

MB 2011-10

SYNTHESE STRATIGRAPHIQUE, CARTOGRAPHIE DES DEPOTS QUATERNAIRES ET MODELE
HYDROSTRATIGRAPHIQUE REGIONAL, SECTEUR DE BECANCOUR, QUEBEC

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Synthèse stratigraphique, cartographie des dépôts quaternaires et modèle hydrostratigraphique régional, secteur de Bécancour, Québec

Rapport final



Pierre-Marc Godbout, Michel Lamothe, Viorel Horoi et Olivier Caron
Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère
Université du Québec à Montréal

Rapport présenté à Jean-Yves L'Abbé
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

28 octobre 2011

GM 65969

UQÀM

Table des matières

Table des matières.....	i
Liste des figures.....	ii
Introduction.....	3
1. Description du bassin versant de la rivière Bécancour	6
1.1 Géographie et hydrographie.....	6
1.2 Contexte géologique du soubassement rocheux	8
2. La géologie du Quaternaire.....	11
3. Les unités lithostratigraphiques cartographiées de la région de Bécancour	16
3.1 Le roc (Rs, Rd).....	16
3.2 Le Quaternaire Ancien (Q)	17
3.3 Les sédiments glaciaires (Tf, Trm, Tr, Tc, Tm).....	18
3.4 Les sédiments fluvioglaciaires (Gx, G)	20
3.5 Les sédiments glaciolacustres (LGd, LGb, LGa).....	22
3.6 Les sédiments glaciomarins (MGd, MGb, MGa)	23
3.7 Les sédiments lacustres (Ld, Lb)	25
3.8 Les sédiments alluviaux (Ap, Ac, At, Ax, A).....	25
3.9 Les sédiments éoliens (Ed)	26
3.10 Les sédiments organiques (Ot, O).....	27
3.11 Les dépôts de versant (Cg).....	27
4.0 Le modèle hydrostratigraphique	28
4.1 Méthodologie	28
4.2 Standardisation et interprétation des données.....	29
4.3 Modélisation	29
Conclusion	31
Références.....	32

Hors-texte

Carte géologique des formations superficielles – Bassin versant de la rivière Bécancour et zones limitrophes (échelle 1/100 000)

La photo en page couverture montre la falaise du Cap Lévrard, le long du Fleuve Saint-Laurent, localisée à environ 3 km en aval de Saint-Pierre les Becquets. Une bonne partie de la séquence de sédiments quaternaires anciens y affleure sous la cote de 40m asl.

Liste des figures

Figure 1. Localisation du secteur cartographié et synthèse bibliographique des travaux quaternaires dans la région du bassin versant de la rivière Bécancour, selon Lamothe et Allard (2009).....	4
Figure 2. Bassins versants en cours d'étude hydrogéologique (Lamothe et Allard, 2009). 7	
Figure 3. Modèle d'élévation numérique du secteur cartographié de la rivière Bécancour, Québec (Lamothe et Allard, 2009).	8
Figure 4. Affleurement de Lorraine, le long de la rivière Gentilly, 400 m en aval des chutes à Thibodeau dans le Parc de la rivière Gentilly.....	9
Figure 5. Géologie du substrat rocheux de la région du bassin versant de la rivière Bécancour, selon Globensky (1987).	10
Figure 6. Mosaïque cartographique de la géologie du Quaternaire de la région du bassin versant de la rivière Bécancour, de Lamothe et Allard (2009).	11
Figure 7. Distribution des forages SIH dans la région du bassin versant de la rivière Bécancour.	12
Figure 8. Coupe géologique quaternaire entre Gentilly et Deschaillons, le long de l'axe du Fleuve Saint-Laurent (Lamothe, 1989).	13
Figure 9. Superposition et corrélation stratigraphiques entre les unités lithostratigraphiques du Bouclier canadien, des Basses-Terres du Saint-Laurent et des Appalaches (Lamothe et al., 1992). L'hypothèse A est la plus plausible pour les Basses-Terres.	14
Figure 10. Sables fluviatiles des Vieilles-Forges, le long de la rivière Bécancour, 5 km en amont de sa confluence avec la rivière Blanche.	15
Figure 11. Roche moutonnée montrant un écoulement vers N270, quelques km au sud-ouest de Thedford Mines.	17
Figure 12. Séquence montrant la superposition du Till de Gentilly sur les Sables des Vieilles-Forges, le long de la rivière Bécancour à Saint-Sylvère.	18
Figure 13. Argiles de la Mer de Champlain reposant directement sur le Till de Gentilly, le long de la rivière Bécancour, près de la réserve indienne de Wölinak. La tête du pic marque le contact entre les deux unités.	19
Figure 14. Sédiments fluvioglaciaires (Gx) formant une moraine mineure à environ 7 km au nord-est de Plessiville.	21
Figure 15. Amas de sédiments fluvioglaciaires non différencié (G) situé à environ 6,5 km au sud de Saint-Ferdinand (anciennement Bernierville) le long du ruisseau Beaudoin.	22
Figure 16. Épandage deltaïque de la Mer de Champlain.	24
Figure 17. Sables et graviers stratifiés formant un ancien littoral de la Mer de Champlain	24
Figure 18. Argile litée et fossilifère de la Mer de Champlain et sable de régression sus-jacent, le long de la rivière Bécancour à Saint-Sylvère.	25

Introduction

Le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) a initié une série de projets dont l'objectif ultime est une meilleure connaissance de la dynamique des eaux souterraines à l'échelle des principaux bassins versants du Québec. Les rivières situées sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent ont été ciblées comme prioritaires, et la rivière Bécancour fait ainsi partie des bassins versants sélectionnés pour une étude hydrogéologique systématique. En amont des projets hydrogéologiques, il est essentiel de compiler ou même refaire le levé des cartes géologiques des dépôts quaternaires et d'initier une étude exhaustive de la distribution en sous-surface des dépôts meubles à l'échelle du bassin versant. Un modèle tri-dimensionnel hydrostratigraphique représente ainsi un outil essentiel pour la modélisation hydrogéologique. Les programmes modernes de cartographie quaternaire directement appliqués à l'hydrogéologie ont été initiés et supervisés par le Centre Géoscientifique de Québec (CGQ) et par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) sous la supervision de Michel Parent et Yves Michaud. Ces méthodes ont été améliorées dans le cadre des programmes subséquents, en particulier par Martin Ross (2005; projet AFSOQ), dans la région de Mirabel par l'utilisation de logiciels plus performants (e.g. gOcad®). Depuis le début des années 2000, une équipe du département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQÀM dirigée par Michel Lamothe s'est impliquée dans plusieurs projets hydrogéologiques, tels ceux des bassins des rivières Châteauguay, Chaudière et Saint-François où ont été réalisées des cartes modernes de synthèse de la géologie du Quaternaire.

Ce document présente la version finale d'un rapport couvrant la géologie, la stratigraphie et la cartographie des dépôts quaternaires du bassin versant de la rivière Bécancour, incluant des portions de bassins versants avoisinants (Fig. 1).

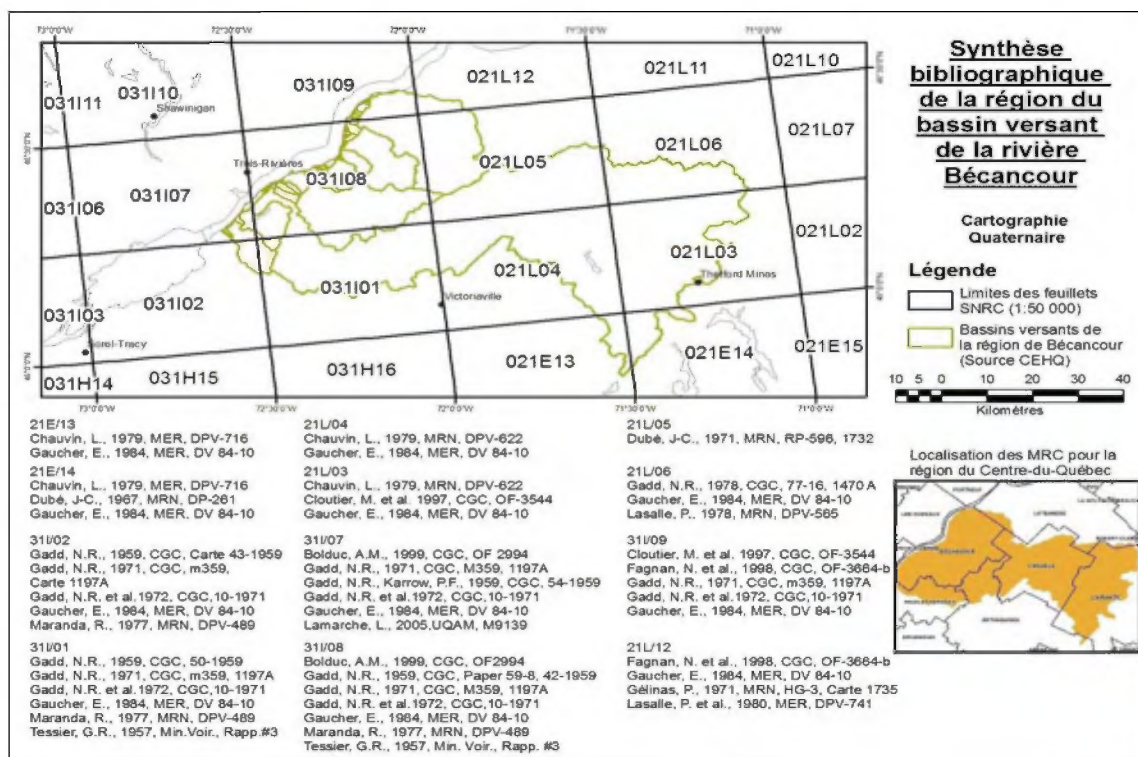


Figure 1. Localisation du secteur cartographié et synthèse bibliographique des travaux quaternaires dans la région du bassin versant de la rivière Bécancour, selon Lamothe et Allard (2009).

Historique des travaux antérieurs

La région a été investiguée depuis plus de 50 ans dans le cadre des premiers projets d'étude des dépôts quaternaires en contexte d'eaux souterraines par Nelson R. Gadd de la Commission géologique du Canada. Cet auteur a poursuivi cette recherche, dans le cadre d'un doctorat (Gadd, 1955) et une synthèse remarquable a été publiée par le même auteur en 1971, travail qui demeure aujourd'hui une référence en géologie du Quaternaire. En 1985, Michel Lamothe a réalisé une thèse de doctorat portant sur la stratigraphie et la géochronologie des sédiments quaternaires dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, plus spécifiquement dans les secteurs de Pierreville et de St-Pierre les Becquets. L'apport principal de cette étude est un nouveau cadre stratigraphique complexe et plus exhaustif des séquences quaternaires des Basses-Terres du Saint-Laurent (Lamothe, 1989).

Plusieurs géologues du MRN de l'époque ont également contribué à l'effort de stratigraphie quaternaire depuis lors, en particulier Rémy Maranda (1977), dans un rapport sur la géotechnique de la région de Bécancour, et Luc Chauvin (1979a, 1979b) qui a œuvré principalement dans les régions de Thetford Mines et d'Asbestos. Michel Parent (1987) a pour sa part réalisé une thèse de doctorat publiée en 1987 qui portait sur la stratigraphie des sédiments quaternaires de la région d'Asbestos-Valcourt. Sur la rive nord du Saint-Laurent, Karrow (1957) et Serge Occhietti (1980) ont également contribué à établir le cadre stratigraphique régional. Les travaux de ce dernier en collaboration (Bernier et Occhietti, 1990; Besré et Occhietti, 1990; Ferland et Occhietti, 1990a et 1990b, Occhietti et al., 1996) et de Martine Clet (Clet, 1989; Clet et Occhietti, 1996) ont permis de préciser le cadre stratigraphique qui prévaut encore aujourd'hui dans la vallée moyenne du Saint-Laurent. De plus, Hétu et al. (1995) ont également réalisé des travaux sur la stratigraphie le long de la rivière Bécancour, près de Saint-Sylvere.

Le secteur du bassin versant de la rivière Bécancour (ainsi que les petits bassins limitrophes) a fait l'objet de quelques programmes de cartographie quaternaire par la Commission géologique du Canada (CGC) et le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) du Québec (Fig. 1). La zone centrale (21L/04: Chauvin, 1979a; et 21L/05: Dubé, 1971) du bassin versant a fait l'objet d'études de cartographie quaternaire par des équipes du MRN tandis que les extrémités est (21L/03: Chauvin, 1979a; 21L/06: Gadd, 1978 et LaSalle, 1978), sud (21E/13: Chauvin, 1979b et 21E/14: Chauvin, 1979b et Dubé, 1967), ouest (31I/01, 31I/02, 31I/07 et 31I/08: Gadd, 1971) et nord (31I/09: Gadd, 1971; 21L12: Gélinas, 1971 et LaSalle et al., 1971) du bassin ont été cartographiées par des équipes de la CGC et du MRNF. Les cartes d'inventaires en granulats publiées par le MRN couvrent seulement les régions de Thetford Mines et de Trois-Rivières. Les cartes pédologiques publiées par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et les cartes de dépôts de surface publiées par la direction des inventaires forestiers du Québec couvrent l'ensemble du bassin versant. De plus, quelques études hydrogéologiques et géotechniques menées par la CGC et le MRNF contiennent des informations supplémentaires sur la géologie de surface de la région. Les premières études de la Commission géologique du Canada dans la région remontent à la

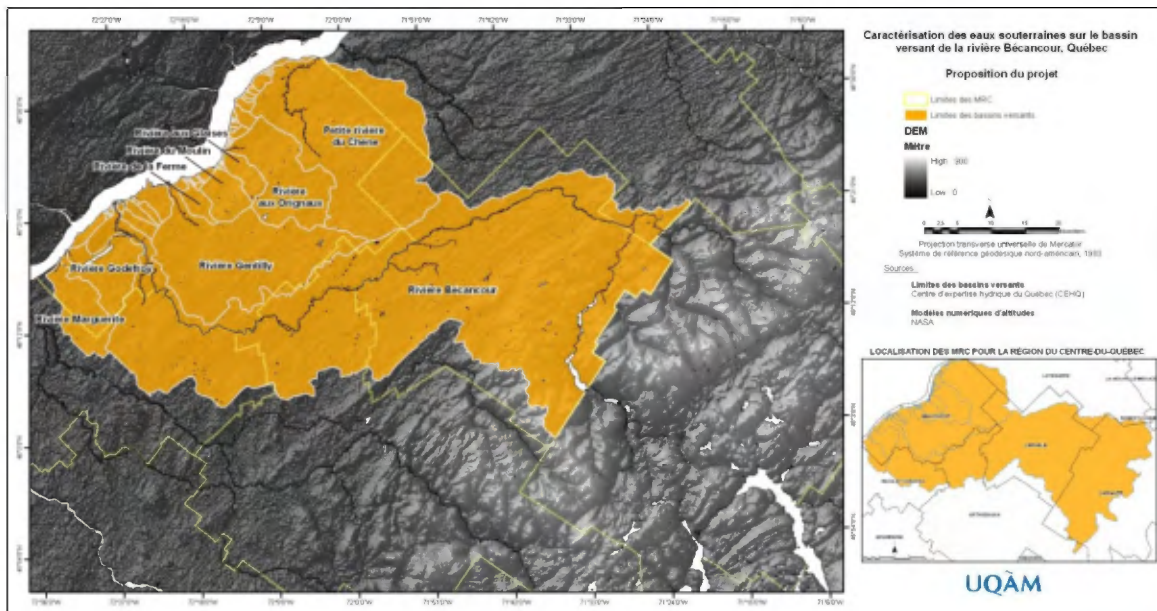
fin des années cinquante dans l'ouest du bassin versant. Ces premiers travaux systématiques ont été supervisés par Gadd (1960a, Carte 42-1959; 1960b, Carte 50-1959) et Gadd et Karrow (1960, Carte 54-1959). Ensuite, au début des années soixante-dix, Gadd, McDonald et Shilts (1972, carte 10-1971) ont publié une première synthèse sur la déglaciation du sud du Québec. Plus récemment, Cloutier, Parent et Bolduc (1997, Dossier 3544) ont travaillé sur la géologie des formations superficielles de la partie ouest du secteur étudié, dans la région de Saint-Marc-des-Carières, et Bolduc (1999, Dossier 2994) a cartographié la région de Trois-Rivières.

Au niveau provincial, Tessier publie en 1966 (Rapport No 3-A) au Ministère de la Voirie du Québec une carte et un rapport sur les sédiments non-consolidés de la région Aston-Bécancour. Ensuite, le MRN publia le rapport DV 84-10 produit par Edwin Gaucher et Ass. qui couvre la presque totalité du bassin à l'exception du feuillet 21L/05 qui avait été couvert antérieurement par la carte de Dubé (1971).

1. Description du bassin versant de la rivière Bécancour

1.1 Géographie et hydrographie

Le territoire visé par le projet de caractérisation hydrogéologique inclut la partie basse du bassin versant de la rivière Bécancour ainsi que sept bassins versants connexes situés près de la partie basse de cette dernière (rivières Marguerite, Godefroy, Gentilly, de la Ferme, du Moulin, aux Glaises, aux Orignaux et Petite rivière du Chêne).



Le secteur d'étude cartographique est limité au nord par le fleuve Saint-Laurent, au sud et à l'est par les bassins des rivières Saint-François et Nicolet. La rivière Bécancour prend sa source dans les Appalaches à proximité de Black Lake et de Thedford Mines et s'écoule de manière générale vers le nord jusqu'au piedmont avant de bifurquer vers l'ouest jusqu'à son embouchure sur le Saint-Laurent à la hauteur de Bécancour.

Ce vaste bassin, à vocation principalement agricole et forestière, couvre en partie les MRC d'Arthabaska, de Bécancour, de l'Érable, de Nicolet-Yamaska et de Lotbinière faisant partie de la région administrative Centre-du-Québec. La population du secteur d'étude est évaluée à 50 000 habitants.

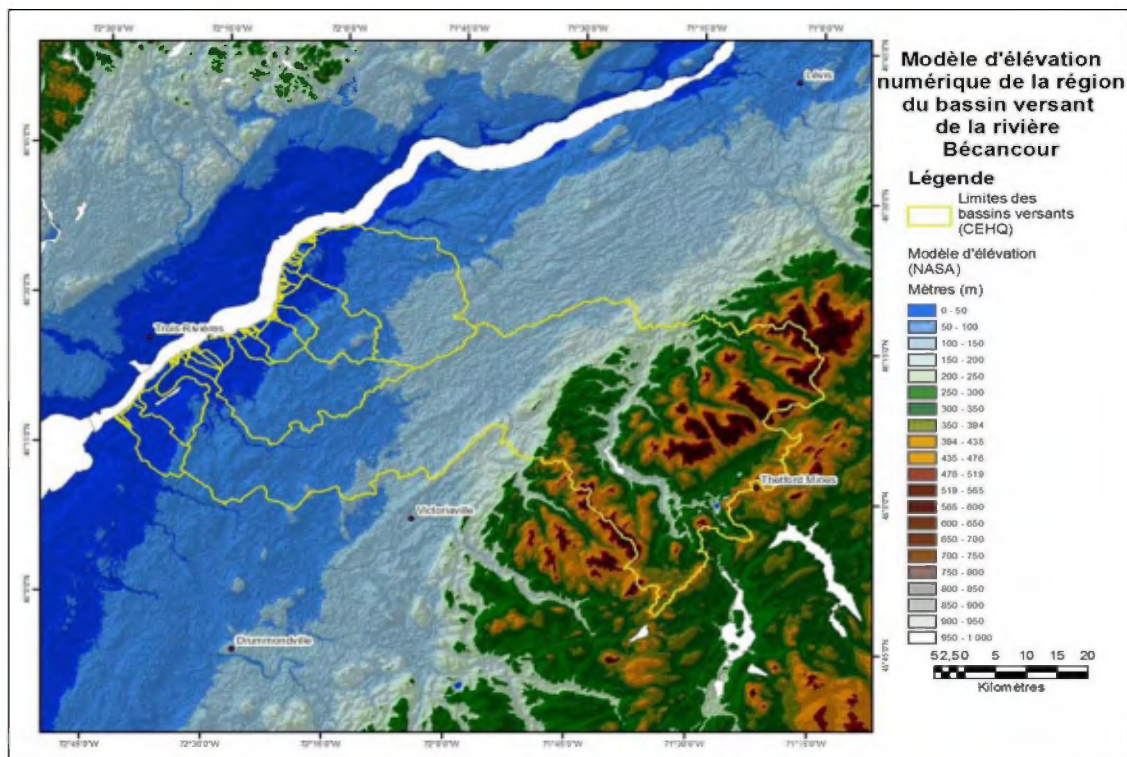


Figure 3. Modèle d'élévation numérique du secteur cartographié de la rivière Bécancour, Québec (Lamothe et Allard, 2009).

Ce bassin recoupe deux régions physiographiques, soit les Appalaches en amont et les Basses-Terres du Saint-Laurent en aval. Le modèle d'élévation numérique témoigne des principales différences entre la topographie des ces deux régions physiographiques : la topographie est plane, régulière et peu élevée dans les Basses-Terres du Saint-Laurent alors qu'elle est montueuse, irrégulière et plus élevée dans les Appalaches. Ces régions se distinguent notamment par l'utilisation du territoire qui est principalement agricole dans les Basses-Terres et à vocation forestière et minière dans les Appalaches. La proportion de municipalités alimentées en eau souterraine sur le bassin de la rivière Bécancour est de 43% (Morin et Boulanger, 2005).

1.2 Contexte géologique du soubassement rocheux

Le bassin versant de la rivière Bécancour est développé sur deux des provinces géologiques du Québec, soit la plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent et la zone

taconienne de l'orogène appalachien (Globensky, 1987; Clark et Globensky, 1976). La Faille de Logan (d'orientation NE-SW) sépare les deux domaines. Le roc est observé principalement dans le secteur amont de la rivière Bécancour où les nappes externes affleurent sur la plus grande partie du secteur au dessus de l'altitude de 200 m. Vers l'aval, l'épaisseur de la couverture quaternaire augmente. La portion moyenne et basse est localisée sous les dépôts quaternaires. Les roches y sont principalement de nature détritique et certaines, comme celles du Groupe de l'Utica, ont des contenus en matière organique élevés et constituent ainsi de généreuses sources d'hydrocarbures (gaz principalement). Cet aspect est important à considérer pour le contexte hydrogéologique.



Figure 4. Affleurement de Lorraine, le long de la rivière Gentilly, 400 m en aval des chutes à Thibodeau dans le Parc de la rivière Gentilly.

NAD 83 UTM Zone 18

X: 712294.567

Y: 5134721.699

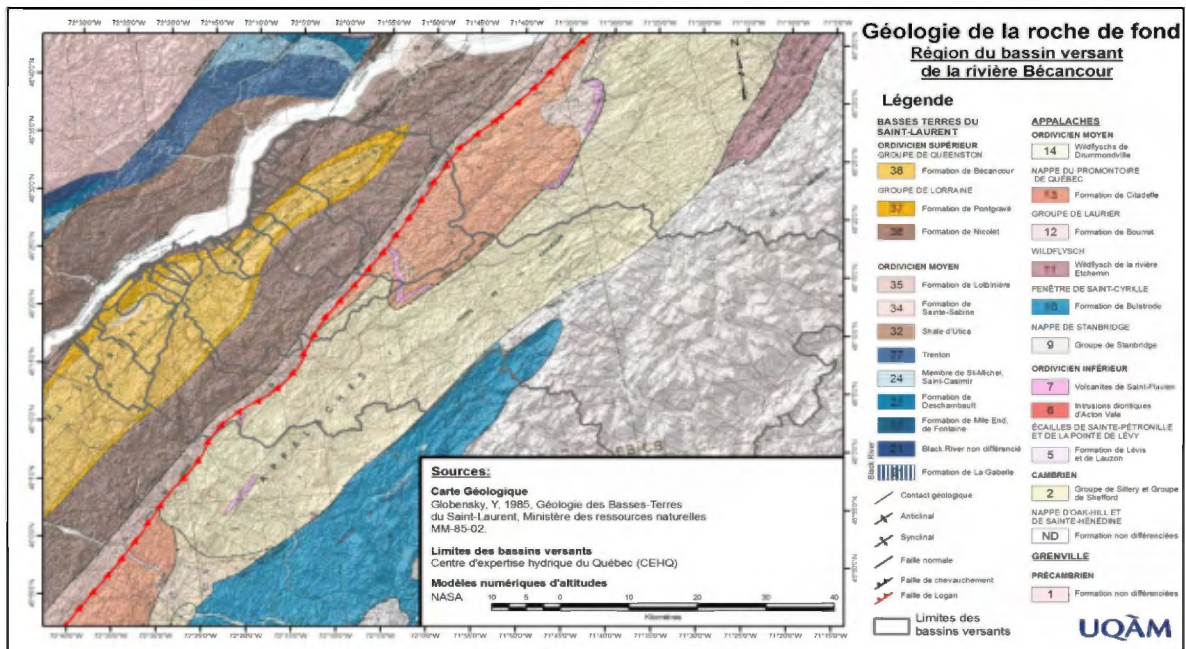


Figure 5. Géologie du substrat rocheux de la région du bassin versant de la rivière Bécancour, selon Globensky (1987).

2. La géologie du Quaternaire

La distribution des sédiments quaternaires a été cartographiée par plusieurs auteurs. Lamothe et Allard (2009) en ont fait une mosaïque qui montre bien la variabilité marquée des unités lithostratigraphiques ainsi que le manque d'intégration des cartes publiées (Fig. 6).

La sous-surface a été abordée lors de la campagne de l'été 2010. Sa complexité est apparente, au vu des travaux de Gadd (1971) et Lamothe (1985). Pour le bassin versant de la rivière Bécancour (et les petits bassins adjacents), la nature et la structure de la sous-surface sont interprétées grâce à la banque de données du Système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEP. Cette base de données nous indique la présence de 16189 forages dans la région (Fig. 7).

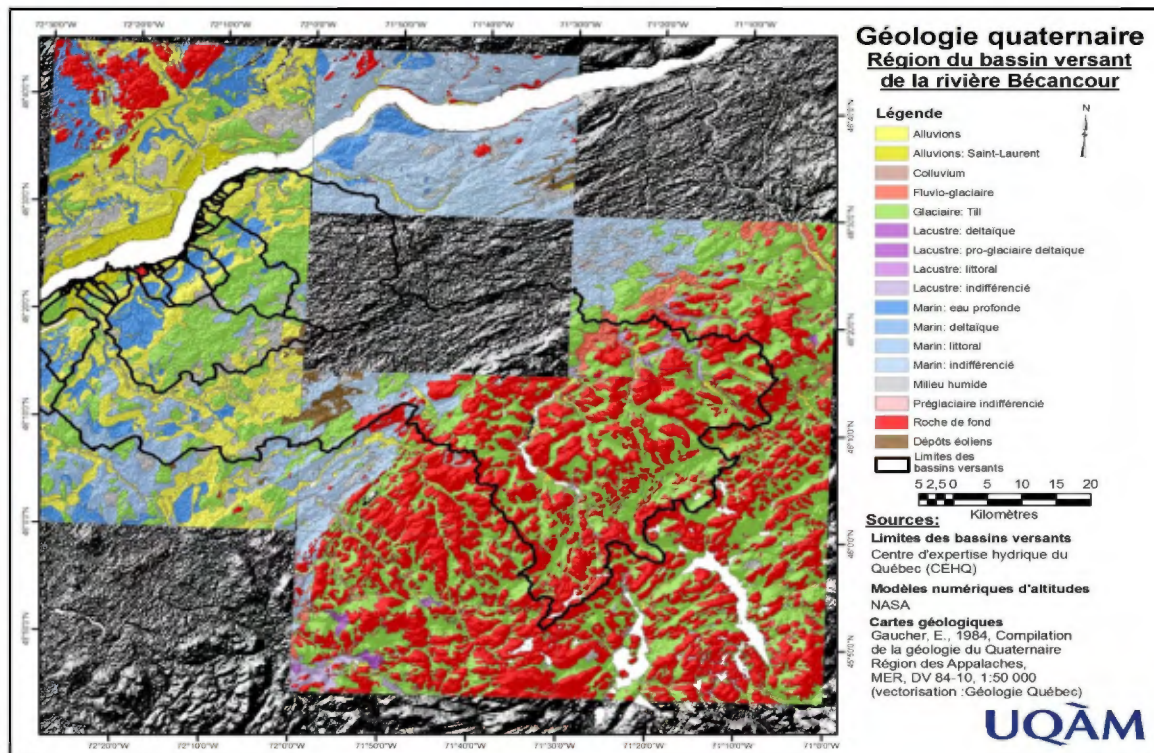


Figure 6. Mosaïque cartographique de la géologie du Quaternaire de la région du bassin versant de la rivière Bécancour, de Lamothe et Allard (2009).

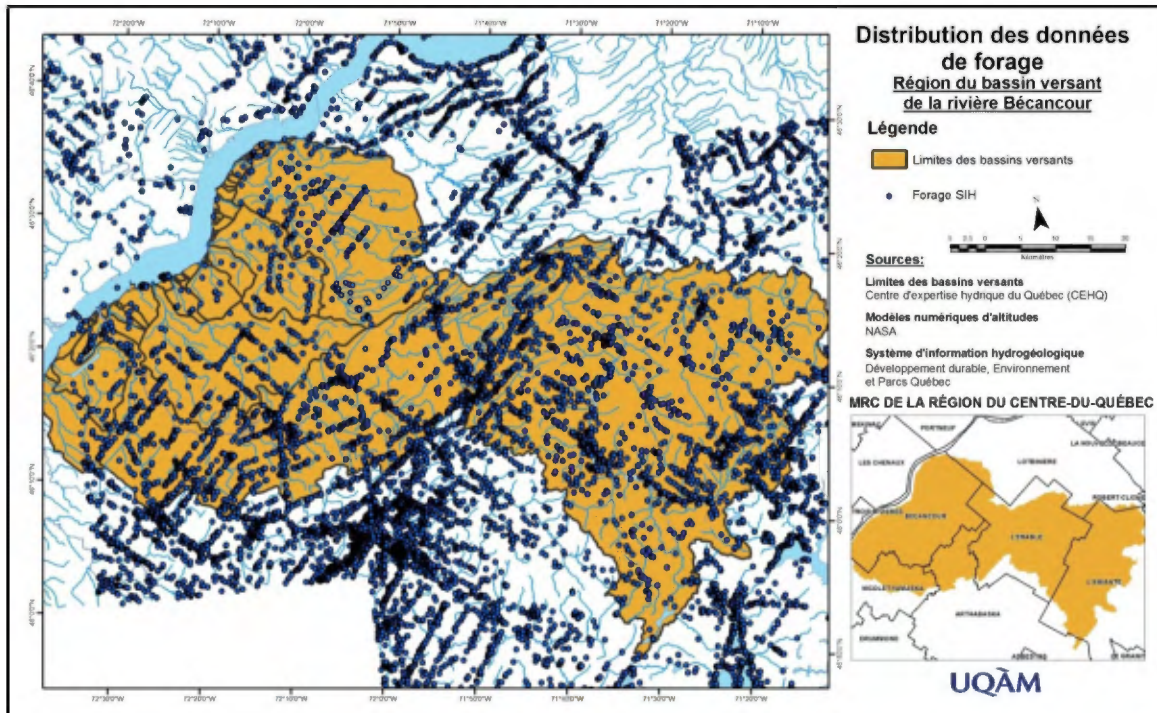


Figure 7. Distribution des forages SIH dans la région du bassin versant de la rivière Bécancour.

Une séquence quaternaire complexe surmonte le socle rocheux; celle-ci peut atteindre plus de 100 m d'épaisseur dans la partie aval du bassin de la Bécancour et dans les sous-bassins où coulent des tributaires du fleuve Saint-Laurent. La séquence quaternaire comprend une succession de deux à trois tills séparés par des sédiments glaciolacustres fortement imperméables de par leur granulométrie, leur texture et aussi leur état de surconsolidation (Fig. 8). Des sédiments granulaires (sables et graviers essentiellement) sont présents dans la séquence et leur étendue est généralement discontinue. Lors de la déglaciation, un bref épisode de transgression marine a succédé au retrait glaciaire. Ce dernier a abandonné des épandages fluvioglaciaires qui peuvent localement surmonter directement le soubassement rocheux, en particulier le long du piedmont appalachien.

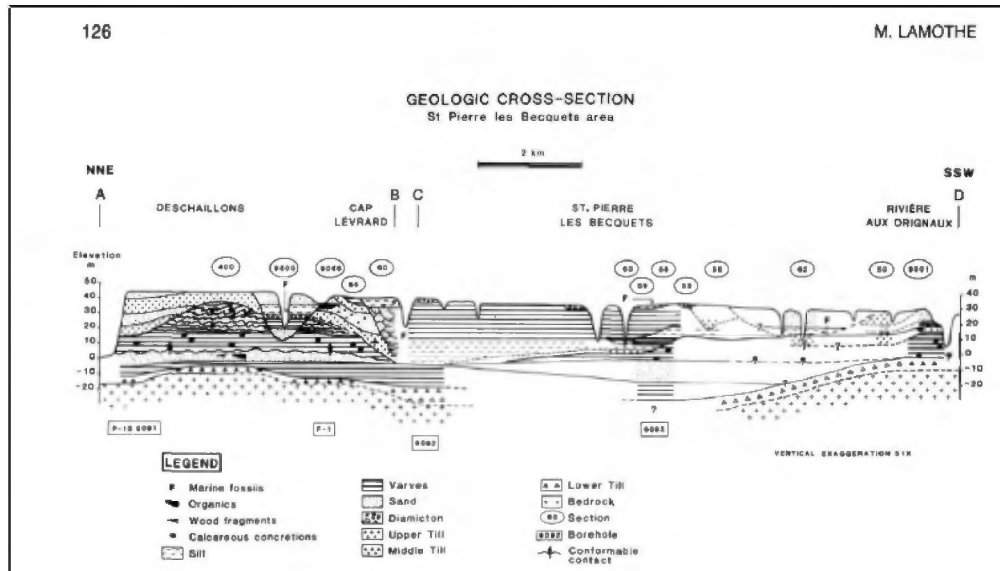


Figure 8. Coupe géologique quaternaire entre Gentilly et Deschaillons, le long de l'axe du fleuve Saint-Laurent (Lamothe, 1989).

La séquence stratigraphique complète comprend trois tills. Localement, les épaisseurs cumulées peuvent être très importantes et dépasser les 90 m. L'unité de base est représentée par le Till de Bécancour, d'âge préSangamonien (Illinoien?).

Le Till de Gentilly est le till de surface qui a été déposé lors de la dernière grande avancée glaciaire et il recouvre l'ensemble de la région. Le réseau de drainage étant structuré vers le NE, les avancées et retraits du glacier peuvent provoquer la création de lacs glaciaires, ce qui explique que des sédiments laminés glaciolacustres (varves?) sont présents au sommet et/ou à la base de chaque couche de till.

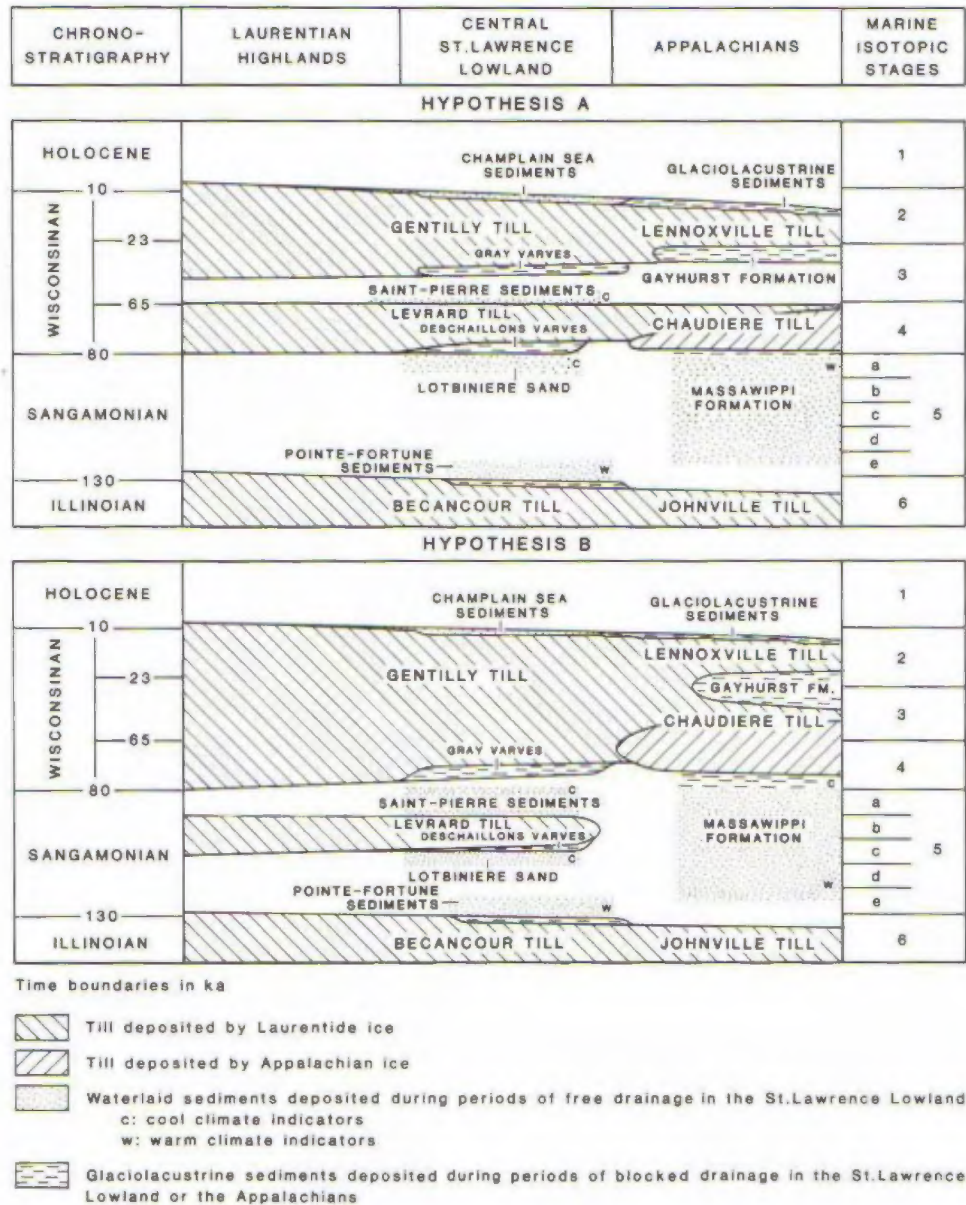


Figure 9. Superposition et corrélation stratigraphiques entre les unités lithostratigraphiques du Bouclier canadien, des Basses-Terres du Saint-Laurent et des Appalaches (Lamothe et al., 1992). L'hypothèse A est la plus plausible pour les Basses-Terres.



Figure 10. Sables fluviatiles des Vieilles-Forges, le long de la rivière Bécancour, 5 km en amont de sa confluence avec la rivière Blanche.

NAD 83 UTM Zone 18

X: 712140.0036

Y: 5120312.019

L'unité glaciaire suivante est le Till de Lévrard, qui date du début de la glaciation wisconsinienne (Fig. 9). Le retour à des conditions normales de drainage est représenté par les sédiments fluviatiles, lacustres et organiques des formations de Lotbinière et de Saint-Pierre (Fig. 10).

La déglaciation finale a mis en place successivement des sédiments fluvioglaciaires et glaciolacustres. L'épisode de la Mer de Champlain a suivi lorsque la glace s'est retirée de la vallée du Saint-Laurent, permettant par le fait même à l'océan Atlantique d'inonder les Basses-Terres sous les élévations d'environ 180 m. Enfin, le réseau fluvial actuel s'est progressivement mis en place lors de l'Holocène.

3. Les unités lithostratigraphiques cartographiées de la région de Bécancour

Les principales caractéristiques sédimentologiques et cartographiques des unités lithostratigraphiques de la région étudiées en 2009 et 2010 sont décrites en termes de texture, structure, couleur, compacité, composition lithologique dans la légende étendue de la carte géologique. Les contacts et limites stratigraphiques inférieurs et supérieurs, ainsi que la distribution régionale, permettent de mieux apprécier la représentation cartographique finale. Les éléments présentés plus bas servent à compléter la description des unités.

3.1 Le roc (Rs, Rd)

Le roc affleure sur moins de 1% de la région à l'étude. Un till mince et un till remanié en couverture mince couvrent du roc observable sur près de 18% de la surface du territoire étudié, essentiellement dans les secteurs élevés. La plate-forme paléozoïque des Basses-Terres du St-Laurent forme le sous-bassement rocheux de la partie basse de la zone cartographiée (Avramtchev, 1989; Clark et Globensky, 1970, 1973, 1975, 1976; Globensky, 1987). Le roc affleure de manière discontinue le long des rivières Bécancour, Gentilly, aux Orignaux et Petite rivière du Chêne. La haute portion du bassin est occupée par les roches du front appalachien jusqu'au domaine dit océanique de la région de Thedford Mines (Fig. 11) (St-Julien et Hubert, 1975). La couverture quaternaire y est principalement glaciaire et fluvioglaciaire. Le roc y affleure de façon importante.



Figure 11. Roche moutonnée montrant un écoulement vers N270, quelques km au sud-ouest de Thedford Mines.

NAD 83 UTM Zone 19

X: 312292.134

Y: 5091205.283

3.2 Le Quaternaire Ancien (Q)

Cette unité complexe affleure d'une façon relativement continue le long du fleuve Saint-Laurent en aval de Gentilly, et le long des tributaires importants du fleuve comme la Bécancour, la Gentilly et la Petite rivière du Chêne. Parmi les unités déjà décrites à la section précédente, y dominent les sédiments sableux fluviaux et lacustres de Saint-Pierre (Fig. 12) et le Till de Bécancour.



Figure 12. Séquence montrant la superposition du Till de Gentilly sur les Sables des Vieilles-Forges, le long de la rivière Bécancour à Saint-Sylvere.

NAD 83 UTM Zone 18

X: 711920.005

Y: 5120487.015

3.3 Les sédiments glaciaires (Tf, Trm, Tr, Tc, Tm)

Le till de surface, qu'il soit mince ou continue, remanié ou non, couvre près de 59% du territoire à l'étude. Ce diamicton glaciaire affleure surtout dans le secteur appalachien et dans la zone du piedmont, dans la portion nord-est du bassin versant et près de la région de Bécancour, notamment dans le secteur de Ste-Angèle-de-Laval, là où la couverture de dépôts meubles près du fleuve est faible (Fig. 13). Lorsqu'en aval glaciaire des roches du Queenston, le till acquiert la couleur rouge, caractéristique du Till de Bécancour, mais aussi très commune pour le Till de Gentilly lorsque la séquence quaternaire ancienne est mince ou inexistante. Les épaisseurs observées vont de 0,3 m (Tm) à plus de 20 m (Tc) dans les Basses-Terres, notamment le long de la Petite rivière du Chêne, tandis qu'elles

atteignent rarement plus de 10 m dans les vallées des Appalaches. Ce diamicton est caractérisé par une matrice comprenant une grande proportion de silt, et des quantités variables d'argiles, de sables, graviers, galets et blocs, dont plusieurs d'origine précambrienne. Le till de fond est assez pauvre en blocs et caractérisé par une très grande proportion de matrice argilo-silteuse. Le till non-altéré est gris-verdâtre, compact, normalement non-fissile et carbonaté dans les Basses-Terres et le piedmont. Pour ce qui est de la région appalachienne, le till de surface est non-carbonaté et exhibe ordinairement un faciès gris et compact à la base et un faciès gris-brunâtre et lâche en surface. La proximité des sources fait en sorte que la proportion de clastes augmente de manière significative dans les Appalaches. Le till y est donc moins compact et plus fissile. Le till remanié (Tr) est un till dont les particules fines ont été lessivées par des processus subséquents au dépôt du matériel original. Généralement, il correspond à la zone superficielle du till où la portion fine de la matrice est lavée par des processus d'érosion littorale glaciomarine, glaciolacustre ou même fluviale.



Figure 13. Argiles de la Mer de Champlain reposant directement sur le Till de Gentilly, le long de la rivière Bécancour, près de la réserve indienne de Wölinak. La tête du pic marque le contact entre les deux unités.

NAD 83 UTM Zone 18

X: 697728.3878

Y: 5134605.519

3.4 Les sédiments fluvioglaciaires (Gx, G)

Les sédiments fluvioglaciaires ont été identifiés sur la base de la morphologie du corps sédimentaire (Fig. 14), la présence de sable fin, moyen et grossier, de galets et de graviers subanguleux à subarrondis, triés ou non, et de déformations synsédimentaires. Le volume de sédiments fluvioglaciaires est particulièrement faible régionalement et la superficie qu'ils occupent correspond à un peu moins de 2% du territoire du bassin versant. Il y a peu de sédiments de contact glaciaire associés à la Moraine des Hautes Terres (Gadd, 1964), sauf dans certaines portions hautes des rivières Bécancour et Palmer où les accumulations parfois stratifiées peuvent atteindre des épaisseurs supérieures à 30 m. Quelques amas formant des terrasses de kame et des buttes de matériel juxtaglaciaire ont également été identifiés dans les secteurs amont et aval du lac Williams. Un seul esker (esker de Glen Loyd), initialement décrit par N.R. Gadd en 1964 (Gadd, 1964, 1978; Gadd, McDonald et Shilts, 1972), puis par Lortie en 1976, est situé dans la vallée du ruisseau Osgoode, au sud-est de Saint-Jacques-de-Leeds. Cet esker exhibe des stratifications de sables et graviers montrant un écoulement vers le nord. Dans la zone du piedmont, les sédiments fluvioglaciaires se présentent surtout sous la forme d'une série de crêtes discontinues subparallèles (Gadd, 1964) situées entre la rivière Bécancour et le contrefort appalachien, où des moraines en creux et en bosses sont visibles dans le secteur de Lysander (Lortie, 1976). Ces crêtes ont été initialement décrites par Gadd (1964) comme étant essentiellement formées de till remanié par l'action des vagues de la Mer de Champlain et faisant partie d'un système morainique postérieur à la formation de la moraine des Hautes-Terres. Suite aux observations de terrain, ces crêtes, dont certaines sont exploitées, sont plutôt constituées d'un assemblage hétérogène et sans structure de clastes centimétriques à métriques subanguleux à subarrondis, dont plusieurs d'origine précambrienne, soutenus par une matrice de sable fin à grossier (Fig. 14) et reposant directement sur le roc. Elles ont donc été identifiées comme sédiments juxtaglaciaires (Gx). Dans la zone des Basses-Terres, les sédiments fluvioglaciaires forment des amas isolés partiellement enfouis ou remaniés par les eaux de la Mer de Champlain. Notamment, une ancienne gravière située à environ 5 km à l'ouest de Manseau et une gravière-carrière située à environ 7,5 km au sud de Manseau près de l'Autoroute 20

exhibent des sédiments proglaciaires non-différenciés. Sur le site de cette dernière, près de 8 mètres de sédiments fluvioglaciaires mis en place directement sur le roc et enfouis sous des sédiments glaciomarins littoraux sont visibles. La présence de nombreux galets mous (*clayballs*), de clastes subarrondis à arrondis, de stratifications et d'imbrications montrant un paléocourant variant entre le NE-SE laissent croire qu'ils auraient été mis en place par le drainage d'un lac proglaciaire, vraisemblablement le Lac à Candona (Parent et Occhietti, 1988, 1999), d'où la classification comme sédiments proglaciaires non-différenciés. Également, la présence d'eskers potentiels dans les Basses-Terres devra être examinée dans le futur. L'un d'eux a été décrit par G.-R. Tessier en 1966 comme formant un segment anciennement exploité de ± 1 km situé à environ 4 km au sud-est de Saint-Wenceslas et devra être examiné dans le futur. L'autre, apparaît comme un court segment situé près de Grand-Saint-Esprit (Parent et Occhietti, 1988).



Figure 14. Sédiments fluvioglaciaires (Gx) formant une moraine mineure à environ 7 km au nord-est de Plessiville.

NAD 83 UTM Zone 19

X: 290018.496359

Y: 5128299.811229



Figure 15. Amas de sédiments fluvioglaciaires non-différenciés (G) situé à environ 6,5 km au sud de Saint-Ferdinand (anciennement Bernierville) le long du ruisseau Beaudoin.
 NAD 83 UTM Zone 19
 X: 300940.060195
 Y: 5102969,133899

3.5 Les sédiments glaciolacustres (LGd, LGb, LGa)

Les sédiments glaciolacustres se retrouvent uniquement dans les Appalaches et couvrent moins de 1% du territoire à l'étude. Des séquences de sédiments fins, localement rythmés, et des sables littoraux et deltaïques ont été observés en petits amas localisés le long de la rivière Bécancour jusqu'à la hauteur du lac Williams, et surtout le long de la rivière Palmer où il sont visibles à des élévations allant jusqu'à 355 m (Gadd, 1978). Les sédiments fins sont composés d'argiles et de silts et s'observent surtout sous forme massive. Les sédiments deltaïques sont surtout composés de sable fin à grossier et de graviers généralement bien triés et stratifiés, quoique des bancs de sables massifs ont été observés. Les faciès examinés sont donc essentiellement proximaux, résultat de la faible étendue des lacs tardiglaciaires et de leur courte durée d'existence.

3.6 Les sédiments glaciomarins (MGd, MGb, MGa)

À partir du front appalachien, et ce jusqu'au fleuve Saint-Laurent, affleurent sur environ 22% du territoire des sédiments littoraux et pélagiques qui contiennent localement des fossiles de la Mer de Champlain. Même si apparemment non-fossilifères, les sédiments d'origine aquatique et localisés sous l'élévation de 175 m (Parent, 1987) sont aussi cartographiés comme glaciomarins. Le faciès deltaïque glaciomarin (MGd) a été identifié à trois endroits sur le territoire à l'étude. Ces épandages deltaïques sont tous situés sur le parcours de la rivière Bécancour, où le premier s'est formé à un niveau correspondant à la limite marine maximale, le second a été mis en place à une élévation de 80 m (Fig. 16) tandis que le dernier marque la transition Mer de Champlain-Lac à Lampsilis à la limite de 65 m. *asl*. Les sédiments marins peu profonds comprennent des sables et des graviers généralement bien triés (Fig. 17), une faible quantité de silts ou de graviers, avec des structures sédimentaires typiques des milieux littoraux. Ils sont généralement de couleur grisâtre à brunâtre et montrent parfois des signes d'oxydation. Leur extension verticale est limitée aux zones supérieures à 65 m *asl*. Les sédiments pélagiques sont surtout constitués d'argiles massives, bleutées, parfois silteuses et litées (Fig. 16), qui contiennent de temps à autre des *Portlandia arctica*. On les rencontre dans des anciens chenaux, généralement sous l'élévation de 100 m.



Figure 16. Épandage deltaïque de la Mer de Champlain.
 NAD 83 UTM Zone 18
 X: 709734.027
 Y: 5118928.378



Figure 17. Sables et graviers stratifiés formant un ancien littoral de la Mer de Champlain
 NAD 83 UTM Zone 18
 X: 725531.046901
 Y: 5127010.49863

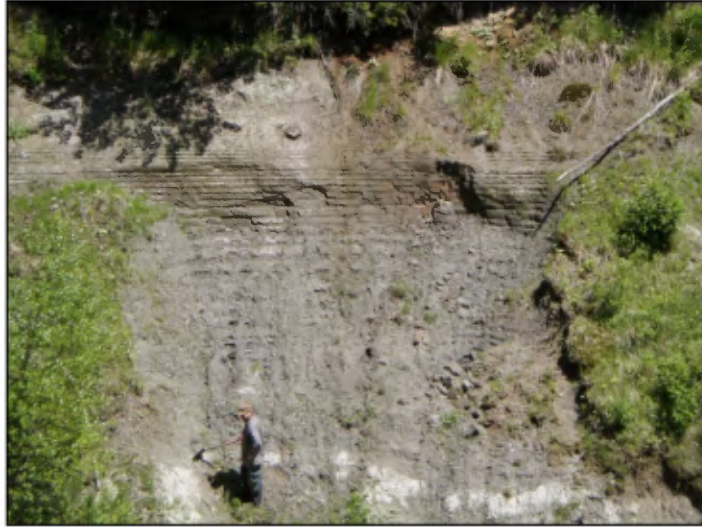


Figure 18. Argiles litées et fossilifères de la Mer de Champlain et sables de régression sus-jacents, le long de la rivière Bécancour à Saint-Sylvere.

NAD 83 UTM Zone 18

X: 711920.0051

Y: 5120487.015

3.7 Les sédiments lacustres (Ld, Lb)

Sous les élévations d'environ 65 m, on observe de grandes zones sableuses d'origine soit deltaïque ou littorale, remaniées par les eaux douces du Lac à Lampsilis. Des travaux récents (Ouimet et al., 2011) supposent la présence d'importants volumes de Sables des Vieilles-Forges sous-jacents. Quoique la majorité des sédiments déposés au cours de cet événement reflète l'exondation, certaines unités plus fines, silteuses et légèrement rythmées montrent la présence d'un faciès plus pélagique dans ce bassin dont les caractéristiques demeurent peu connues. Ces sédiments comprennent aussi des éléments fluviaux et estuariens mais la division fine de ces unités n'a pas encore été effectuée.

3.8 Les sédiments alluviaux (Ap, Ac, At, Ax, A)

Les sédiments d'origine fluviale, localisés à une élévation légèrement supérieure à celle du système de drainage actuel, sont cartographiés sur environ 3% du territoire à l'étude comme sédiments alluviaux. Ces derniers sont majoritairement concentrés tout le long de la rivière Bécancour, à partir de la limite nord des Appalaches, où ils délimitent

l'ancienne plaine alluviale et les terrasses adjacentes. Près du fleuve Saint-Laurent, ces sédiments et formes fluviales sont rattachés à la phase du Proto-Saint-Laurent. Cette unité inclut les sédiments actuellement transportés par les rivières modernes.

3.9 Les sédiments éoliens (Ed)

Présents sur environ 130 km² (~3,5%) de la région à l'étude, les sédiments éoliens sont notamment situés au cœur des unités littorales glaciomarines à des élévations allant de 70 à 130 m, où des dunes paraboliques d'une hauteur moyenne de 5 à 8 m avec des maximums de 20 à 25 m sont présentes (Filion, 1987). Les champs de dunes s'observent normalement dans un axe NE-SO de part et d'autre de l'Autoroute 20, de St-Louis-de-Blandford jusqu'à Villeroy, de même qu'au nord-est du village de Saint-Rosaire. Les sédiments éoliens de la région à l'étude sont également connus sous le pseudonyme de *Crêtes de Coq Sands* (Gadd 1955, 1960a, 1971), terme local qui tire son origine de l'apparence qu'ont certaines crêtes sableuses allongées aux arêtes aigües. Gadd est le premier à établir le lien entre les *Crêtes de Coq Sands* et l'action éolienne. Suite à l'étude approfondie des propriétés physiques de ces sables, Gadd a conclu qu'il s'agissait de dunes transverses post-Mer de Champlain contrairement à l'hypothèse de *marine crevasse fillings* (Osborne, 1950). qui avait été préalablement utilisée afin d'expliquer le mode de mise en place de ces sédiments. Les sédiments éoliens sont normalement constitués de sables moyens à fins, très bien triés et stratifiés, remaniés à partir de sédiments marins littoraux ou deltaïques (Chauvin, 1979a; Gadd 1955, 1960a, 1971; Filion, 1987). L'activité éolienne à l'origine de ces champs de dunes paraboliques aurait subsisté pour une durée de 2500 années ¹⁴C, soit pour une période variant entre 10000 et 7500 ans B.P. (Filion, 1987). Les sédiments éoliens sont fréquemment observés autour des unités de tourbières, où l'activité éolienne a ainsi remanié le matériel granulaire disponible jusqu'à son immobilisation par la végétation.

3.10 Les sédiments organiques (Ot, O)

Les sédiments organiques observés régionalement sont surtout des tourbières. Leur répartition est assez vaste (~4,3% du territoire à l'étude) et reflète leurs modes variés de formation. Généralement, il y a un lien entre l'unité sous-jacente et la densité de tourbières. Dans le bassin versant de la Bécancour, ces milieux humides sont parfois rencontrés sur des plateaux d'élévation de l'ordre de la centaine de mètres, au-dessus des argiles de la Mer de Champlain (Tourbière de St-Sylvère), elles-mêmes localisées sous-jacentes à des sables d'exondation marine. Cependant, la majorité des sédiments organiques se retrouvent sur de faibles épaisseurs de sédiments littoraux glaciomarins (Tourbière du Lac Rose), sur le till de surface où directement sur le roc.

3.11 Les dépôts de versant (Cg)

Les dépôts de glissement de terrain ont été surtout cartographiés le long des rivières Gentilly et Gentilly sud-ouest. Cette unité, surtout formée de silts et d'argiles remaniés, est principalement identifiable grâce aux éléments géomorphologiques qui y sont associés. La classification de ces dépôts s'est faite suivant l'identification d'amphithéâtres, de gradins et de cicatrices de glissement.

4.0 Le modèle hydrostratigraphique

Au cours de la deuxième phase de ce projet, une étude exhaustive de la distribution tridimensionnelle des dépôts quaternaires a permis d'élaborer un modèle hydrostratigraphique quaternaire. Cette analyse s'est basée sur l'ensemble de l'information disponible provenant des archives et autres données des divers ministères des gouvernements québécois et canadien. Les données d'un bon nombre de forages de diverses sources ont été colligées ainsi que les coupes et autres observations des chercheurs qui ont œuvré dans cette région au cours des années antérieures. On peut noter l'utilisation des données obtenues par le groupe de recherche de l'UQÀM sous la supervision de Marie Larocque, qui poursuit une étude exhaustive de l'hydrogéologie du secteur de Bécancour ainsi que celles rendues publiques par les compagnies privées qui conduisent des travaux d'exploration gazière dans la région d'étude.

Le modèle hydrostratigraphique est élaboré selon les approches décrites par Ross (2005), Caron, Tremblay et Lamothe (2007) et Tremblay, Lamothe et Nastev (2010). Certaines modifications qui y ont été apportées sont décrites dans le rapport final du Quaternaire du bassin versant de la rivière Saint-François soumis au MDDEP et au MRNF par Caron, Lamothe et Shilts (2011). Cette section est d'ailleurs bâtie à partir d'un résumé du processus de modélisation tel que décrit dans cette dernière publication.

4.1 Méthodologie

La méthode de modélisation tridimensionnelle choisie et utilisée est basée sur l'intégration des cartes 2D des formations superficielles de surface et de données d'épaisseurs. Le calcul des épaisseurs est obtenu par l'interpolation des données primaires (forages archivés, données géotechniques, affleurements rocheux, coupes stratigraphiques, profils sismiques, GPS et données de contraintes) de diverses origines. Les présents travaux ont tenu compte également d'un modèle géologique conceptuel de la région d'étude. Cette modélisation permet également de consolider l'élaboration de la

paléogéographie de la région. Le traitement des données a été réalisé à partir du logiciel gOcad® de Paradigm. Ce logiciel permet une intégration de données variées et possède une capacité de calcul adéquate pour ce type de modélisation.

4.2 Standardisation et interprétation des données

L'intégration des différentes sources de données peut s'avérer parfois difficile dans les différentes plateformes de modélisation 3D. Il a donc été nécessaire d'apporter plusieurs modifications afin de standardiser les données. La première étape a consisté à simplifier et uniformiser la nomenclature des unités lithostratigraphiques définie et utilisée par la Commission géologique du Canada (CGC). Les différentes unités qui caractérisent les dépôts glaciaires (T) et les dépôts fluvioglaciaires (G) ont été regroupées. Il en a été de même pour les sédiments alluviaux (A), les sédiments lacustres associés au Lac à Lampsilis (Lb) et les sédiments éoliens (Ed). Les composantes cartographiques conservées suite aux simplifications du modèle quaternaire 3D sont au nombre de 12 comparativement à la carte des formations superficielles qui est composée de 27 unités.

4.3 Modélisation

L'importation des données, les étapes de cartographie, d'intégration, de standardisation et d'interprétation des données ont été réalisées à l'aide du logiciel ArcGIS 9.3, un système d'information géographique développé et commercialisé par ESRI. Dans un premier temps, les données et les informations ont été compilées dans une base de données respectant les informations originelles. Ces données sont en général peu ou pas uniformisées et elles peuvent avoir été manipulées et transférées plusieurs fois, augmentant ainsi le risque d'erreurs. Par la suite les données ont été insérées, optimisées, simplifiées et interprétées selon une nomenclature et une charte standard qui permettait d'uniformiser l'ensemble des données primaires. Les données de forages ont également été analysées et classées selon une série de critères de fiabilité afin de quantifier les incertitudes du modèle 3D. De plus, dans bien des cas, la majorité des forages et des puits n'atteint pas le roc. Une partie du bassin versant est donc sous-représentée et la

topographie du substratum rocheux est difficile à détecter. La présente recherche comporte tout de même beaucoup de données de qualité atteignant le roc, réparties de façon quasi-uniforme et pour lesquelles l'accès au format original est encore possible.

L'approche préconisée visait le passage de l'information en 1D (forages), vers une compréhension en 2D, via un modèle conceptuel et des coupes topo-géologiques, puis à une interpolation des coupes 2D pour former un modèle 3D. La modélisation tridimensionnelle des données a été réalisée à l'aide du logiciel de géomodélisation gOcad® de Paradigm. Ce logiciel développé pour répondre aux besoins de la modélisation géologique a permis de finaliser l'analyse tridimensionnelle. Le principal avantage de cette plate-forme 3D est l'utilisation commune avec ArcGIS 9.3 (ESRI). Il devient donc intéressant de travailler dans le même environnement numérique pour les étapes de cartographie vectorielle et de modélisation 3D en mode matriciel.

Dans le cadre des présents travaux, le modèle a été exporté premièrement en différentes surfaces (GRID) représentant les épaisseurs lithostratigraphiques des différentes unités qui composent le modèle. Le logiciel gOcad® permet d'exporter les surfaces en plusieurs formats, notamment en ASCII (XYZ), mais également en voxet standard pouvant être intégré aux différents logiciels 3D standard.

Conclusion

La campagne de cartographie 2009-2010 du secteur Bécancour avait permis la production d'une carte de première génération de l'ensemble du bassin versant de la Bécancour et des bassins versants avoisinants (Godbout et al., 2010). La précision dans la distribution cartographique des unités ainsi que leurs relations stratigraphiques ont ainsi été validées au cours de cette deuxième phase du projet. Parmi les travaux réalisés au cours de cette dernière, on note l'analyse détaillée des contacts et épaisseurs stratigraphiques des unités potentiellement aquifères ainsi que de la distribution tridimensionnelle régionale de l'ensemble des unités quaternaires du bassin versant. Une campagne de géophysique (résistivité et géoradar) et de forages stratigraphiques a permis de mieux cerner l'architecture hydrostratigraphique régionale. La carte géologique des dépôts quaternaires ainsi que le modèle hydrostratigraphique sont ainsi exportables et intégrables dans l'ensemble de l'analyse hydrogéologique régionale.

Références

Avramtchev, L. (1989). *Cartes des gîtes minéraux des Appalaches, région des Basses-terres du Saint-Laurent et Estrie-Beauce*. Ministère de l'Énergie et de Ressources, Québec. DV-87-19, 68 p., 1 carte (échelle 1:250 000).

Besré, F. et Occhietti, S. (1990). Les Varves de Deschaillons, les Rythmites du Saint-Maurice et les Rythmites de Leclercville, Pléistocène supérieur, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.44, n°2, p.181-198.

Bernier, F. et Occhietti, S. (1990). Le complexe glaciaire du Cap-Charles, vallée moyenne du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.44, n°2, p.173-180.

Bolduc, A.M. (1999). *Géologie des formations superficielles, région de Trois-Rivières, Québec*. Commission géologique du Canada, Dossier public 2994, 1 carte, échelle 1/50 000.

Caron, O., Tremblay, T., et Lamothe, M. (2007). *3D hydrostratigraphic modelization using relative calculation method, Chaudière watershed*. Université du Québec à Montréal, Québec, 47 p.

Caron, O., Lamothe, M. et Shilts, W.W. (2011). *Modélisation géologique 3D des sédiments quaternaires du bassin versant de la rivière Saint-François*. Université du Québec à Montréal, rapport à l'intention du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) et du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 94 p., 1 carte (1 : 150 000).

Chauvin, L. (1979a). *Dépôts meubles de la région de Thetford Mines-Victoriaville: rapport préliminaire*. Ministère des Richesses naturelles, Québec, Direction des levés géoscientifiques, DPV-622. 23 p., 2 cartes (échelle 1: 50 000).

Chauvin, L. (1979b). *Géologie des dépôts meubles - Région d'Asbestos-Disraëli: rapport préliminaire*. Ministère de l'énergie et des ressources, Québec, Direction des levés géoscientifiques, DPV-716, 13 p., 2 cartes (échelle 1: 50 000).

Clark, T.H. et Globensky, Y. (1970). *Geology of the Bécancour area*. Ministère de l'énergie et des ressources, Québec, Direction générale de l'exploration géologique et minérale. DP-153, 90 p., 1 carte (échelle 1: 31 680).

Clark, T.H. et Globensky, Y. (1973). *Région de Portneuf et parties de St-Raymond et de Lyster*. Ministère des Richesses naturelles, Québec. RG-148. 110 p., 1 carte (échelle 1:63 360).

Clark, T.H. et Globensky Y. (1975). *Région de Grondines/Grondines area*. Ministère des Richesses naturelles, Québec, Direction générale des mines, Service de l'exploration géologique. RG 154, 159 p., 1 carte (échelle 1: 63 360).

Clark, T.H. et Globensky Y. (1976). *Région de Bécancour et partie nord-est de la région d'Aston/Bécancour area and Northeastern part of Aston area*. Ministère des Richesses naturelles, Québec, Service de l'exploration géologique. RG 165, 66 p., 1 carte, échelle 1: 63 360.

Clet, M. (1989). Palynologie de rythmites du Pléistocène supérieur, Leclercville, vallée moyenne du Saint-Laurent, Canada. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, vol.26, n°4, p.225-237.

Clet, M. et Occhietti, S.(1996). Palynologie et paléoenvironnements de la sous-séquence des Sédiments de Saint-Pierre, Rythmites du Saint-Maurice et Sables des Vieilles-Forges, Pléistocène supérieur de la vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.50, n°3, p.287-310.

Cloutier, M., Parent, M. et Bolduc, A.M. (1997). *Géologie des formations superficielles, région de Saint-Marc-des-Carières, Québec*. Commission géologique du Canada, Dossier public 3544, 1 carte (échelle 1: 100 000).

Dubé, J.C. (1967). *Dépôts meubles région de Disraëli* (comtés de Wolfe et de Mégantic). DP-261. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 2 pages, 2 cartes (échelle 1: 50 000).

Dubé, J.C. (1971). *Géologie des dépôts meubles, région de Lyster : comtés de Mégantic, Lotbinière, Nicolet et Arthabaska*. Ministère des Richesses naturelles, Québec, Service de l'exploration géologique, RP-596. 12 p., carte-1732 (échelle 1: 63 360).

Ferland, P. et Occhietti, S. (1990a). Révision du stratotype des sédiments de Saint-Pierre et implications stratigraphiques, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.44, n°2, p.147-158.

Ferland, P. et Occhietti, S. (1990b). L'Argile de La Pérade : nouvelle unité marine antérieure au Wisconsinien supérieur, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.44, n°2, p.159-172.

Filion, L. (1987). Holocene development of parabolic dunes in the central St. Lawrence Lowland, Québec. *Quaternary Research*, vol.28, n°2, p.196-209.

Gadd, N.R. (1955). *Pleistocene geology of the Becancour map-area, Quebec*. Ph.D. thesis, University of Illinois, Urbana.

Gadd, N.R. (1960a). *Surficial geology of the Bécancour map-area, Quebec (31I08)*. Geological Survey of Canada, Papier 59-8, 34 p., Carte 42-1959.

Gadd, N.R. (1960b). *Surficial geology, Aston, Quebec*. Geological Survey of Canada. Carte 50-1959.

Gadd, N.R. (1964). Moraines in the appalachian region of Quebec. *Geological Society of America Bulletin*, vol.75, p.1249-1254.

Gadd, N.R. (1971). *Pleistocene geology of the St. Lawrence with selected passage from an unpublished manuscript: The St. Lawrence Lowland, by J.W. Goldthwaith*. Geological Survey of Canada, Memoir 359, 153 p.

Gadd, N.R. et Karrow, P.F. (1960). *Surficial geology, Trois Rivières, Quebec*. Geological Survey of Canada, Carte 54-1959.

Gadd, N.R., McDonald, B.C. et Shilts, W.W. (1972). *Deglaciation of southern Quebec*. Geological Survey of Canada, Paper 71-47, 19 p., map 10-1971.

Gadd, N.R. (1978). *Surficial geology of Saint-Sylvestre map-area, Quebec*. Geological Survey of Canada, Paper 77-16, 9 p., 1 map (1470A), 1: 50 000.

Gaucher, E. et Ass. (1984). *Compilation de la géologie du Quaternaire - Région des Appalaches*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la géoinformation, Québec, Rapport DV 84-10, 89 cartes, échelle 1 :50 000.

Gélinas, P. (1971). Dépôts meubles dans la région de Québec: Superficial deposits in the Quebec area. Ministère des Richesses naturelles, Québec, Service de l'hydrogéologie, Rapport H.G.-3, 12 p., 1 carte (échelle 1: 50 000).

Globensky, Y. (1987). *Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Québec, cartes, 63 p.

Godbout, P.-M., Caron, O. et Lamothe, M. (2010). *Rapport préliminaire sur l'avancement des travaux sur la géologie du Quaternaire du bassin versant de la rivière Bécancour, Québec*. Université du Québec à Montréal, à l'intention du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 24 p., 1 carte (1 : 100 000).

Hétu, B., Occhietti, S., Richard, P.J.H. et Larouche, A.C. (1995). Dépôts de versant pléistocènes associés aux Rythmites du Saint-Maurice, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.49, n°2, p.275-289.

Karrow, P. F. (1957). *Pleistocene geology of the Grondines map-area, Québec*. Ph. D. thesis, University of Illinois, Urbana, 97 p.

Lamothe, M. (1985). *Lithostratigraphy and geochronology of the Quaternary deposits of the Pierreville and St. Pierre les Becquets areas, Quebec*. Ph.D. thesis, University of Western Ontario, London, Ontario.

Lamothe, M. (1989). A new framework for the Pleistocene stratigraphy of Central St. Lawrence Lowland, southern Quebec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.43, n°2, p.119-129.

Lamothe, M., Parent, M. et Shilts, W.W. (1992). *Sangamonian and early Wisconsinian events in St. Lawrence Lowland and Appalachians of southern Quebec, Canada*. in *The Last Interglacial-Glacial Transition in North America*, Geological Society of America Special Paper 270, P.U. Clark et P.D. Lea (éd.), p.171-184. Boulder (Colorado).

Lamothe M. et Allard G. (2009). *Inventaire, analyse et bilan des travaux cartographiques de la couverture quaternaire du Québec municipalisé*. Rapport inédit, pour le MDDEP, 116 p.

LaSalle, P. (1978). *Géologie des sédiments de surface de la région de Québec*. Ministère des Richesses naturelles, Québec, Service de l'exploration géologique. DPV-565, 22 p., cartes, échelle 1: 50 000.

LaSalle, P., Thibeault, L. et Charbonneau, L. (1978). *Géologie des sédiments meubles de la région de Portneuf*. Ministère de l'énergie et des ressources, Québec, Direction générale de la recherche géologique et minérale. DPV-741, 1 carte (échelle 1: 50 000).

Lortie, G. (1976). *Les écoulements glaciaires wisconsinien dans les Cantons de l'Est et la Beauce, Québec*. Mémoire de maîtrise, Montréal, Université McGill, Montréal, 218 p., carte des stries glaciaires (1: 253 440) et carte des rosettes statistiques des stries (1:506 888).

Maranda, R. (1977). *Levé géotechnique de la région de Bécancour – Rapport d'étude et carte d'aptitudes*. DPV-489. Québec, Ministères des Richesses naturelles, Services de géotechnique, 14 p., 1 carte.

Morin, P. et Boulanger, F. (2005). *Portrait de l'environnement du bassin versant de la rivière Bécancour*. Rapport produit par Envir-Action pour le Groupe de concertation du bassin de la rivière Bécancour (GROBEC). 184 p.

Occhietti, S. (1980). *Le Quaternaire de la région de Trois-Rivières-Shawinigan : contribution à la paléogéographie de la vallée moyenne du St-Laurent et corrélations stratigraphiques*. Ph.D. thesis, University of Ottawa, Ottawa.

Occhietti, S., Balescu, S., Lamothe, M., Clet, M., Cronin, T., Ferland, P. et Pichet, P. (1996). Late Stage 5 Glacioisostatic Sea in the St. Lawrence Valley, Canada and United States. *Quaternary Research*, vol.45, p.128-137.

Osborne, F.F. (1950). Marine crevasse fillings in the Lotbinière region, Quebec. *American Journal of Sciences*, vol.248, p.874-890.

Ouimet, S., Lamothe, M. et Barré, M. (2011). An IRSL investigation of Early Holocene Lake Lampsilis sediments, St. Lawrence Lowlands, Québec. *Quaternary Geochronology*, LED 2011 special issue.

Parent, M., 1987. *Late Pleistocene stratigraphy and events in the Asbestos-Valcourt region, Southeastern Québec*. Ph.D. Thesis, University of Western Ontario, London, Ontario.

Parent, M., and Occhietti, S. (1988). Late Wisconsinan deglaciation and Champlain Sea invasion in the St. Lawrence valley, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.42, n°3, p.215-246.

Parent, M., and Occhietti, S. (1999). Late Wisconsinan deglaciation and glacial lake development in the Appalachians of southeastern Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol.53, n°1, p.117-135.

Ross, M. (2005). *Stratigraphie et architecture des formations quaternaires au nord-ouest de Montréal - applications en géologie régionale*. Thèse de doctorat, INRS - Eau, Terre et Environnement, Université du Québec.

Saint-Julien, P. et Hubert, C. (1975). *Evolution of the Taconian Orogen in the Québec Appalachian*. American Journal of Sciences, vol.275-A, p.337-362.

Tessier, G.-R. (1966). *Sédiments non consolidés de la région Aston-Bécancour*. Rapport No 3-A. Québec, Ministère de la Voirie, Services des sols et matériaux, 13 p.

Tremblay, T., Nastev, M., Lamothe, M. (2010). Grid-based Hydrostratigraphic 3D Modelling of the Quaternary Sequence in the Chateauguay River Watershed, Quebec *Canadian Water Resources Journal*, vol.35, n°4, p.377-398.