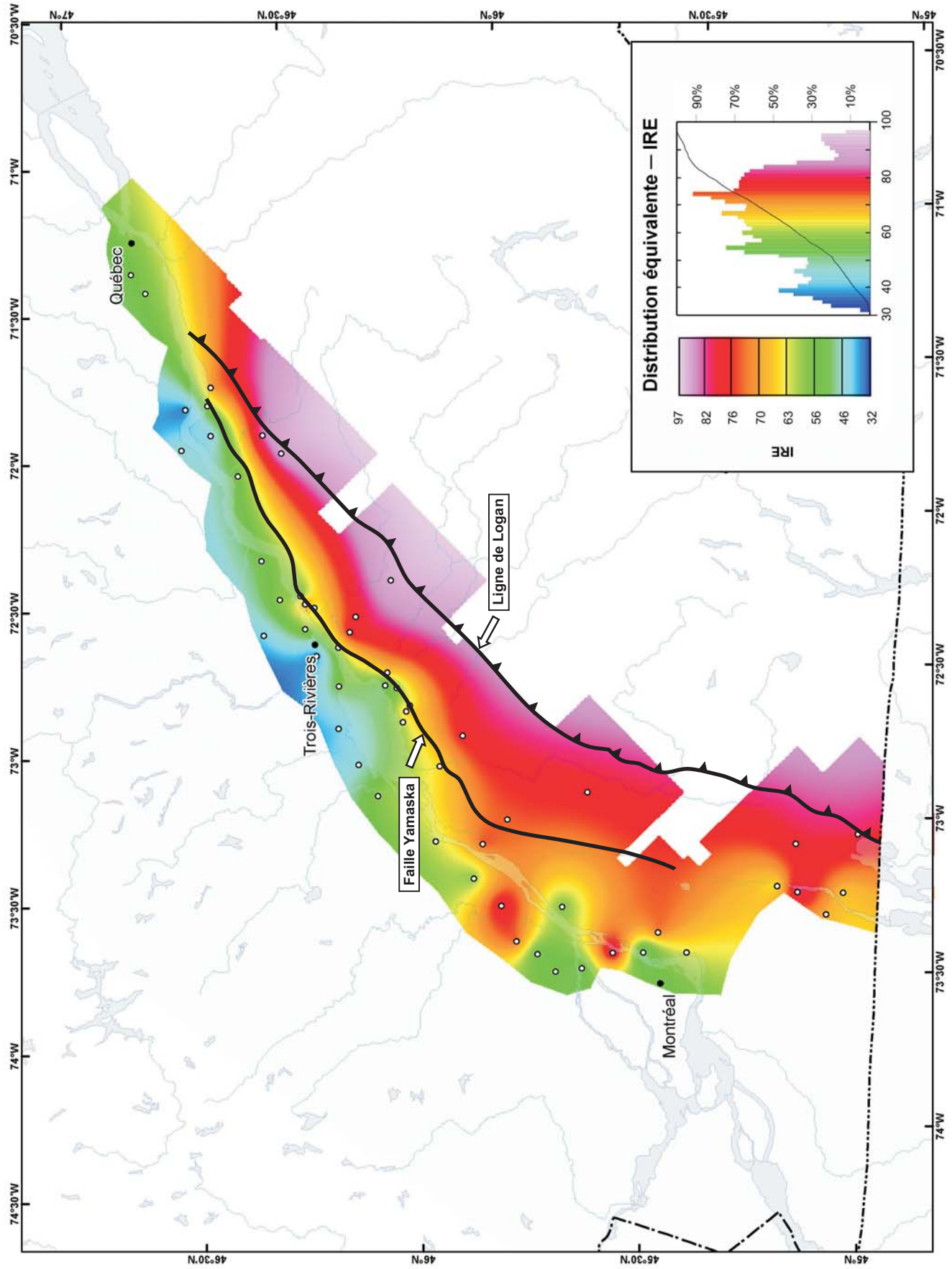


FIGURE 42 - Carte isocontour de l'indice de Rock-Eval (IRE) - Shale d'Utica Inférieur.

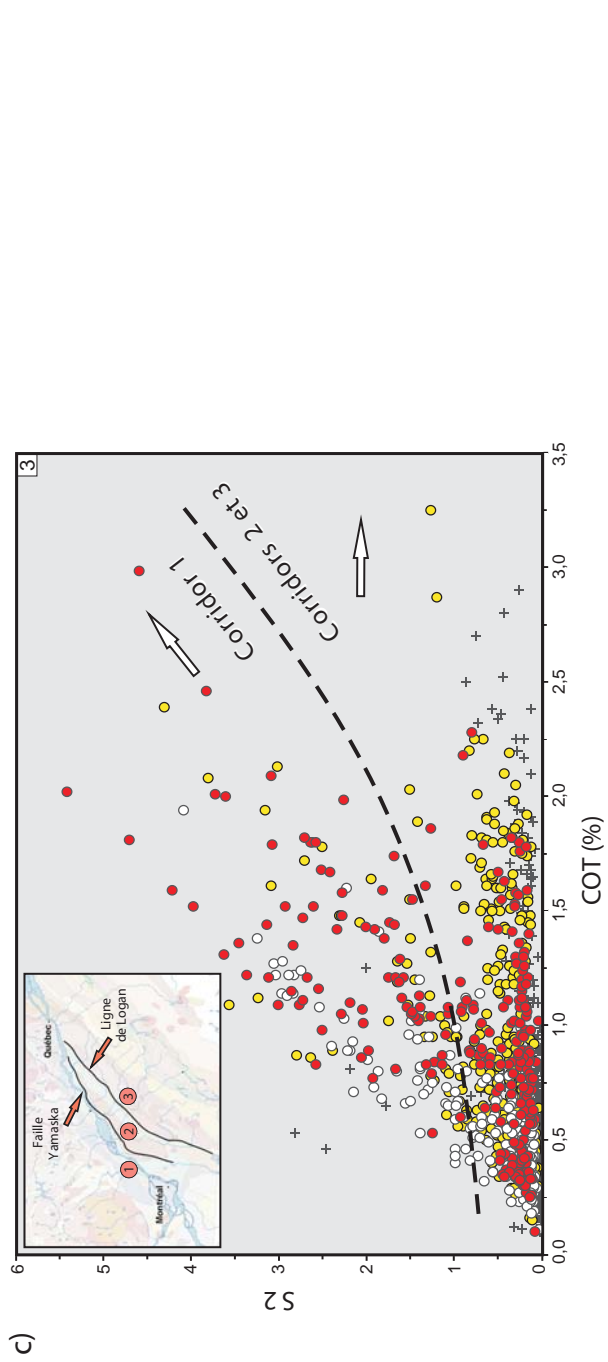
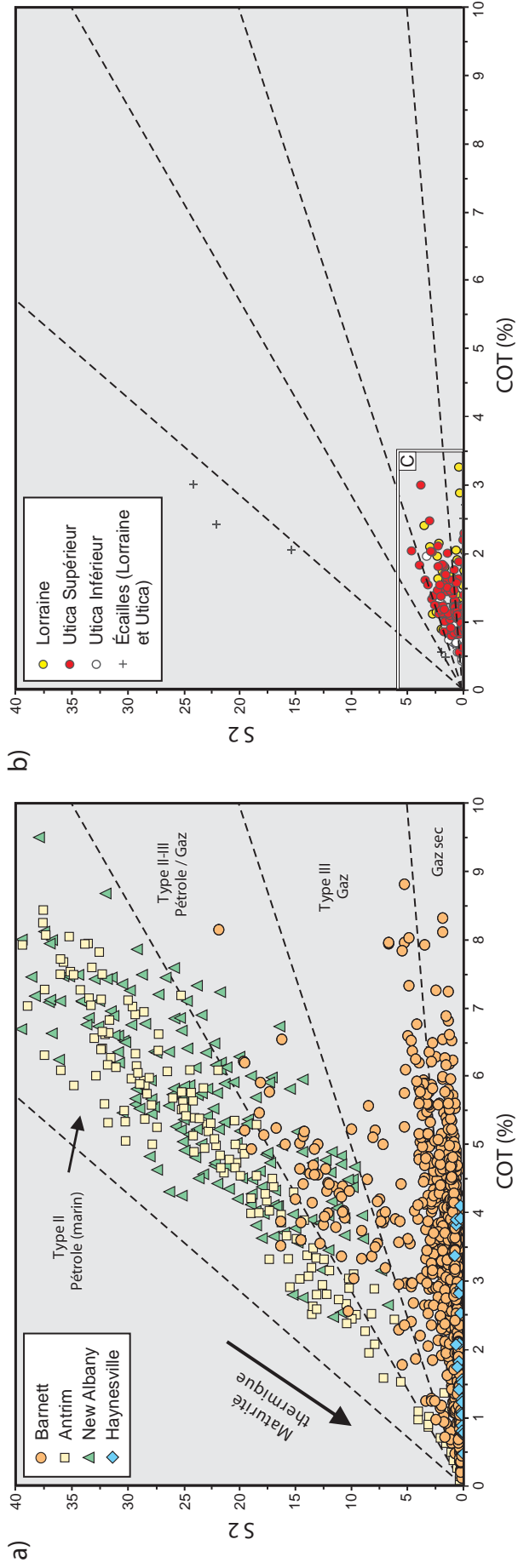


FIGURE 43 - Diagramme binaire de S2 vs COT : a) shales gazéifères aux États Unis; b) Shale d'Utica et Groupe de Lorraine; et c) agrandi de la figure 43b.

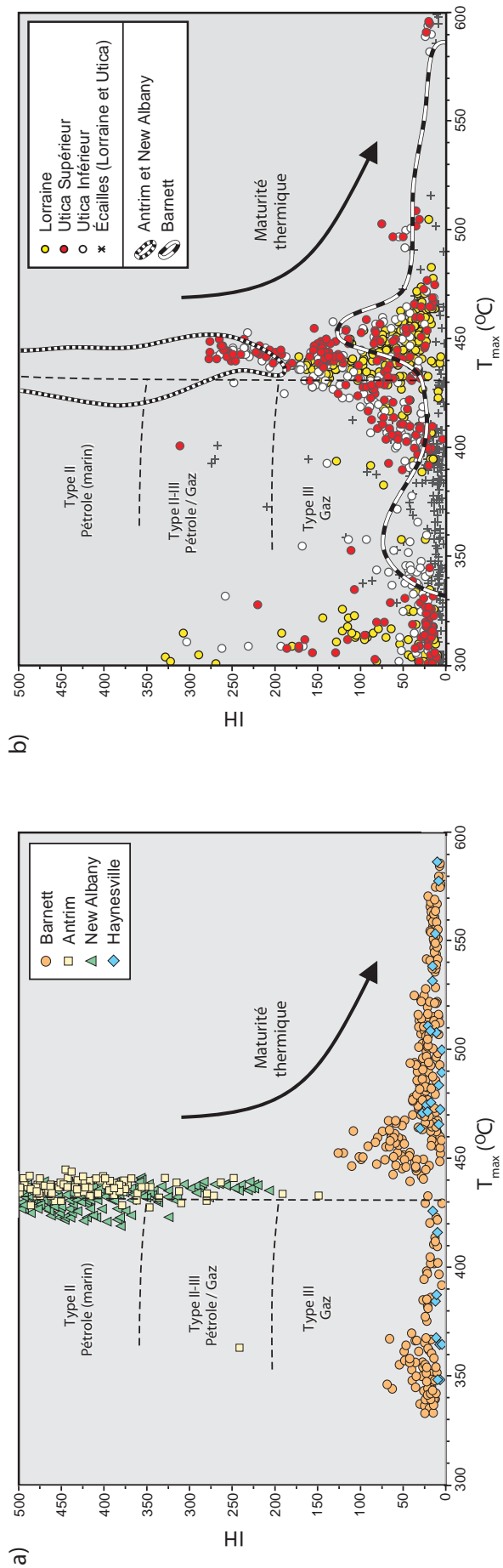


FIGURE 44 - Diagramme binaire de HI vs T_{max} : **a)** shales gazéifères aux États Unis; et **b)** Shale d'Utica et Groupe de Lorraine.

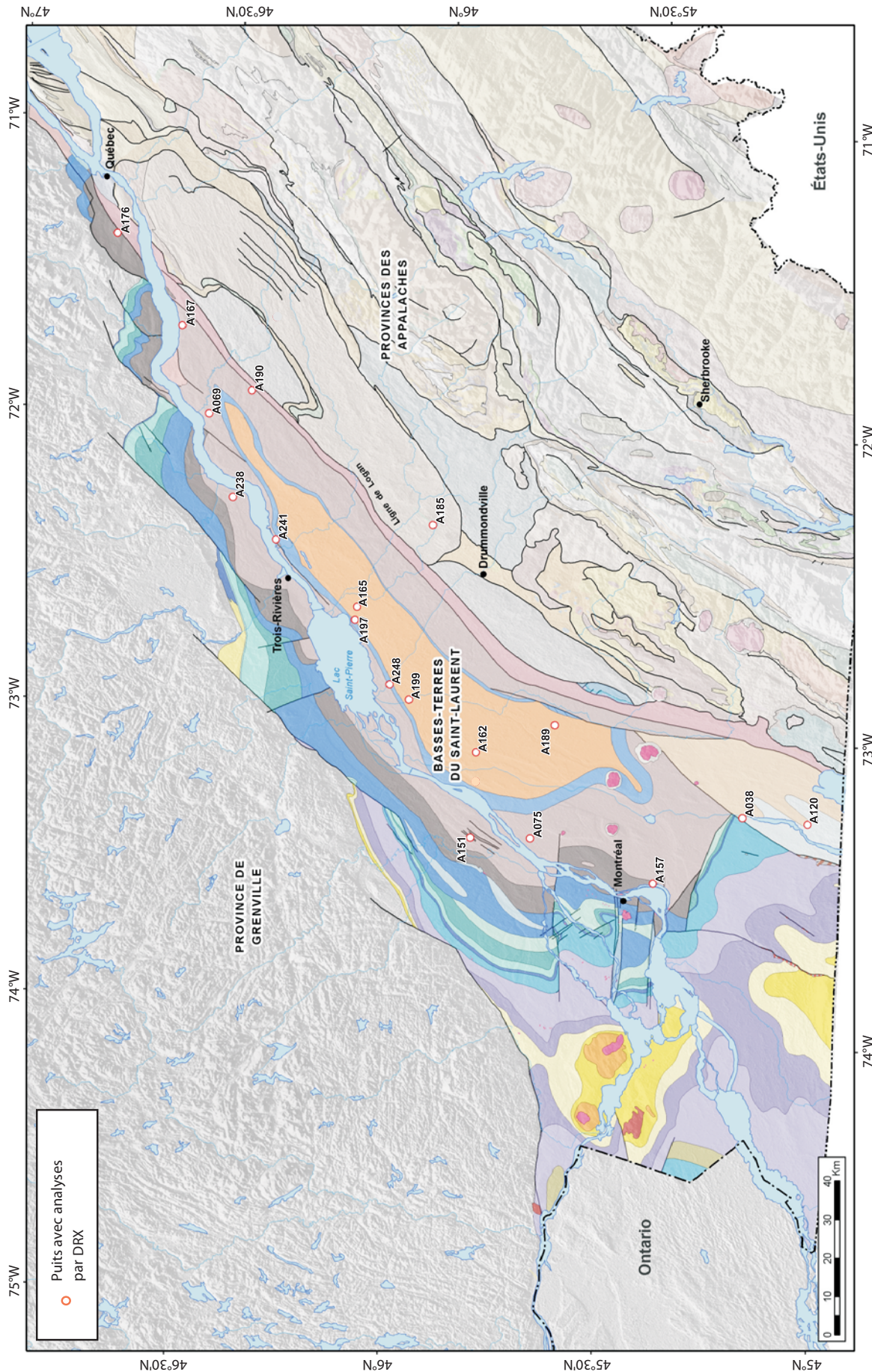


FIGURE 45 - Carte de localisation des puits avec analyses par DRX.

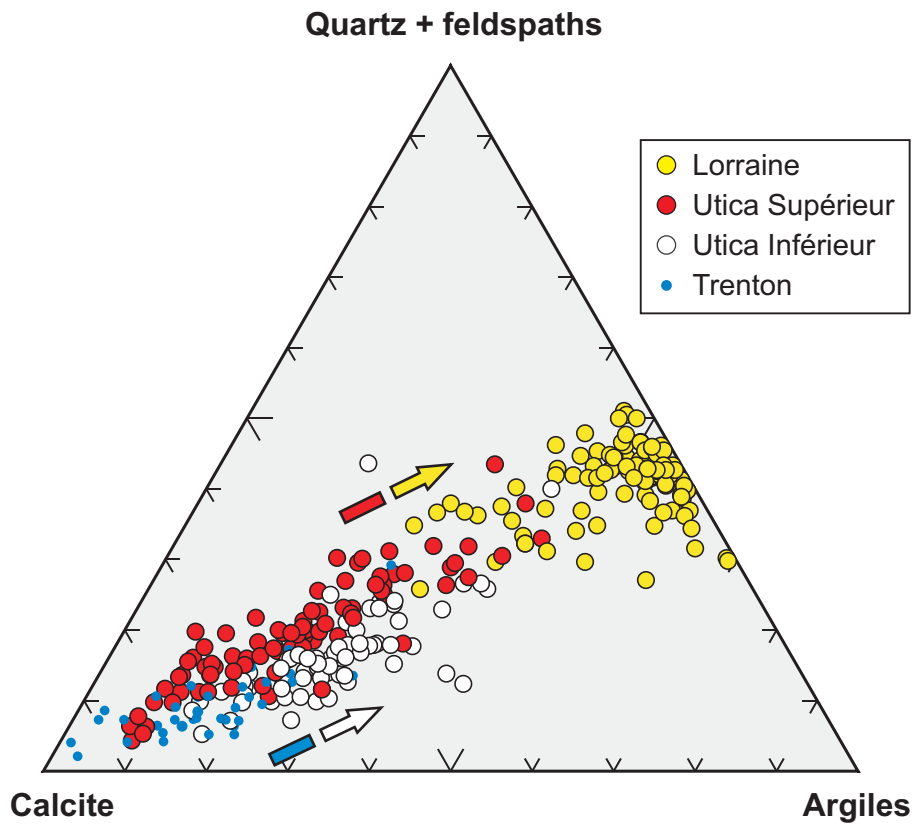


FIGURE 46 - Diagramme ternaire de quartz+feldspaths vs calcite vs argiles.

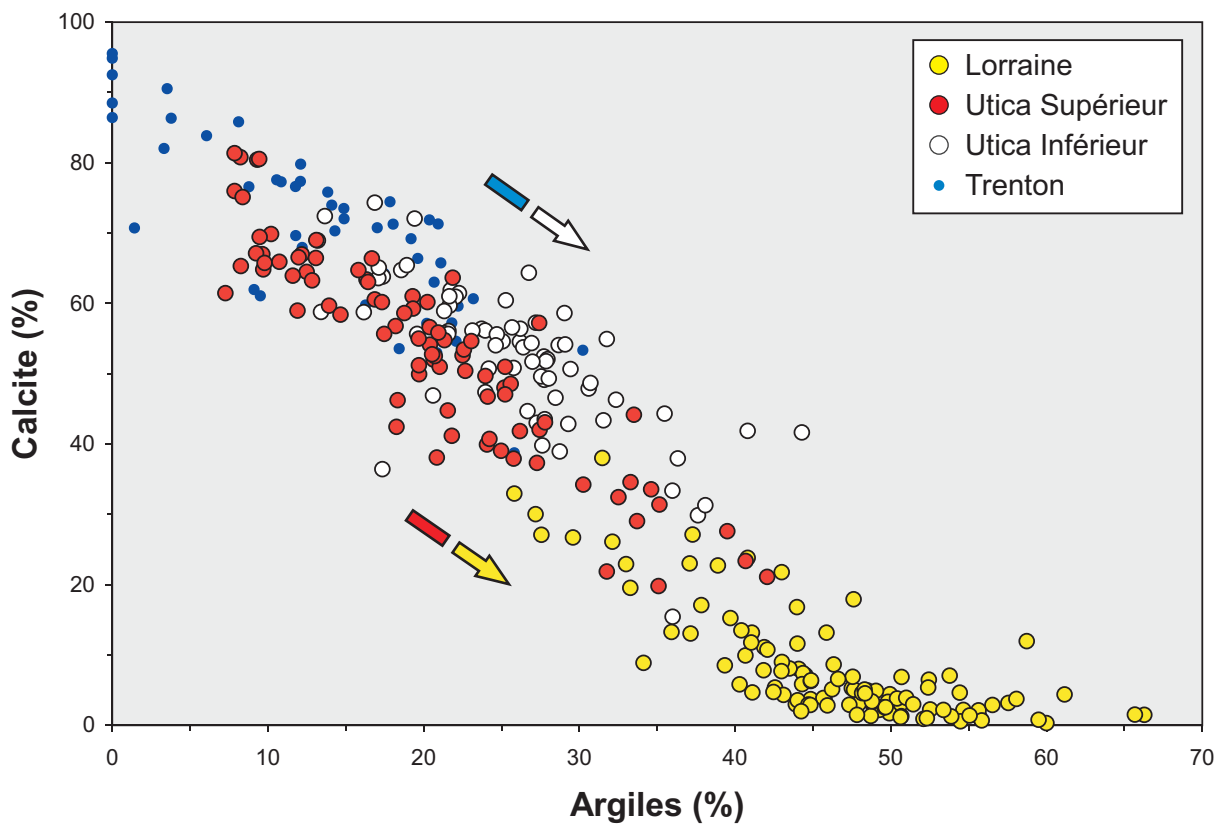


FIGURE 47 - Diagramme binaire de calcite vs argiles.

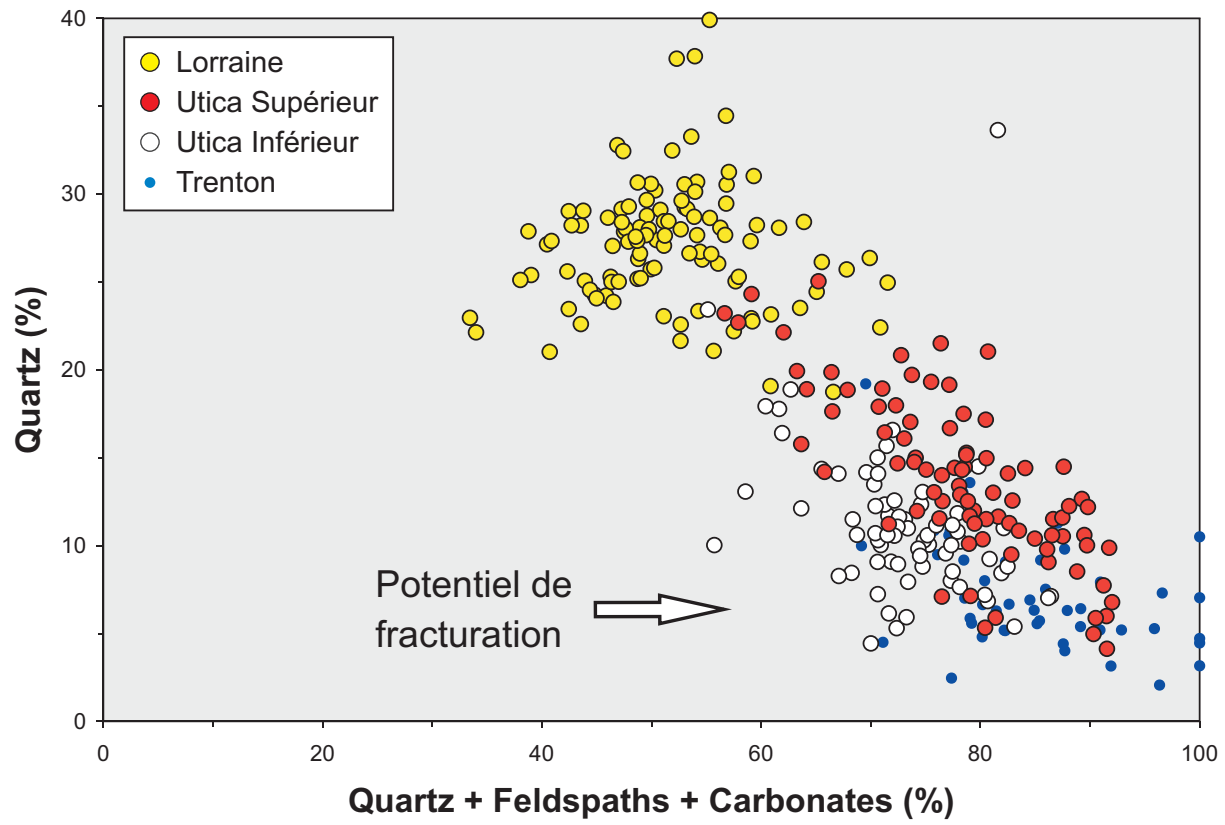


FIGURE 48 - Diagramme binaire de quartz vs quartz+feldspaths+carbonates.

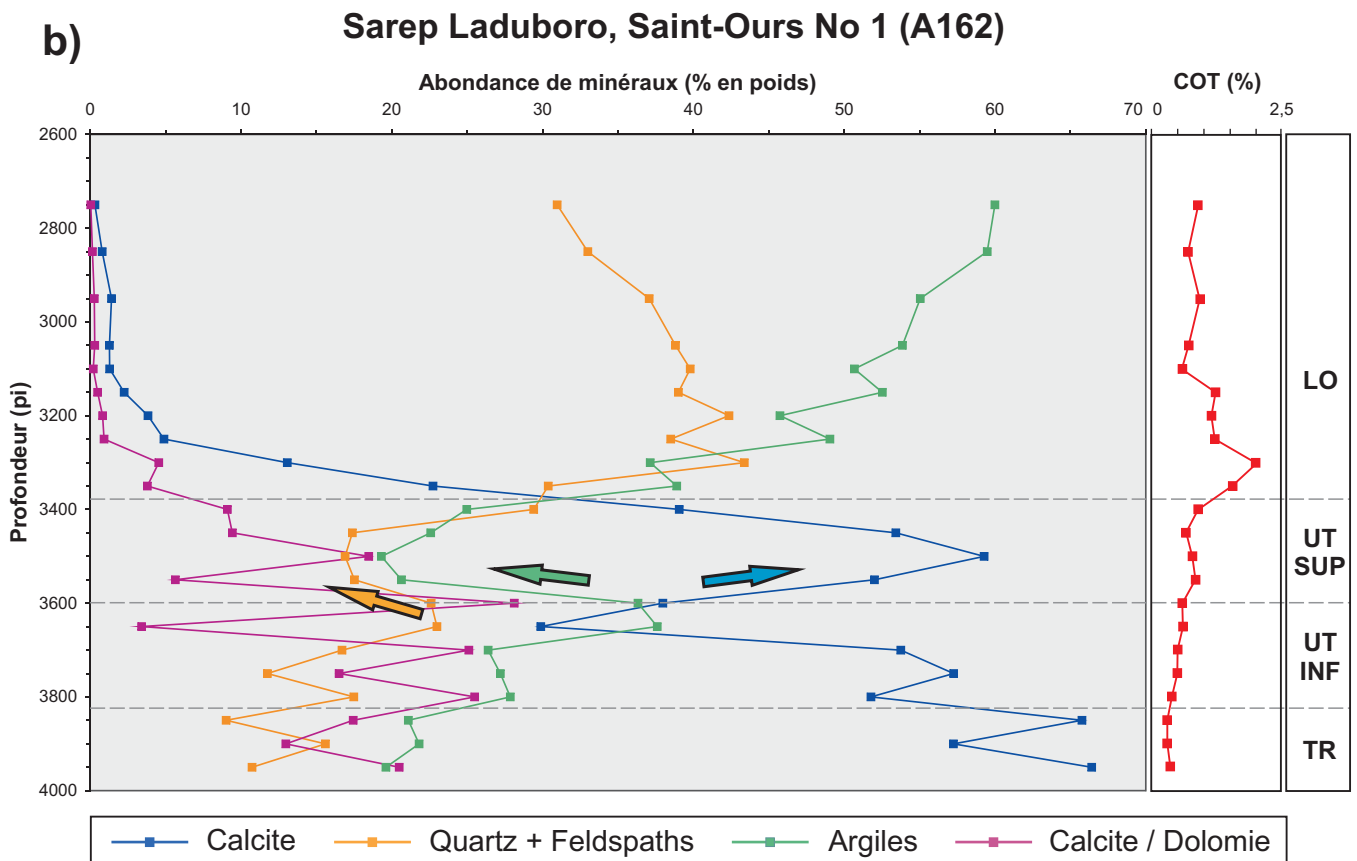
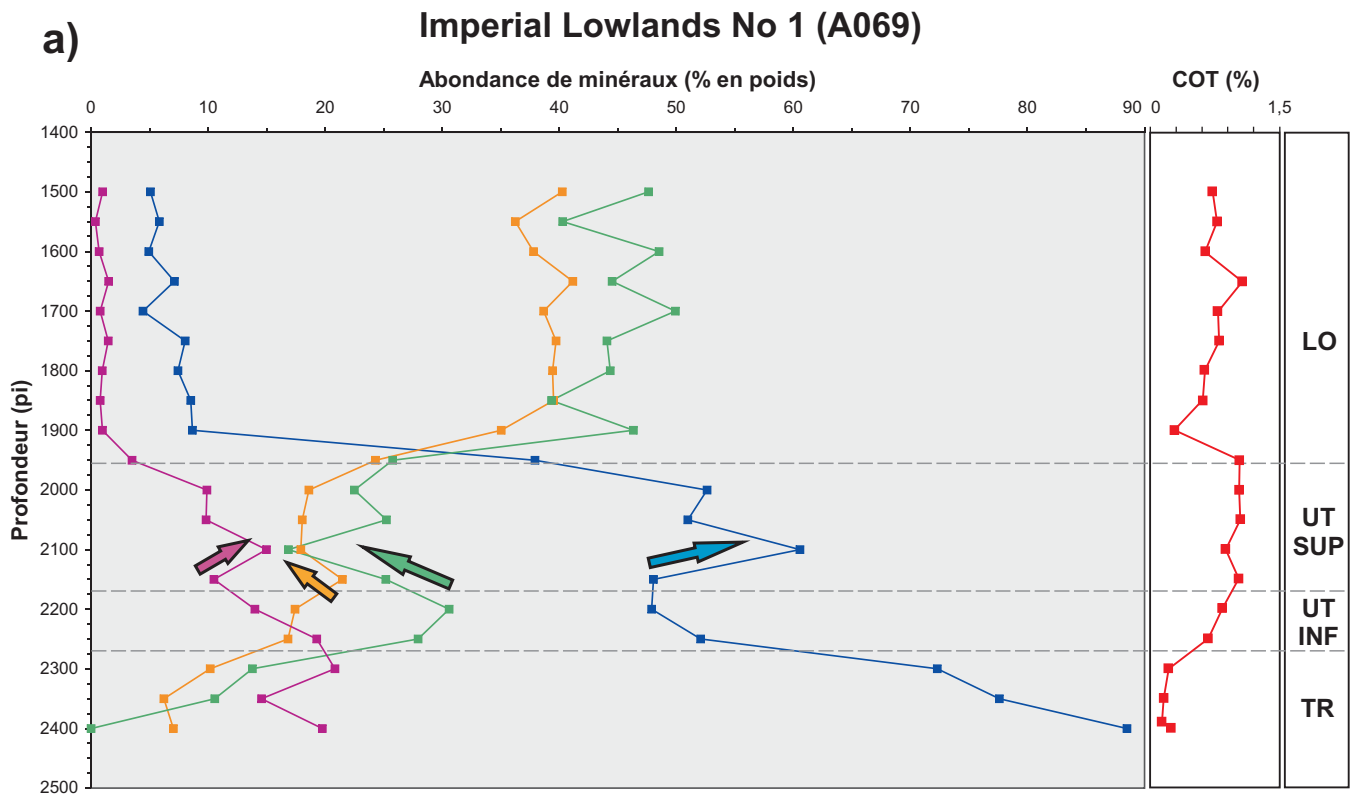


FIGURE 49 - Variation verticale de la composition minéralogique : a) puits A069; et b) puits A162.

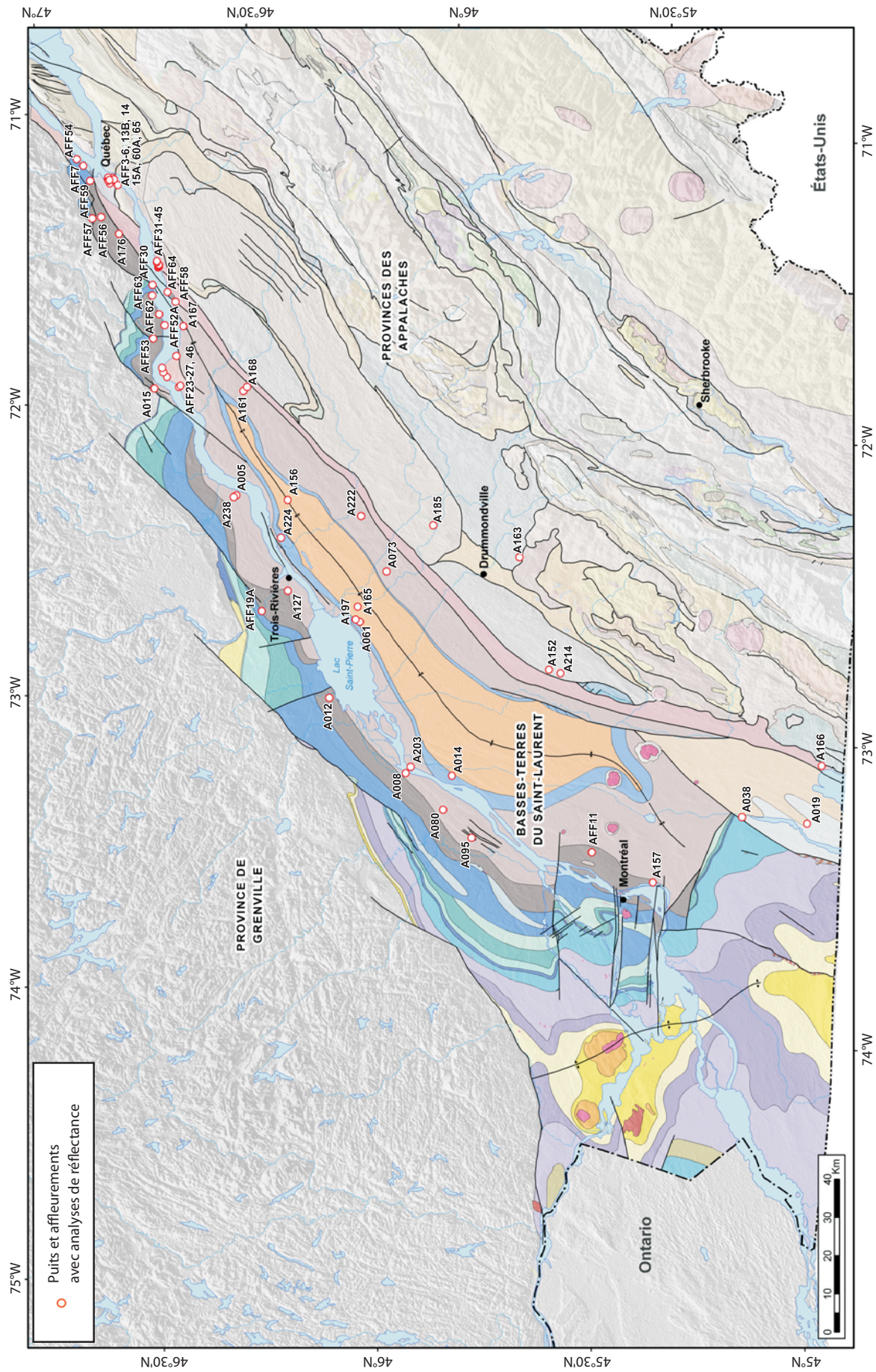


FIGURE 50 - Carte de localisation des puits et affluements avec données de réflectance de la vitrine.

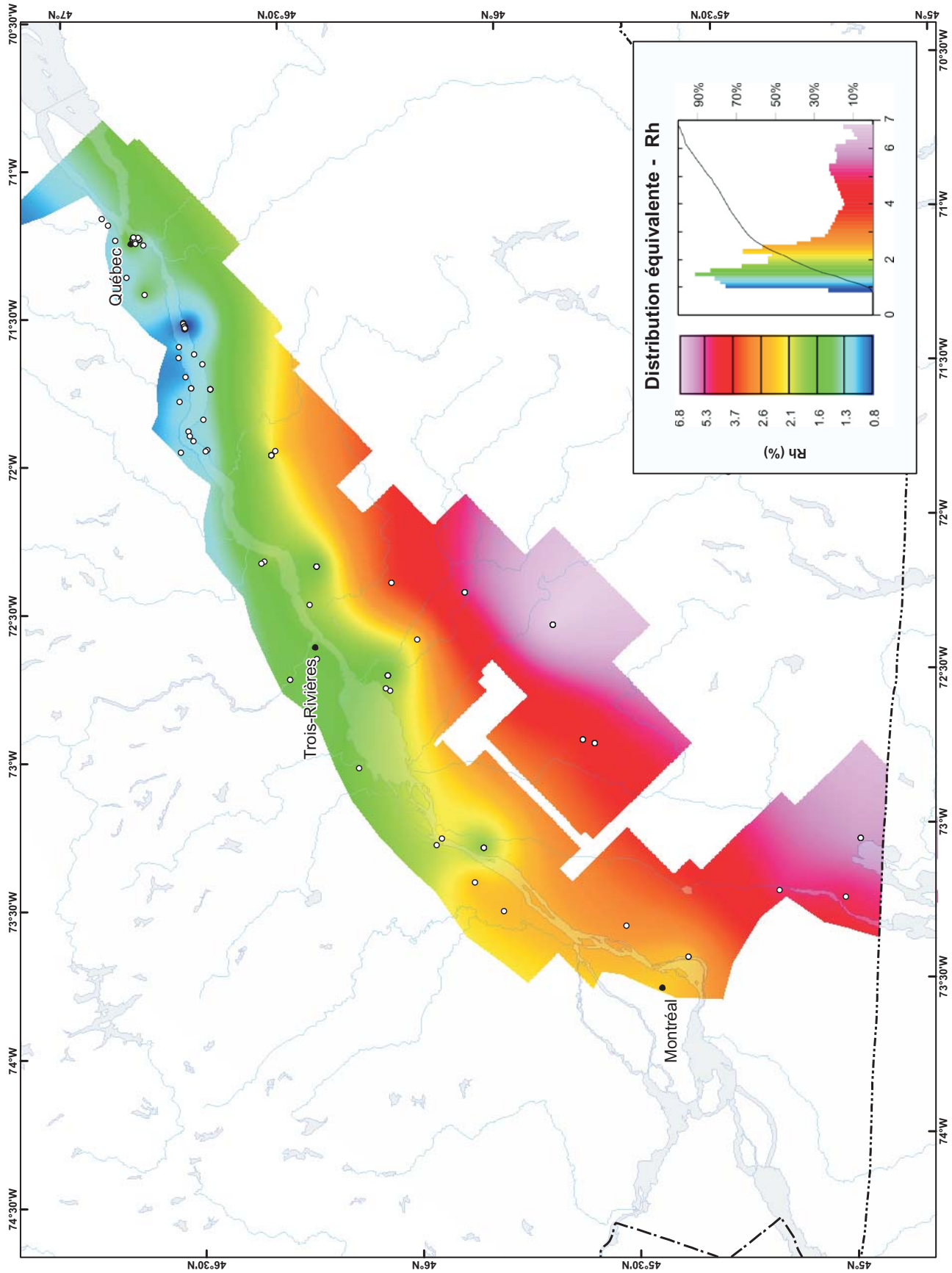


FIGURE 51 - Carte isocontour de la réflectance de la vitrinite (Rh) – Groupe de Lorraine, Shale d'Utica, Groupe de Sainte-Rosalie et Formation de la Ville de Québec.

ANNEXES 1 À 4

ANNEXE 1 - Liste des puits avec diagraphies et log composite

No du puits	Nom du puits	Latitude			Longitude		
		Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
A004	Bald Mountain, Batiscan No 2	46	28	13,1	-72	15	43,4
A008	Bald Mountain, Berthierville No 1	46	2	29,1	-73	10	48,5
A013	Bald Mountain, Louiseville No 2	46	13	55,1	-72	56	30,4
A035	Laduboro Verchères Saint-Pierre No 3, Yamachiche	46	17	1,1	-72	49	30,4
A065	Laduboro No 5, La Baie Yamaska	46	10	14,1	-72	40	29
A069	Impérial Lowlands No 1	46	32	57,1	-71	59	55,4
A070	Impérial Lowlands No 2	46	17	42,1	-72	33	16,4
A071	Impérial Lowlands No 3	46	15	30,1	-72	26	50,4
A072	Impérial Lowlands No 4, Lotbinière	46	36	59,1	-71	52	2,4
A075	Impérial Lowlands, Verchères No 1	45	44	20,1	-73	22	5,5
A084	Okalta Oilmont No 1	45	41	0,1	-73	34	0,5
A086	Oil Selections No 2	45	47	18,1	-73	31	51,5
A088	Oil Selections No 6	45	50	4,1	-73	24	36,5
A126	Laduboro QIG et al No 1, Yamaska	46	9	14,1	-72	40	38,6
A142	Québec Natural Gas No 2, L'Épiphanie	45	50	20,1	-73	29	36,5
A148	Québec Natural Gas No 3, Saint-Gérard-Magella	45	54	9,1	-73	26	25,5
A151	Louvicourt - Métal l'Assomption No 8	45	52	46,1	-73	22	43,5
A152	Shell, Saint-Simon No 1	45	43	13,7	-72	48	7,2
A156	Husky, Gentilly No 1	46	21	22,7	-72	16	44,5
A157	Canac B.P. Sisque, Brossard No 1	45	26	40,0	-73	29	26,1
A158	Husky Bruyères No 1	46	19	22,1	-72	29	49,2
A159	SOQUIP Laduboro, Baieville No 1	46	7	43,1	-72	45	14,4
A160	CPOG SOQUIP Sisque, Île d'Orléans No 1	46	58	29,1	-70	55	23,3
A161	Shell, Sainte-Françoise-Romaine No 1	46	28	25,1	-71	54	55,4
A162	Sarep Laduboro, Saint-Ours No 1	45	52	45,1	-73	5	28,5
A165	C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1 et No 1a	46	10	42,1	-72	37	39,4
A166	Shell, Saint-André ouest No 1	45	4	0,1	-73	3	58,5
A167	SOQUIP Shell, Sainte-Croix No 1	46	37	17,6	-71	42	14,5
A168	SOQUIP Shell Villeroy No 1	46	27	55,1	-71	54	4,4
A171	SOQUIP et al., Val-Alain No 1	46	26	16,1	-71	41	50,0
A172	C.S. SOQUIP S.W., Maskinongé No 1	46	10	55,5	-73	2	30,4
A175	SOQUIP et al., Les Saules No 1	46	49	5,1	-71	20	7,3
A176	SOQUIP et al., Ancienne-Lorette No 1	46	46	58,7	-71	23	50,5
A179	SOQUIP et al., Saint-Hugues No 1	45	45	35,7	-72	48	12,1
A181	SOQUIP et al., Sainte-Hélène No 1	45	44	12,2	-72	46	22,7
A184	SOQUIP et al., Lyster No 1	46	24	4,1	-71	39	46,3
A185	SOQUIP Dome et al., Notre-Dame-du-Bon-Conseil No 1	46	0	41,1	-72	20	18,4
A186	SOQUIP, Nicolet No 1	46	11	6,1	-72	38	38,4
A187	SOQUIP et al., Du Chêne No 1 (Villeroy)	46	25	23,1	-71	50	26,4
A188	SOQUIP, Nicolet No 2	46	12	31,1	-72	36	33,4
A189	SOQUIP, Saint-Thomas-d'Aquin No 1	45	41	53,4	-72	59	5,3
A190	SOQUIP, Sainte-Françoise-Romaine No 1	46	27	4,1	-71	54	52,4
A192	SOQUIP, Sainte-Croix No 1 Lotbinière	46	37	38,1	-71	46	1,4
A194	SOQUIP, Pintendre No 1 Lévis	46	46	48,9	-71	6	29,1
A196	SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 1	46	21	59,6	-72	24	40,5
A197	Texaco SOQUIP, Baieville No 1 Yamaska	46	10	52,9	-72	40	17,0
A198	SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 2	46	23	21,0	-72	23	19,9
A199	Texaco, Yamaska-Est No 1	46	2	38,1	-72	55	44,4
A206	SNC Soligaz, Montréal-Est No 3	45	36	54,4	-73	30	32,8
A214	BVI et al., Saint-Simon No 1	45	41	33,3	-72	48	41,8
A222	BVI et al., Saint-Wenceslas No 1	46	10	54,7	-72	19	12,4
A223	Intermont, Bécancour No 1	46	22	14	-72	23	58
A228	SOQUIP et al., Saint-Flavien No 13	46	30	44,1	-71	34	4,3
A229	Genoil et al., Saint-Léonard No 1	46	4	32,8	-72	23	13,9
A238	Junex, Batiscan No 1	46	29	1,3	-72	16	43,7
A239	Junex, Bécancour No 3	46	22	55,2	-72	24	34,0
A241	Junex, Bécancour No 4	46	22	38,5	-72	24	54,8
A242	Junex, Bécancour No 5	46	23	17,1	-72	23	33,3
A246	Junex, Bécancour No 6	46	23	28,4	-72	23	6
A247	Junex, Bécancour No 7	46	21	18,9	-72	25	33,3
A248	Talisman Energy, Saint-François-du-Lac No 1	46	5	29,2	-72	52	54,1
A250	Junex, Bécancour No 8	46	21	43,7	-72	25	39,5
A252	Talisman Energy, Gentilly No 1	46	23	40,9	-72	10	44,9

ANNEXE 2 - Liste des puits avec analyses géochimiques de la matière organique

No du puits	Nom du puits	Latitude			Longitude		
		Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
A005	Bald Mountain, Batiscan No 3	46	28	40,1	-72	16	20,4
A008	Bald Mountain, Berthierville No 1	46	2	29,1	-73	10	48,5
A009	Bald Mountain, Cap-Santé No 1	46	40	42,1	-71	47	1,4
A012	Bald Mountain, Louiseville No 1	46	13	55,1	-72	56	30,4
A013	Bald Mountain, Louiseville No 2	46	13	55,1	-72	56	30,4
A014	Bald Mountain, Saint-Roch No 1	45	55	58,1	-73	10	43,5
A015	Bald Mountain, Portneuf No 1	46	40	59,1	-71	55	17,4
A025	Canadian Seaboard, Saint-Grégoire No 1	46	16	13,1	-72	30	2,4
A026	Canadian Seaboard, Saint-Gérard No 1	45	59	42,1	-72	49	21,4
A032	Cartier Natural Gas, Saint-Hubert No 1	45	30	47,1	-73	25	54,5
A034	Madeleine No 2	46	22	28,1	-72	29	57,4
A035	Laduboro Verchères Saint-Pierre No 3, Yamachiche	46	17	1,1	-72	49	30,4
A036	Coupal No 1	45	21	3,0	-73	22	0,3
A037	Nicolet No 1	46	14	39,3	-72	32	57,4
A038	Eastern Canada No 1	45	14	44,1	-73	15	10,5
A040	Eastern Canada No 3	45	7	43,1	-73	20	3,5
A042	Eastern Canada No 5	45	12	32,6	-73	6	36,5
A053	Lincoln No 1	45	29	35,1	-73	35	1,5
A056	Huttes militaires de Longueuil	45	32	38,1	-73	30	0,5
A058	Quonto International No 1, Mascouche	45	44	38,1	-73	35	3,5
A060	Canso Saint-Maurice, Pointe-du-Lac No 1b	46	17	18,3	-72	41	0,9
A061	Laduboro No 1, La Baie Yamaska	46	10	16,1	-72	40	41,4
A064	Laduboro No 4, La Baie Yamaska	46	8	7,1	-72	47	24,4
A069	Impérial Lowlands No 1	46	32	57,1	-71	59	55,4
A070	Impérial Lowlands No 2	46	17	42,1	-72	33	16,4
A071	Impérial Lowlands No 3	46	15	30,1	-72	26	50,4
A072	Impérial Lowlands No 4, Lotbinière	46	36	59,1	-71	52	2,4
A073	Impérial Lowlands No 6, Nicolet	46	6	54,1	-72	30	11,4
A074	Impérial Lowlands Seaway No 1, Champlain	46	26	11,1	-72	24	20,4
A075	Impérial Lowlands, Verchères No 1	45	44	20,1	-73	22	5,5
A077	Lozo and Joseph No 2	45	11	52,1	-73	16	4,5
A080	Mohr No 1	45	56	52,1	-73	17	41,5
A084	Okalta Oilmont No 1	45	41	0,1	-73	34	0,5
A086	Oil Selections No 2	45	47	18,1	-73	31	51,5
A088	Oil Selections No 6	45	50	4,1	-73	24	36,5
A095	Oil Selections No 21	45	52	35,1	-73	22	58,5
A105	Québec Fuel No 2	45	52	28,1	-73	11	18,5
A109	Richelieu Gas, Saint-Denis No 2	45	44	53,1	-73	8	20,5
A117	Seaway Almega No 9, Saint-Maurice	46	28	9,1	-72	31	43,4
A120	Senigon No 1	45	5	33,1	-73	15	38,5
A126	Laduboro QIG et al No 1, Yamaska	46	9	14,1	-72	40	38,6
A127	Laduboro Bald Mountain Intercity No 1, Trois-Rivières	46	20	39,1	-72	35	13,4
A131	Verchères No 1, Louiseville	46	14	42,0	-72	57	46,2
A142	Québec Natural Gas No 2, L'Épiphanie	45	50	20,1	-73	29	36,5
A148	Québec Natural Gas No 3, Saint-Gérard-Magella	45	54	9,1	-73	26	25,5
A151	Louvicourt - Métal l'Assomption No 8	45	52	46,1	-73	22	43,5
A152	Shell, Saint-Simon No 1	45	43	13,7	-72	48	7,2
A153	Laduboro No 6, La Baie Yamaska	46	7	18,1	-72	43	59,4
A156	Husky, Gentilly No 1	46	21	22,7	-72	16	44,5
A157	Canac B.P. Sisque, Brossard No 1	45	26	40,0	-73	29	26,1

ANNEXE 2 - Liste des puits avec analyses géochimiques de la matière organique (suite et fin)

No du puits	Nom du puits	Latitude			Longitude		
		Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
A158	Husky Bruyères No 1	46	19	22,1	-72	29	49,2
A159	SOQUIP Laduboro, Baieville No 1	46	7	43,1	-72	45	14,4
A160	CPOG SOQUIP Sisque, Île d'Orléans No 1	46	58	29,1	-70	55	23,3
A162	Sarep Laduboro, Saint-Ours No 1	45	52	45,1	-73	5	28,5
A163	Shell, Wickham No 1	45	48	16,8	-72	25	47,2
A165	C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1 et No 1a	46	10	42,1	-72	37	39,4
A166	Shell, Saint-Armand ouest No 1	45	4	0,1	-73	3	58,5
A167	SOQUIP Shell, Sainte-Croix No 1	46	37	17,6	-71	42	14,5
A171	SOQUIP et al., Val-Alain No 1	46	26	16,1	-71	41	50,0
A172	C.S. SOQUIP S.W., Maskinongé No 1	46	10	55,5	-73	2	30,4
A173	SOQUIP et al., Villeroi No 2	46	29	47,0	-71	51	22,2
A175	SOQUIP et al., Les Saules No 1	46	49	5,1	-71	20	7,3
A176	SOQUIP et al., Ancienne-Lorette No 1	46	46	58,7	-71	23	50,5
A179	SOQUIP et al., Saint-Hugues No 1	45	45	35,7	-72	48	12,1
A181	SOQUIP et al., Sainte-Hélène No 1	45	44	12,2	-72	46	22,7
A184	SOQUIP et al., Lyster No 1	46	24	4,1	-71	39	46,3
A185	SOQUIP Dome et al., Notre-Dame-du-Bon-Conseil No 1	46	0	41,1	-72	20	18,4
A187	SOQUIP et al., Du Chêne No 1 (Villeroi)	46	25	23,1	-71	50	26,4
A189	SOQUIP, Saint-Thomas-d'Aquin No 1	45	41	53,4	-72	59	5,3
A190	SOQUIP, Sainte-Françoise-Romaine No 1	46	27	4,1	-71	54	52,4
A192	SOQUIP, Sainte-Croix No 1 Lotbinière	46	37	38,1	-71	46	1,4
A194	SOQUIP, Pintendre No 1 Lévis	46	46	48,9	-71	6	29,1
A197	Texaco SOQUIP, Baieville No 1 Yamaska	46	10	52,9	-72	40	17,0
A198	SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 2	46	23	21,0	-72	23	19,9
A199	Texaco, Yamaska-Est No 1	46	2	38,1	-72	55	44,4
A203	Tioxide, Tracy No 1	46	1	50,5	-73	9	26,8
A206	SNC Soligaz, Montréal-Est No 3	45	36	54,4	-73	30	32,8
A214	BVI et al., Saint-Simon No 1	45	41	33,3	-72	48	41,8
A222	BVI et al., Saint-Wenceslas No 1	46	10	54,7	-72	19	12,4
A224	Intermont, Bécancour No 2	46	22	3,0	-72	24	29,0
A228	SOQUIP et al., Saint-Flavien No 13	46	30	44,1	-71	34	4,3
A229	Genoil et al., Saint-Léonard No 1	46	4	32,8	-72	23	13,9
A238	Junex, Batiscan No 1	46	29	1,3	-72	16	43,7
A241	Junex, Bécancour No 4	46	22	38,5	-72	24	54,8
A247	Junex, Bécancour No 7	46	21	18,9	-72	25	33,3
A248	Talisman Energy, Saint-François-du-Lac No 1	46	5	29,2	-72	52	54,1
A252	Talisman Energy, Gentilly No 1	46	23	40,9	-72	10	44,9
AZ08	Beloeil	45	34	0,1	-73	11	58,5

ANNEXE 3 - Liste des puits avec analyses minéralogiques

No du puits	Nom du puits	Latitude			Longitude		
		Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
A038	Eastern Canada No 1	45	14	44,1	-73	15	10,5
A069	Impérial Lowlands No 1	46	32	57,1	-71	59	55,4
A075	Impérial Lowlands, Verchères No 1	45	44	20,1	-73	22	5,5
A120	Senigon No 1	45	5	33,1	-73	15	38,5
A151	Louvicourt - Métal l'Assomption No 8	45	52	46,1	-73	22	43,5
A157	Canac B.P. Sisque, Brossard No 1	45	26	40,0	-73	29	26,1
A162	Sarep Laduboro, Saint-Ours No 1	45	52	45,1	-73	5	28,5
A165	C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1 et No 1a	46	10	42,1	-72	37	39,4
A167	SOQUIP Shell, Sainte-Croix No 1	46	37	17,6	-71	42	14,5
A176	SOQUIP et al., Ancienne-Lorette No 1	46	46	58,7	-71	23	50,5
A185	SOQUIP Dome et al., Notre-Dame-du-Bon-Conseil No 1	46	0	41,1	-72	20	18,4
A189	SOQUIP, Saint-Thomas-d'Aquin No 1	45	41	53,4	-72	59	5,3
A190	SOQUIP, Sainte-Françoise-Romaine No 1	46	27	4,1	-71	54	52,4
A197	Texaco SOQUIP, Baieville No 1 Yamaska	46	10	52,9	-72	40	17,0
A199	Texaco, Yamaska-Est No 1	46	2	38,1	-72	55	44,4
A238	Junex, Batiscan No 1	46	29	1,3	-72	16	43,7
A241	Junex, Bécancour No 4	46	22	38,5	-72	24	54,8
A248	Talisman Energy, Saint-François-du-Lac No 1	46	5	29,2	-72	52	54,1

ANNEXE 4 - Liste des puits et affleurements avec analyses de réflectance de la vitrinite

No du puits ou affleur.	Nom du puits ou affleurement	Latitude			Longitude		
		Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
A005	Bald Mountain, Batiscan No 3	46	28	40,1	-72	16	20,4
A008	Bald Mountain, Berthierville No 1	46	2	29,1	-73	10	48,5
A012	Bald Mountain, Louiseville No 1	46	13	55,1	-72	56	30,4
A014	Bald Mountain, Saint-Roch No 1	45	55	58,1	-73	10	43,5
A015	Bald Mountain, Portneuf No 1	46	40	59,1	-71	55	17,4
A038	Eastern Canada No 1	45	14	44,1	-73	15	10,5
A061	Laduboro No 1, La Baie Yamaska	46	10	16,1	-72	40	41,4
A073	Impérial Lowlands No 6, Nicolet	46	6	54,1	-72	30	11,4
A080	Mohr No 1	45	56	52,1	-73	17	41,5
A095	Oil Selections No 21	45	52	35,1	-73	22	58,5
A120	Senigon No 1	45	5	33,1	-73	15	38,5
A127	Laduboro Bald Mountain Intercity No 1, Trois-Rivières	46	20	39,1	-72	35	13,4
A152	Shell, Saint-Simon No 1	45	43	13,7	-72	48	7,2
A156	Husky, Gentilly No 1	46	21	22,7	-72	16	44,5
A157	Canac B.P. Sisque, Brossard No 1	45	26	40,0	-73	29	26,1
A161	Shell, Sainte-Françoise-Romaine No 1	46	28	25,1	-71	54	55,4
A163	Shell, Wickham No 1	45	48	16,8	-72	25	47,2
A165	C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1 et No 1a	46	10	42,1	-72	37	39,4
A166	Shell, Saint-Armand ouest No 1	45	4	0,1	-73	3	58,5
A167	SOQUIP Shell, Sainte-Croix No 1	46	37	17,6	-71	42	14,5
A168	SOQUIP Shell Villeroy No 1	46	27	55,1	-71	54	4,4
A176	SOQUIP et al., Ancienne-Lorette No 1	46	46	58,7	-71	23	50,5
A185	SOQUIP Dome et al., Notre-Dame-du-Bon-Conseil No 1	46	0	41,1	-72	20	18,4
A197	Texaco SOQUIP, Baieville No 1 Yamaska	46	10	52,9	-72	40	17,0
A203	Tioxide, Tracy No 1	46	1	50,5	-73	9	26,8
A214	BVI et al., Saint-Simon No 1	45	41	33,3	-72	48	41,8
A222	BVI et al., Saint-Wenceslas No 1	46	10	54,7	-72	19	12,4
A224	Intermont, Bécancour No 2	46	22	3,0	-72	24	29,0
A238	Junex, Batiscan No 1	46	29	1,3	-72	16	43,7
A241	Junex, Bécancour No 4	46	22	38,5	-72	24	54,8
A247	Junex, Bécancour No 7	46	21	18,9	-72	25	33,3
A248	Talisman Energy, Saint-François-du-Lac No 1	46	5	29,2	-72	52	54,1
A252	Talisman Energy, Gentilly No 1	46	23	40,9	-72	10	44,9
AZ08	Beloeil	45	34	0,1	-73	11	58,5
AFF3	Boul. Champlain, Québec	46	48	12,3	-71	12	21,2
AFF4	Boul. Champlain, Québec	46	47	59,3	-71	12	47,3
AFF5	Boul. Champlain, Québec	46	48	0,1	-71	12	41,4
AFF6	Boul. Champlain, Québec	46	47	23,5	-71	13	49,6
AFF7	Boul. des Chutes, Québec	46	52	23,3	-71	10	7,1
AFF11	Carrière Landreville, Montréal	45	35	32,6	-73	24	13,8
AFF13A	Côte Badelard, Québec	46	48	31,7	-71	13	32,6
AFF13B	Côte Badelard, Québec	46	48	31,7	-71	13	32,6
AFF14	Côte Colonel d'Ambourget, Québec	46	48	50,5	-71	12	26,7
AFF15A	Côte Dinan-de l'Hopital, Québec	46	48	53,9	-71	12	38,6
AFF15B	Côte Dinan-de l'Hopital, Québec	46	48	53,9	-71	12	38,6
AFF15C	Côte Dinan-de l'Hopital, Québec	46	48	53,9	-71	12	38,6
AFF19A	Forges du St-Maurice, Trois-Rivières	46	24	11,4	-72	39	41,6
AFF19B	Forges du St-Maurice, Trois-Rivières	46	24	11,4	-72	39	41,6
AFF23	Pointe-au-Platon, Lotbinière	46	37	33,7	-71	54	46,9
AFF24	Pointe-au-Platon, Lotbinière	46	37	20,3	-71	54	28,3
AFF25	Pointe-au-Platon, Lotbinière	46	39	18,4	-71	52	50,2

ANNEXE 4 - Liste des puits et affleurements avec analyses de réflectance de la vitrinite (suite et fin)

No du puits ou affleur.	Nom du puits ou affleurement	Latitude			Longitude		
		Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
AFF26	Pointe-au-Platon, Lotbinière	46	39	50,0	-71	51	53,0
AFF27	Pointe-au-Platon, Lotbinière	46	40	2,7	-71	50	58,7
AFF30	Plage de Neuville	46	41	54,5	-71	34	3,6
AFF31	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	8,2	-71	30	20,5
AFF32	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	8,7	-71	30	19,8
AFF33	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	11,2	-71	30	15,8
AFF34	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	11,5	-71	30	12,2
AFF35A	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	11,3	-71	30	10,7
AFF35B	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	11,3	-71	30	10,7
AFF36	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	13,1	-71	30	21,7
AFF37	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	13,9	-71	30	24,3
AFF38	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	14,0	-71	30	16,9
AFF39	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	14,7	-71	30	4,2
AFF40	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	14,8	-71	30	1,1
AFF41A	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	16,2	-71	29	52,4
AFF41B	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	16,2	-71	29	52,4
AFF42	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	11,3	-71	29	50,6
AFF43	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	8,8	-71	29	51,2
AFF44	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	27,1	-71	29	23,1
AFF45	Pointe Aubin, Saint-Nicolas	46	41	27,3	-71	29	8,4
AFF46	Pointe Platon, Sainte-Croix	46	38	5,6	-71	48	25,3
AFF52A	Quai Des Ecureuils	46	39	56,6	-71	42	13,1
AFF52B	Quai Des Ecureuils	46	39	56,6	-71	42	13,1
AFF53	Rivière Jacques-Cartier, Autoroute 40, affl nord	46	41	29,1	-71	45	3,9
AFF54	Chûtes Montmorency	46	53	19,9	-71	8	49,1
AFF56	Rivière St-Charles, Boul l'Ormiere, Québec	46	49	33,9	-71	20	32,3
AFF57	Rivière St-Charles, Wendake	46	50	48,6	-71	20	54,5
AFF58	Route 132, Les Fonds	46	38	33,7	-71	37	19,2
AFF59	Autoroute de la Capitale, Ave Bourg Royal, Québec	46	51	19,9	-71	13	9,7
AFF60A	Rue Sous-le-Cap, Québec	46	48	48,6	-71	12	19,6
AFF60B	Rue Sous-le-Cap, Québec	46	48	48,6	-71	12	19,6
AFF61	Rue St-Vallier, Québec	46	48	45,2	-71	12	59,9
AFF62	Ruisseau de la Crémierie, Les Écureuils-Est	46	40	48,3	-71	40	1,1
AFF63	Ruisseau Pointe Delisle, Neuville	46	41	52,9	-71	36	13,0
AFF64	Saint-Antoine de Tilly	46	39	45,7	-71	35	23,1
AFF65	Stationnement Place d'Youville, Québec	46	48	35,0	-71	12	49,7



Ressources naturelles
et Faune

Québec 