



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 7515**

**Modélisation géologique 3D des sédiments quaternaires
du bassin versant de la rivière Chaudière, Québec**

O. Caron, M. Lamothe, N. Benoit, M. Nastev

2014

Canada 



**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 7515**

**Modélisation géologique 3D des sédiments quaternaires
du bassin versant de la rivière Chaudière, Québec**

O. Caron¹, M. Lamothe¹, N. Benoit², M. Nastev²

¹Université du Québec à Montréal

²Commission géologique du Canada – Division Québec

2014

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2014

doi:10.4095/295183

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir de GEOSCAN (<http://geoscan.rncan.gc.ca/>).

Notation bibliographique conseillée

Caron, O., Lamothe, M., Benoit, N. et Nastev, M., 2014. Modélisation géologique 3D des sédiments quaternaires du bassin versant de la rivière Chaudière, Québec; Commission géologique du Canada, Dossier public 7515, 1 fichier .zip. doi:10.4095/295183

Les publications de cette série ne sont pas révisées; elles sont publiées telles que soumises par l'auteur.

Sommaire

La modélisation géologique 3D des sédiments quaternaires du bassin versant de la rivière Chaudière, Québec est issu de la compilation des données ayant servi à produire les cartes synthèses des formations superficielles et de la géomorphologie quaternaire de l'Estrie-Beauce. La méthodologie adoptée découle de l'expérience des récents projets de cartographie quaternaire directement appliquée à l'hydrogéologie (Portneuf, AFSOQ, Châteauguay). Les données sont d'abord compilées dans une base de données et ensuite intégrées dans le logiciel de modélisation gOcad.

Le modèle a été conçu pour être utilisé lors l'estimation du bilan hydrologique dont la recharge de l'eau souterraine et pour la modélisation hydrogéologique (écoulement 3D). Pour ce faire, les unités de la carte des formations superficielles et les autres unités quaternaires de sous-surface ont été regroupées en neuf unités hydrostratigraphiques possédant de propriétés lithologiques et hydrostratigraphiques (lithostratigraphiques) similaires. Dans l'ordre stratigraphique les différentes unités présentes dans le modèle sont de type (du plus récent au plus ancien) : 1- sédiments organiques; 2- sédiments alluviaux, glaciolacustres et glaciomarins (sablo-graveleux); 3- sédiments glaciomarins et glaciolacustres (silto-argileux); 4- sédiments fluvioglaciaires; 5- sédiments glaciaires remaniés; 6- sédiments glaciaires minces; 7- sédiments glaciaires et quaternaires anciens (silto-argileux), 8- sédiments quaternaires anciens (sablo-graveleux), et 9- le roc. La zone d'étude est découpée par un maillage régulier de 250x250 mètres. Pour chaque maille, le modèle décrit l'ensemble des sédiments rencontrés depuis la surface jusqu'au roc incluant leur profondeur relative. Lorsqu'une unité est absente, une épaisseur nulle est attribuée. Malgré les incertitudes que pourrait comporter ce type d'analyse spatiale, la disposition proposée des sédiments quaternaires est suffisamment précise pour des modèles hydrogéologiques 3D à l'échelle régionale.

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	1
2. MÉTHODOLOGIE	3
3. ACQUISITION ET COMPILATION DES DONNÉES	5
3.1 Cartographie des formations superficielles	5
3.2 Standardisation et validation.....	7
4. MODÈLE CONCEPTUEL DE LA STRATIGRAPHIE QUATERNAIRE	9
5. MODÉLISATION 3D	15
5.1 Regroupement lithostratigraphique	15
5.2 Contraintes.....	16
5.3 Construction de la carte isopaque et choix de la méthode d'interpolation des différentes unités lithostratigraphiques.....	16
5.4 Construction du modèle	20
5.5. Résultats.....	20
6. CONCLUSIONS	21

Liste des tableaux

Tableau 1 : Critère de validation de la base de données du modèle 3D	8
Tableau 2 : Unités lithostratigraphiques du modèle 3D de la rivière Chaudière selon la codification de la CGC.....	15
Tableau 3 : Données primaires utilisées pour préparer la carte isopaque des formations quaternaires	18

Liste des figures

Figure 1. Méthodologie de réalisation du modèle géologique 3D.....	4
Figure 2. Coupe stratigraphique synthèse des vallées tributaires de la rivière Chaudière..	9
Figure 3. Coupe composite lithostratigraphique des trois facies de la Formation de Gayhurst.....	13
Figure 4. Coupes topo-géologiques du bassin versant de la rivière Chaudière : secteur de Lac Drolet (L-L') et secteur de Saint-Gédéon-de-Beauce (M-M').	17

Liste des Annexes

Annexe A : Cartes
Annexe B : Modèle Quaternaire 3D

1. Introduction

C'est dans le cadre d'un projet conjoint de la Commission géologiques du Canada (CGC) et de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), il y a déjà plus de 15 ans, qu'un premier programme moderne de cartographie quaternaire directement appliquée à l'hydrogéologie a été initié au Québec. L'étude couvrait les vallées inférieures des rivières Jacques-Cartier et Sainte-Anne dans la région de Portneuf (Parent *et al.*, 1998; Girard, 2000). La cartographie de surface s'est accompagnée d'une analyse des forages, afin de modéliser les variations régionales d'épaisseur de la séquence quaternaire. Les méthodes appliquées ont par la suite été améliorées dans le cadre des projets subséquents, en particulier lors du projet de caractérisation des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec dans la région de Mirabel (Martin Ross, 2005). Depuis le début des années 2000, une équipe du département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère de l'UQÀM s'est impliquée dans deux autres projets hydrogéologiques, chacun de ceux-ci comprenant une forte implication du milieu, en particulier celle des regroupements de bassins versants. Les projets de Châteauguay (Tremblay et Lamothe, 2005; Tremblay, 2008) et de la rivière Chaudière (Caron *et al.*, 2007a et b) ont ainsi permis la production de nouvelles cartes synthèses de la géologie du Quaternaire ainsi que des modèles géologiques tridimensionnels (3D).

En 2012, la Commission géologique du Canada a mandaté l'Université du Québec à Montréal (UQÀM) pour compléter le modèle géologique (3D) des sédiments quaternaires du bassin versant de la rivière Chaudière. L'étude de la distribution spatiale des dépôts quaternaires et de leur stratigraphie est capitale pour bien comprendre, par exemple, la dynamique d'écoulement des eaux souterraines. Ainsi, un modèle géologique 3D des sédiments quaternaires s'impose afin de bien comprendre plusieurs paramètres hydrologiques et hydrogéologiques tels : l'hydrostratigraphie régionale, l'identification des zones potentielles de recharge et d'émergence, l'étendue des aquifères granulaires de la région, le degré de confinement des aquifères rocheux, la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la contamination potentielle provenant des activités anthropiques à la surface de terrain, l'interaction entre les eaux de surface et eaux souterraines, etc. (Croteau 2005; Ross, 2005; Ross et al., 2005; Ross et al., 2006; Benoit et al., 2011; Benoit et al., 2014a et b; Brun Koné, 2013).

Les objectifs spécifiques de la modélisation géologique 3D décrite dans ce Dossier Public incluent les étapes suivantes :

- 1) Cartographier les formations superficielles à l'échelle des bassins versants de la rivière Chaudière;
- 2) Définir la nature, l'origine et l'architecture stratigraphique des unités quaternaires;
- 3) Construire, à l'aide d'outils informatiques, un modèle 3D représentant la topographie du roc et l'architecture stratigraphique des unités quaternaires à l'échelle régionale.

Dans le cadre du présent mandat la zone d'étude inclut le secteur du bassin de drainage de la rivière Chaudière, de la frontière internationale aux Basses-Terres du Saint-Laurent. Les cartes topographiques BNDT (Base nationale de données topographiques) couvertes

par le projet sont au nombre de 17, incluant le tout ou une partie des cartes : 21E/06, 21E/07, 21E/09, 21E/10, 21E/11, 21E/14, 21E/15, 21E/16, 21L/01, 21L/02, 21L/03, 21L/06, 21L/07, 21L/08, 21L/09, 21L/10 et 21L/11. Ce Dossier Public débute par les grandes lignes de la méthodologie appliquée et les données source, la description des dépôts quaternaires et la construction d'un modèle conceptuel représentant la succession lithostratigraphique des unités modélisées en fonction de leur contexte topographique. Dans la deuxième partie, les travaux de modélisation 3D des sédiments quaternaires sont suivis par la présentation des résultats et des différentes cartes construites dans le cadre de la modélisation 3D.

2. Méthodologie

Le développement accru des systèmes d'information géographiques (SIG) et des logiciels de géomodélisation depuis une dizaine d'années a permis d'aborder la géologie du Quaternaire, la géomorphologie et l'hydrogéologie à partir de nouvelles approches. La prise en compte de la troisième dimension autorisée par l'emploi de modèles numériques de terrain avec le couplage des données de sous-surface permet non seulement de modéliser le relief, d'effectuer des traitements géométriques plus rigoureux (repérage de plans de failles, regroupements en familles de failles, morphologie des bassins versants, étude du réseau hydrographique), mais aussi de mettre en évidence l'architecture des unités géologiques et des structures de sous-surface jusqu'ici difficiles à détecter et à caractériser. La découverte de la présence des nombreuses vallées enfouies situées dans la Beauce et les Cantons-de-l'Est en est un bel exemple.

La méthode utilisée s'inspire des travaux réalisés dans le secteur de la rivière Châteauguay (Tremblay, 2008 et Tremblay *et al.*, 2010) et le secteur de Mirabel (Ross, 2005). Elle est basée sur l'intégration des cartes des formations superficielles de surface et de données d'épaisseurs de diverses unités. Le modèle numérique tient également compte du modèle géologique conceptuel de la région d'étude. 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. Le traitement des données est réalisé à partir du logiciel gOcad (Paradigm[®], 2010). Ce logiciel permet une intégration de données variées et possède une capacité de calcul adéquate pour ce type de modélisation. La méthodologie détaillée est présentée à la figure 1.

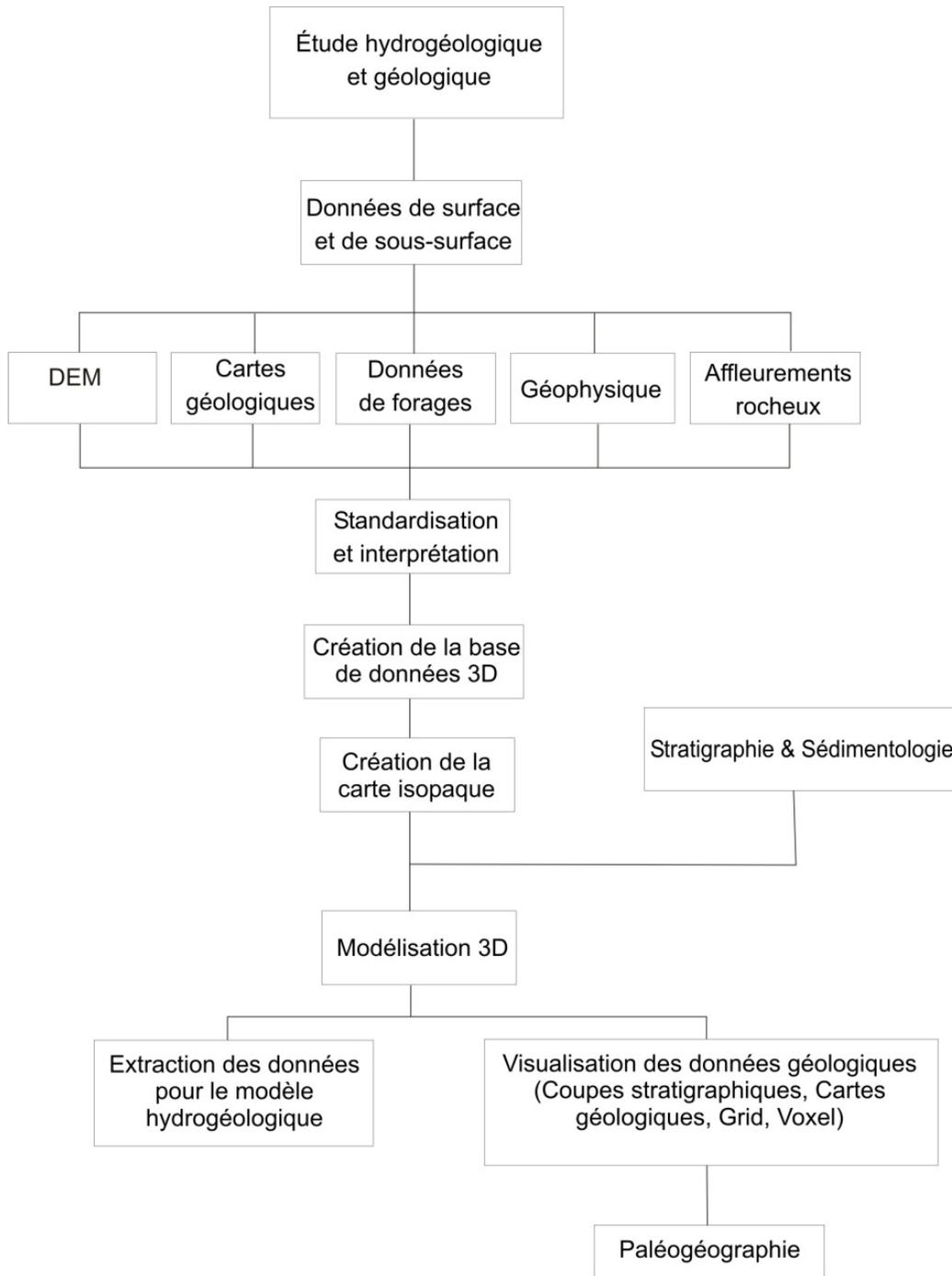


Figure 1. Méthodologie de réalisation du modèle géologique 3D.

3. Acquisition et compilation des données

3.1 Cartographie des formations superficielles

La cartographie réalisée dans le cadre des présents travaux a permis de mettre à jour et de raffiner les cartes existantes à l'échelle du bassin versant de la rivière Chaudière réalisées par de nombreux auteurs : Shilts, 1981; Chauvin, 1979a and 1979b; Gadd, 1978; Blais et Shilts, 1992a and 1992b; et Bolduc, 2003. Des travaux cartographiques systématiques ont également été réalisés pour les régions de Weedon, La Patrie/Mont Mégantic et Coaticook. Plus de détails sur la cartographie peuvent être trouvés dans Caron (2013).

L'ensemble du bassin versant a été recouvert par une immense masse de glace d'environ 2 000 à 3000 m d'épaisseur qui s'étendait jusqu'à l'emplacement actuel de la ville de New-York lors du dernier maximum glaciaire soit il y a environ 21 000 ans. La succession des sédiments quaternaires des bassins versants de la rivière Chaudière résulte d'une suite de systèmes complexes d'érosion et de sédimentation, caractéristique des terrains englacés au Quaternaire. La région de la Beauce recèle des séquences de sédiments quaternaires intéressantes à plusieurs égards tant pour l'important volume de sédiments que pour la variété et la complexité des faciès.

Du point de vue hydrogéologique les différents aquifères granulaires discontinus de la région comprennent les sédiments glaciaires et postglaciaires qui ont été mis en place lors des différents épisodes d'avancée et de retrait glaciaire de l'Inlandsis Laurentidien. La séquence stratigraphique comprend des dépôts meubles perméables. Cette catégorie réunit toutes les unités sablo-graveleuses d'origine diverse qui pourrait servir de source d'alimentation municipale ou industrielle. Les unités de sable et gravier situées entre le fleuve Saint-Laurent et la municipalité de Scott affleurent sur de grandes superficies (faible épaisseur) et sont essentiellement d'origine marine. En amont, des matériaux similaires d'origine post-glaciaire sont présents aux abords des cours d'eau dans les vallées sous forme de plaques isolées de superficie restreinte. Des sédiments alluvionnaires localisés le long des cours d'eau et comportant une fraction argilo-silteuse complètent cette séquence.

Les dépôts meubles peu perméables regroupent les formations dont la proportion de matériaux fins est significatives (ex. : till, silt et argile). Le till, d'origine glaciaire, recouvre l'ensemble du bassin versant. On retrouve dans la partie aval du bassin quelques îlots d'argiles marines et de dépôts de tourbe.

3.2 Acquisition et compilation des données de sous-surface

La réalisation d'un modèle géologique 3D repose sur la disponibilité et la qualité des données de sous-surface. Seules les données de haute fiabilité ont été incluses dans le

modèle. La compilation de ces données dénommées ci-après « données primaires » a été réalisée à partir de plusieurs sources et bases de données :

- *Données de forage du Ministère des Transports du Québec et du Ministère de l'Environnement du Québec* : Une collecte des différentes données de forages du Ministère des transports du Québec et du Ministère de l'Environnement du Québec a été réalisée. Les données compilées proviennent des différents relevés compilés lors des travaux routiers (FORLOG, GEOTECH, BDG, SOMMAIRE). Ces données, au nombre de 279 forages, représentent d'excellentes données pour leurs descriptions des unités lithologiques interceptées.
- *Données de forage tirées de McCormack (1982)* : Rapport hydrogéologique réalisé par Rénald McCormack visant la caractérisation hydrogéologique de la rivière Chaudière. Ces documents contiennent 15 sondages comportant de bonnes descriptions stratigraphiques.
- *Données de sondages des archives du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP)* : Le MDDEFP est dépositaire des différentes données touchant la ressource en eau. Ainsi, on retrouve un grand nombre de données n'ayant jamais été compilées dans le système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEFP et qui ont été compilées pour le secteur Chaudière. Ces données provenaient essentiellement de compagnies privées et d'études antérieures du Ministère de l'Environnement (ancienne appellation du MDDEFP).
- *Données du système d'information hydrogéologique* : Ces données sont disponibles sur le site internet du MDDEFP (www.menv.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm). Ces données sont très nombreuses mais apportent très peu d'information sur la lithologie et la granulométrie des sols (elles sont très sommaires). Leur densité importante a toutefois été très utile afin de calculer l'épaisseur totale des sédiments à l'échelle du bassin versant et aussi pour combler des secteurs sans données de forages.
- *Données de forage de la Commission géologique du Canada* : Des données (77 forages) provenant de la réserve de la Commission géologique du Canada ont aussi été compilées dans la base de données. Ces forages ont été réalisés et interprétés notamment par William W. Shilts et Sharon Smith dans les années 80 principalement dans le secteur de la Haute-Chaudière. Ces forages stratigraphiques contiennent des descriptions lithostratigraphiques les plus détaillées du projet.
- *Données stratigraphiques académiques de l'Université du Québec à Montréal* : Des équipes de l'UQÀM (dans le cadre du cours de cartographie et géomorphologie des dépôts meubles; SCT-6820) sous la supervision des professeurs Martin Roy et Michel Lamothe ont réalisé des travaux cartographiques systématiques pour les régions de Weedon, La Patrie/Mont Mégantic et Coaticook. Plus récemment, dans le cadre d'une thèse de doctorat (Caron, 2013), 39 coupes stratigraphiques ont été analysées et intégrés aux présents travaux.

- *Affleurements rocheux* : Les affleurements rocheux ont été compilés et numérisés à partir des différentes cartes géologiques compilées sur l'interface de SIGEOM du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (région couverte notamment par la carte-compilation de Slivitzky et Saint-Julien (1987) et des données compilées au GPS lors des campagnes de terrain.
- *Modèle numérique de terrain* : Les modèles numériques de terrain utilisés dans le cadre de cette modélisation sont les produits SRTM de la NASA (<http://srtm.csi.cgiar.org/index.asp>). Ce modèle numérique de terrain a une résolution de 90 m par 90 m pour chaque maille. La Commission géologique du Canada a aussi fournis un DEM avec une résolution de 30 m par 30 m pour le secteur du bassin versant de la rivière Chaudière.
- *Cartes des formations superficielles* : Les données de la répartition des formations superficielles essentielles à la modélisation 3D des sédiments proviennent des cartes 2D réalisées par Caron (2013).

3.2 Standardisation et validation

Les étapes de cartographie, d'intégration, de standardisation et d'interprétation des données ont été réalisées à l'aide de différents logiciels : MapInfo 9.0 (PitneyBowes, 2009a), ArcGIS 9.3 (ESRI, 2011) et de Vertical Mapper 9.0 (PitneyBowes, 2009b). Dans un premier temps, les données et les informations ont été compilées dans une base de données respectant les informations originales. Ces données sont en général peu ou pas uniformisées. 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 (Ross, 2005, Ross *et al.*, 2005 et Ross *et al.*, 2006). L'interprétation et la légende décrivant les unités quaternaires ainsi que les couleurs de leur présentation ont été standardisées d'après la codification de la CGC (Parent *et al.*, 2010).

La réalisation d'un modèle géologique tridimensionnel repose sur la disponibilité et la qualité des données de sous-surface. Prendre note que les données brutes disponibles peuvent avoir été manipulées et transférées plusieurs fois, augmentant ainsi les imprécisions. Les données de forages ont été analysées et classées selon une série de critères de fiabilité afin de quantifier les incertitudes du modèle 3D (Ross *et al.*, 2005). Ces critères de validation sont présentés au tableau 1. Ce dernier permet d'établir un indice et une cote de fiabilité pour les différents types de données basés sur des critères spécifiques. Ensuite l'indice de fiabilité est utilisé de manière à donner plus de poids, lors de la modélisation, aux données ayant une cote élevées.

Tableau 1 : Critère de validation de la base de données du modèle 3D

Indice de fiabilité	Cote de fiabilité	Critère	Type de données
5	Très élevée	Les logs originaux des forages, les rapports et les échantillons sont disponibles. La description des logs de forages est très détaillée et validée. La localisation des forages s'avère bonne.	Forages géotechniques et stratigraphiques
4	Bonne	Les logs originaux des forages et les rapports sont disponibles. Quelques localisations de forages ont été validées lors des campagnes de terrain.	
3	Acceptable	Les logs originaux de forages ne sont pas disponibles. Il n'y a pas de contradiction apparente avec les données fiables limitrophes.	Forages géotechniques et forages de la banque de donnée des puits du Québec (système d'information hydrogéologique ; SIH).
2	Faible	Un problème avec les forages ou les puits; mauvaise localisation ou mauvaise description lithostratigraphique.	Forages de la banque de données du système d'information hydrogéologique (SIH).
1	Mauvaise	Plusieurs problèmes avec les forages ou les puits.	Forages de la banque de données du système d'information hydrogéologique (SIH).

4. Modèle conceptuel de la stratigraphie quaternaire

Le modèle conceptuel (figure 2) représente la succession lithostratigraphique des unités modélisées en fonction de leur contexte topographique. Dans le contexte régional du bassin versant de la rivière Chaudière, le modèle conceptuel permet une meilleure intégration schématique et géométrique de l'architecture des différentes unités.

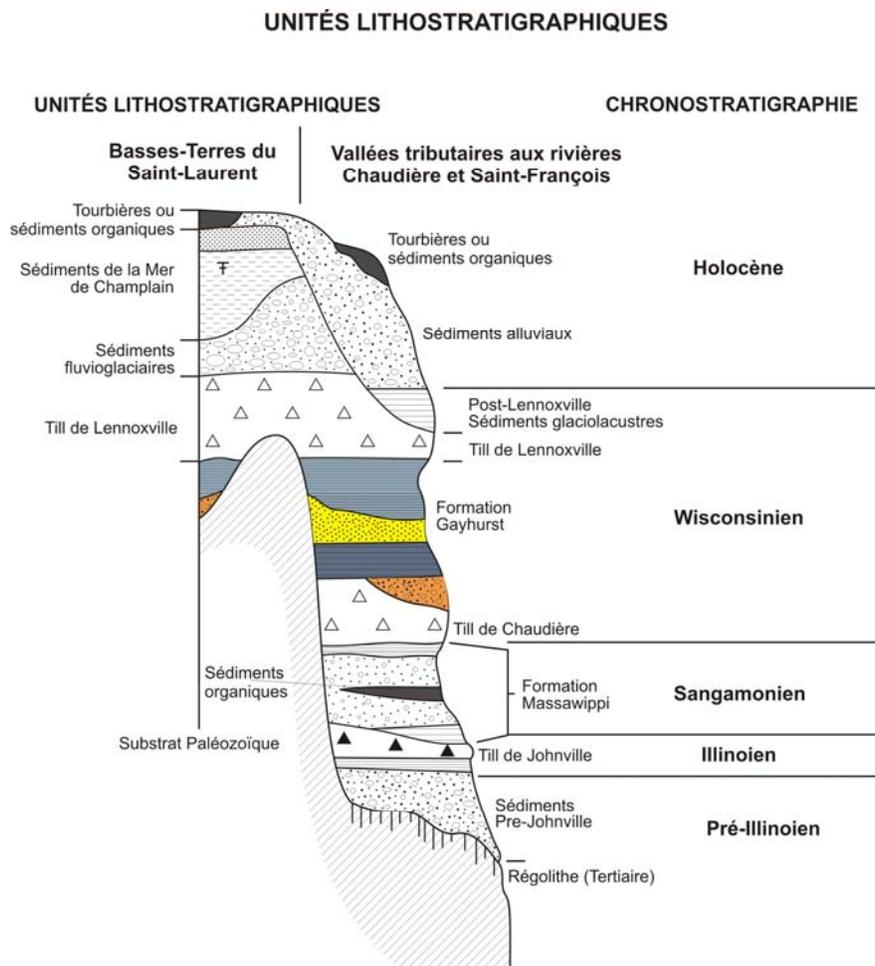


Figure 2. Coupe stratigraphique synthèse des vallées tributaires de la rivière Chaudière.

- *Sédiments de tourbière (O)*: Les dépôts organiques sont surtout constitués d'accumulations de tourbes à sphaigne, d'éricacées et de débris végétaux. Présents sur l'ensemble de la région à l'étude, ils apparaissent surtout dans les dépressions topographiques mal drainées et aux abords des lacs. Ils sont déposés dans des milieux palustres à plan d'eau ouvert (étangs) et les épaisseurs de ces dépôts peuvent varier de 1 à 10 m (Parent *et al.*, 2010).

- *Dépôts alluviaux (Ap, At, Ax), Sables et graviers glaciomarins littoraux et pré-littoraux (MGB), Sédiments glaciolacustres littoraux et pré-littoraux (LGB, LGd)* : La vallée de la rivière Chaudière et la plupart des vallées confluentes fluviales sont recouvertes par une couche de sédiments alluviaux, sur des épaisseurs pouvant atteindre plusieurs mètres. Ils ont été mis en place dans les plaines alluviales actuelles. La granulométrie de ces dépôts est sableuse, sablo-graveleuse ou silteuse. Ces dépôts alluviaux correspondent généralement à l'aquifère de surface (Parent *et al.*, 2010). Les sédiments littoraux et pré-littoraux marins et glaciolacustres (MGB, LGB) se présentent comme des sables, des sables silteux stratifiés, des graviers et des blocs formant des cordons littoraux recouvrant les unités lithostratigraphiques antérieures. Ils ont été mis en place lors de la régression marine et glaciolacustre. Ces unités peuvent atteindre des épaisseurs de 1 à 5 m. Les sédiments deltaïques (LGd) associés à cet environnement sédimentaire sont constitués de silts, de sables grossiers/graveleux et graviers stratifiés formant des accumulations tabulaires parfois marquées de chenaux. Ces deltas ont été mis en place à l'embouchure des cours d'eau qui se déversaient dans le lac proglaciaire. L'épaisseur maximale de ces dépôts est d'environ 15 m.

- *Séquences glaciomarines (MGa/LGa)* : Les sédiments glaciomarins sont associés à la Mer de Champlain. Ils sont présents dans la partie NW de la région à l'étude, dans les Basses-Terres du Saint-Laurent. Ils sont fossilifères, contenant plusieurs espèces typiques des mers arctiques (*Hiatella arctica*, *Macoma balthica*, *Balanus crematus*, *Portlandia arctica*). Les sédiments associés au faciès d'eau profonde sont composés de silt argileux et d'argile silteuse, massifs et parfois laminés (MGa). La mise en place des sédiments fins se fait généralement par décantation durant la phase d'inondation glaciomarine. Leur épaisseur peut varier dépendamment des dépressions et de l'accommodation et atteindre plus de 30 m. L'importance hydrostratigraphique des argiles marines est notable, puisqu'elles sont « imperméables » et forment une couche protectrice des aquifères fracturés. L'infiltration de l'eau de surface vers l'aquifère régional est donc très limitée. En surface, ils sont majoritairement constitués de sables et graviers, qui forment une couche perméable qui repose sur les sédiments antérieurs. Les dépôts associés au faciès glaciolacustre d'eau profonde (LGa) se présentent comme des rythmites caractérisées par une alternance régulière de lits silteux situées dans les dépressions plus profondes du paléo-bassin. Elles présentent dans certains cas des caractéristiques sédimentaires de varves. Selon l'hypothèse d'une mise en place annuelle pour chaque couplet, les lits foncés représenteraient des lits d'hiver, soit une sédimentation passive liée à la décantation de sédiments lorsque les eaux du paléolac étaient recouvertes de glace; alors que la sédimentation des lits pâles serait liée aux saisons estivales et leur mise en place serait associée à des courants de turbidité sur le fond du paléolac (Reineck et Singh, 1980). Ces unités forment des surfaces tabulaires disséquées par le ravinement. Les épaisseurs peuvent atteindre environ 10 mètres.

- *Séquences fluvioglaciaires (G; Gx/GxT/Gs)* : Les sédiments fluvioglaciaires sont subdivisés en deux unités selon leur mode de mise en place : sédiments fluvioglaciaires de type juxtaglaciaire (de contact) et les sédiments fluvioglaciaires proglaciaires. Lorsque le corps sédimentaire est déposé par des eaux en milieu sous-glaciaire ou au contact de la

glace (Gx), ils sont surtout constitués de sables et graviers stratifiés et déformés. Ces sédiments sont mis en place par les eaux de fonte au contact ou à proximité du glacier. Les unités situées sous la limite marine ou glaciolacustre ont généralement été remaniées par les vagues et les courants lors de la submersion ou de l'exondation. Les dépôts fluvioglaciaires de contact sont relativement volumineux mais couvrent une faible superficie à l'échelle du bassin versant et peuvent atteindre des épaisseurs de 40 m. Quelques champs d'eskers sont présents sur l'ensemble de la zone d'étude. Dans le secteur appalachien, les traits les plus significatifs de la géomorphologie sont caractérisés par une série de moraines (GxT) qui ont été mises en place au cours de la récession progressive d'un front glaciaire actif qui abandonne eskers et amas fluvioglaciaires frontaux, dans un environnement glaciolacustre contrôlé par l'élévation des exutoires régionaux. Les principaux complexes morainiques sont localisés dans les secteurs de Woburn, Mégantic et Ditchfield.

Les dépôts fluvioglaciaires déposés en milieu proglaciaire subaquatiques (Gs) à subaériens forment des cônes d'épandage et sont souvent constitués de graviers, de sable et/ou de silt et un peu de till ou de diamicton. L'épaisseur de ces dépôts peut atteindre plus de 5 mètres. Ces unités se sont mises en place dans des cours d'eau de type fluvial (chenaux anastomosés) extérieurs au glacier et dans des environnements de sédimentation sous-aquatique (à une altitude inférieure à celle atteinte par les eaux glaciolacustres; pour les secteurs ayant connu l'épisode glaciolacustre), lors de la déglaciation. Le granoclassement est de type normal, soit une décroissance de l'énergie et du régime hydraulique vers le haut de la séquence. Localement des lentilles de sables et graviers triés ont été observées. De plus, ces plaines d'épandage sont parfois parsemées de kettles, de chenaux abandonnés ou recouvertes localement de dunes.

- *Séquence glaciaire : Till de surface (Lennoxville/Gentilly; Tm, Tc, Tr et Trm) :* Le till de surface est un diamicton à matrice silto-sableuse (Bas plateau à Piedmont) à silto-argileuse (haut-plateau) mis en place directement par le glacier Gentilly/Lennoxville. Le till est l'unité la plus répandue sur l'ensemble de la zone d'étude. La description de cette unité concerne le secteur appalachien puisque l'essentiel de la superficie totale des deux bassins versants y est incluse. Dans le cas du Till de Gentilly, le remaniement par les vagues et les courants peut être localement important sur le till (Tr / Trm; Till remanié en couverture continue/discontinue) sous la limite marine, mais est surtout très superficiel, de l'ordre de 50 cm et moins en général. Par contre, la surface délavée est souvent caractérisée par des concentrations de blocs métriques. Dans les Appalaches, le Till de Lennoxville est généralement composé de blocs et graviers, et d'une matrice silto-sableuse (comprenant environ 25% argile, 50 % silt et 25% sable). À certains endroits, en particulier dans les vallées, la matrice du till est silto-argileuse en raison de l'incorporation de varves de la Formation de Gayhurst et peut atteindre des épaisseurs dépassant les 40 m. La teneur en cailloux cristallins précambriens varie de 1 à 3% pour la partie appalachienne du bassin versant. Ce till contient généralement moins de 4% de carbonate dans la fraction granulométrique inférieure à 63 µm et moins de 20% de cailloux calcaires-calcareux.

- *Formations quaternaires anciennes (essentiellement des sédiments glaciolacustres fins ; varves ou rythmites ; Q) et formations quaternaires anciennes sableuses (faciès deltaïques et fluvioglaciaires enfouis ; Q/Gx, Q/LGd) :* Les sédiments antérieurs à la dernière glaciation (i.e. pré-Wisconsinien supérieur, Q) sont surtout situés le long des talwegs des vallées régionales. L'épaisseur de ces différents faciès varie de quelques décimètres à plus de 100 m environ. On les retrouve parfois en surface surtout le long des rivières où les glissements sont fréquents. Dans certains cas, ces sédiments se retrouvent également exposés en surface sur des zones qui ont subi des périodes d'érosion associées généralement à l'action de divers processus postglaciaires, fluviaux et gravitaires. Ils peuvent avoir une importance hydrostratigraphique capitale, notamment lorsque des sédiments granulaires sont présents sous une couche aquitard (till, varve). La séquence pré-Johnville surmonte une surface altérée (d'âge probablement tertiaire) au sommet du roc, et est constituée de sables et graviers fluviatiles et de dépôts glaciolacustres montrant l'avancée de la glaciation de Johnville. Cette unité perméable pourrait constituer un aquifère enfoui dans certaines vallées. Le Till de Johnville et les sédiments de la Formation de Massawippi (constitués de sables et graviers) sont observés occasionnellement au fond de certaines vallées. Le rôle du Till de Johnville est probablement celui d'un aquitard, tandis que les faciès sableux de la Formation de Massawippi pourraient, à certains endroits, former un aquifère enfoui s'ils sont rechargés par la surface ou par l'aquifère fracturé. Cependant, cette unité sableuse et granulaire est probablement trop mince pour être importante. Le Till de Chaudière est une unité d'épaisseur variable retrouvée à plusieurs endroits, surtout au fond des vallées, qui forme une couche aquitard. La position stratigraphique de la Formation de Gayhurst suggère qu'elle est une séquence glaciolacustre interstadaire entre les séquences glaciaires Chaudière et Lennoxville. Le volume de sédiments Gayhurst préservé est considérable et leur épaisseur peut dépasser les 100 mètres dans certains secteurs. Ils ont été observés le long des nombreuses rivières tributaires des deux bassins versants. Les sédiments ont été divisés en trois sous-unités sédimentaires suivant leurs faciès et leur contexte « paléoenvironnemental » par rapport à la marge glaciaire. Cette partie présente donc une subdivision lithostratigraphique, basée sur les faciès retrouvés, en 3 membres appelés respectivement Faciès I, II et III (figure 3).

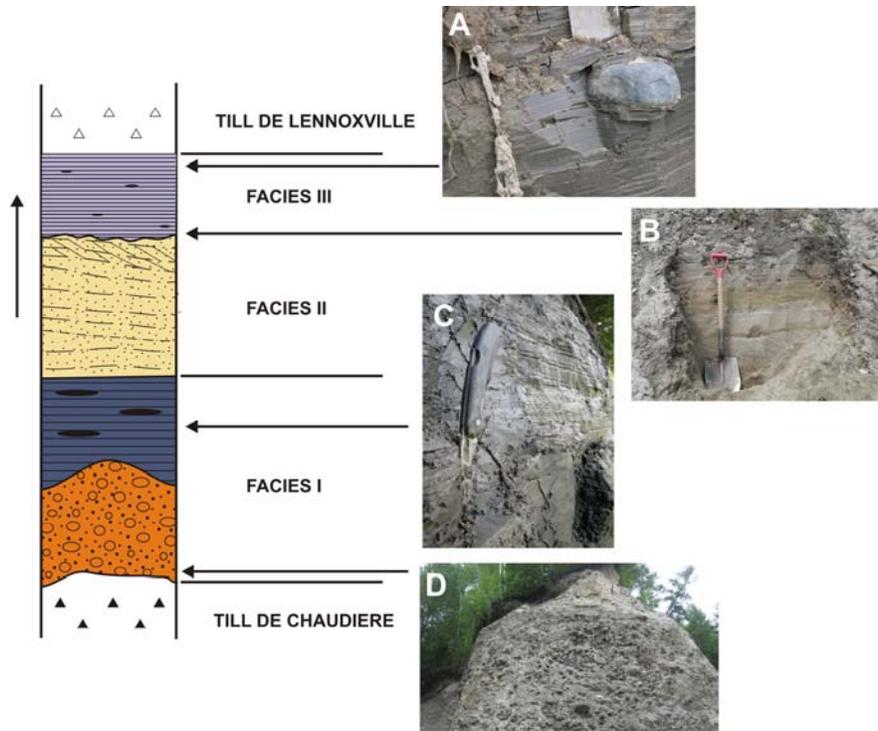


Figure 3. Coupe composite lithostratigraphique des trois facies de la Formation de Gayhurst.

Faciès I de la Formation Gayhurst : Les sédiments du Faciès I sont représentés par des sédiments essentiellement fluvioglaciaires composés de sables et graviers (Q/Gx), correspondant à la déglaciation du glacier Chaudière. La fonte du glacier Chaudière a permis la déposition d'épaisses accumulations de sédiments fluvioglaciaires mis en place en position juxtaglaciaires et proglaciaires. De nombreuses coupes stratigraphiques dans le bassin versant de la rivière Saint-François notamment dans les secteurs de la rivière Tomifobia, de la ville de Coaticook, de la rivière Niger et de la rivière Eaton, exposent ces sédiments enfouis. Ces sédiments sont ensuite surmontés par des sédiments glaciolacustres laminés. Un peu partout dans la vallée de la rivière Chaudière, on retrouve des épaisseurs de rythmites qui peuvent atteindre jusqu'à 100 m et s'étendre sur des distances de plus de 50 m. Ces sédiments glaciolacustres rythmés complètent le Faciès I. Ils se composent d'alternance de laminations de silt, d'argile et de sable. Ces faciès sédimentaires sont régulièrement interrompus à des intervalles irréguliers par des diamictons silteux et caillouteux mis en place par des courants gravitaires et par des glissements sous-aquatiques. Les sédiments rythmés fins d'origine glaciolacustre déposés lors d'un retrait glaciaire sont d'épaisseurs variables (<1cm à > 10cm) et contiennent régulièrement des lits et des lentilles diamictiques (1 cm à 2 m). La sédimentation est contrôlée par la prédominance des courants de densité sous-aquatiques (underflows) dans lesquels des eaux de fonte chargées de sédiments sont évacuées vers la marge glaciaire. Des structures sédimentaires typiques des courants de turbidités ont été observés notamment de type *flow roles* et *sole markings*. A la coupe type, on retrouve d'abondantes concrétions.

Faciès II de la Formation Gayhurst : Le second faciès est représenté par des sables deltaïques (Q/LGd). Ce faciès a été observé à la coupe type de la Formation de Gayhurst (Shilts, 1981), à proximité de la rivière Eugénie (Localités de Lac-Drolet et de Saint-Samuel-de-Gayhurst; en amont du bassin versant de la rivière Chaudière), à la coupe M de la rivière Moe et à la coupe de New Mexico. L'épaisseur du Faciès II peut varier latéralement de 22 m à 47 m dans le secteur de la coupe type. Les faciès deltaïques observés présentent un granoclassement inverse avec des sables fins à la base de la séquence et des sables grossiers incluant des lentilles de graviers au sommet. Des structures *foresets* et *bottomsets* ont aussi été observés au sommet de ce faciès. L'absence de lits frontaux obliques et l'épaisseur de l'unité semble suggérer que ce delta résulte d'un accroissement progressif du niveau lacustre.

Faciès III de la Formation Gayhurst : Le Faciès III de la Formation Gayhurst est représenté par des sédiments rythmés de silt/argile (varves) distales mis en place lors de l'avancée du glacier Lennoxville. L'élévation de la colonne d'eau a atteint une altitude d'environ 430 m en raison de la fermeture des exutoires de basses altitudes. Lors d'une avancée glaciaire les sédiments sont : 1) répartis plus uniformément; 2) sont déposés sur une distance beaucoup plus distale par rapport à la glace; 3) sont drapés sur des surfaces irrégulières ; 4) sont caractérisés par des lamelles fines et uniformes sans lits diamictiques et on retrouve un pourcentage très faible de débris glaciaires. Les sédiments fins associés à une avancée glaciaire sont uniformément stratifiés avec des couplets minces (<1 cm) contenant à l'occasion des galets de délestages. Ce faciès peut contenir parfois de la microfaune telle que des diatomées. Des concrétions peuvent aussi être retrouvées. Ce faciès contient moins de 1% de fractions grossières (> 63 µm) et quelques galets de délestage peuvent être retrouvés. Il a été observé sur quelques coupes dans le secteur de la coupe type (Shilts, 1981) le long de la rivière Chaudière. Des faciès analogues ont été aussi retrouvés à la coupe principale de rivière Grande-Coulée et à la coupe de la rivière Clifton dans le bassin de la rivière Saint-François.

- Le roc (R) : Cette unité est composée d'affleurements rocheux et de roc à mince couverture de sédiments meubles (moins de 60 cm). Le substratum rocheux a été identifié et cartographié à partir d'observations sur les photographies aériennes et par des observations terrains. Le rôle hydrogéologique du substratum rocheux est en relation avec sa proximité à la surface. Pour un même sédiment, plus l'épaisseur totale de sédiments sur roc est faible, plus l'aquifère fracturé est près de sa recharge et plus il est vulnérable. Cette unité regroupe l'ensemble des lithologies du substratum rocheux de la province géologiques des Appalaches essentiellement formée de roches de type sédimentaire et volcanique déformées et faiblement métamorphisées d'âge Cambrien à Dévonien inférieur. L'objectif de ce programme de cartographie étant la caractérisation des dépôts de surface, la nature et la structure du roc ne sont pas décrites en détail. Benoit et al. (2014b) fait une courte synthèse de la géologie du socle rocheux de la région décrite en détail par plusieurs auteurs (Slivitzky et St-Julien, 1987; Castonguay et al., 2000 et 2002; MRN, 2002; Rivard et al., 2013).

5. Modélisation 3D

5.1 Regroupement lithostratigraphique

Pour diminuer le nombre de composantes du modèle 3D et ainsi simplifier la procédure de la modélisation, les unités possédantes des propriétés lithologiques et hydrostratigraphiques (lithostratigraphiques) similaires ont été regroupées en une seule unité. Les 9 composantes finales conservées suite aux simplifications du modèle quaternaire 3D sont décrites au tableau 2 et leur distribution spatiale est présentée aux cartes 1 et 2 en annexe A.

Tableau 2 : Unités lithostratigraphiques du modèle 3D de la rivière Chaudière selon la codification de la CGC.

Unités lithostratigraphiques	Identification
1- sédiments organiques (O)	- Sédiments de tourbière (O)
2- sédiments alluviaux, glaciolacustres et glaciomarins - sablo-graveleux (Ap, At, Ax, MGb, LGb, LGd)	<ul style="list-style-type: none"> - Alluvions (inclus Ap, At, Ax) - Sables et graviers glaciomarins littoraux et pré-littoraux (MGb) - Sédiments glaciolacustres littoraux et pré-littoraux (LGb, LGd)
3- sédiments glaciomarins et glaciolacustres - silto-argileux (MGa, LGa)	<ul style="list-style-type: none"> - Argiles et silts glaciomarins marins (MGa) - Sédiments glaciolacustres d'eau profonde (LGa)
4- sédiments fluvioglaciacaires (Gx, Gs, GxT)	- Sédiments fluvioglaciacaires (Graviers et sables grossiers ; Gx, Gs, GxT)
5- sédiments glaciaires remaniés (Tr, Trm)	- Till remanié (Tr, Trm)
6- sédiments glaciaires minces (Tm)	- Till en couverture mince et discontinue (Sédiments glaciaires ; Tm).
7- sédiments glaciaires et quaternaires anciens - silto-argileux (Tc, Q)	<ul style="list-style-type: none"> - Till en couverture continue (Sédiments glaciaires ; Tc) - Formations quaternaires anciennes (essentiellement des sédiments glaciolacustres fins ; varves ou rythmites ; Q)
8- sédiments quaternaires anciens - sablo-graveleux (Q/Gx, Q/LGd)	- Formations quaternaires anciennes sableuses (faciès deltaïques et fluvioglaciacaires enfouis ; Q/ LGd, Q/Gx)
9 – Substratum rocheux (R)	- Substratum rocheux (R).

L'approche de la modélisation préconisée visait le passage des données ponctuelles et 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 3D des données a été réalisée à l'aide du logiciel de géomodélisation gOcad (Paradigm, 2010). 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, 2011). Il devient donc intéressant de travailler dans le même environnement numérique pour les étapes de cartographie vectorielle et de modélisation 3D en mode matriciel.

5.2 Contraintes

L'ajout de données de contraintes et de points de contrôle a été nécessaire particulièrement en ce qui attrait à l'épaisseur des zones de till épais et de till mince. La couverture de données primaires étant parfois particulièrement discontinue, bon nombre d'informations recueillies lors des campagnes de terrain ont été ajoutées comme données minimales d'épaisseurs pour les unités géologiques. Ces données comportent des informations sur les épaisseurs des unités et font en sorte que l'architecture du modèle est bonifiée puisque la densité et la localisation des données primaires n'est pas toujours uniforme.

5.3 Construction de la carte isopaque et choix de la méthode d'interpolation des différentes unités lithostratigraphiques.

La carte isopaque des sédiments représente la distribution de l'épaisseur totale des formations superficielles qui recouvrent le roc. Celle-ci a été réalisée à l'aide de la carte des formations superficielles (Carte 1 – Annexe A) et des différentes données primaires (tableau 3) couvrant une aire débordant légèrement de la zone d'étude. La première phase dans sa réalisation consistait à extraire les zones d'affleurements rocheux et de till mince ($\leq 1\text{m}$) à partir des cartes géologiques et des formations superficielles. Ailleurs, la profondeur au roc a été calculée en n'utilisant que les forages qui ont atteint le roc. L'épaisseur maximale des zones de till mince après interpolation a été simplifiée à 1 m. Le calcul des épaisseurs de sédiments pour les vallées fluviales dans la partie appalachienne du bassin versant, caractérisées par de grandes épaisseurs de dépôts, s'est réalisé à partir des données possédant les meilleurs indices de fiabilité (tableau 3, carte 3). Les calculs pour les différentes épaisseurs des unités géologiques ont été réalisés selon la méthode d'interpolation spatiale *discrete smooth interpolator* (DSI). Cette méthode d'interpolation spatiale permet une estimation linéaire sans biais et à variance minimale des données disponibles. Les différentes cartes d'épaisseurs (cartes 4 à 11) des unités lithostratigraphiques ont également été quantifiées avec cet interpolateur. La proportion des données SIH (tableau 3) étaient majeurs (plus de 90% des données de sous-surface disponible) mais la couverture des forages stratigraphiques, des données géotechniques, des données provenant des travaux hydrogéologiques et des données provenant de travaux académiques ont permis de créer un modèle très réaliste de la géologie de cette

région. Une série de 16 coupes stratigraphiques (exemple : figure 4) a été intégrée au modèle afin d'améliorer le réalisme géologique de certaines vallées (Caron, 2013). Ces coupes stratigraphiques ont été conçues avec l'aide des travaux stratigraphiques réalisés sur le terrain, avec les données de forage possédant les critères de fiabilité 1 et 2 et également avec l'intégration des données des affleurements rocheux.

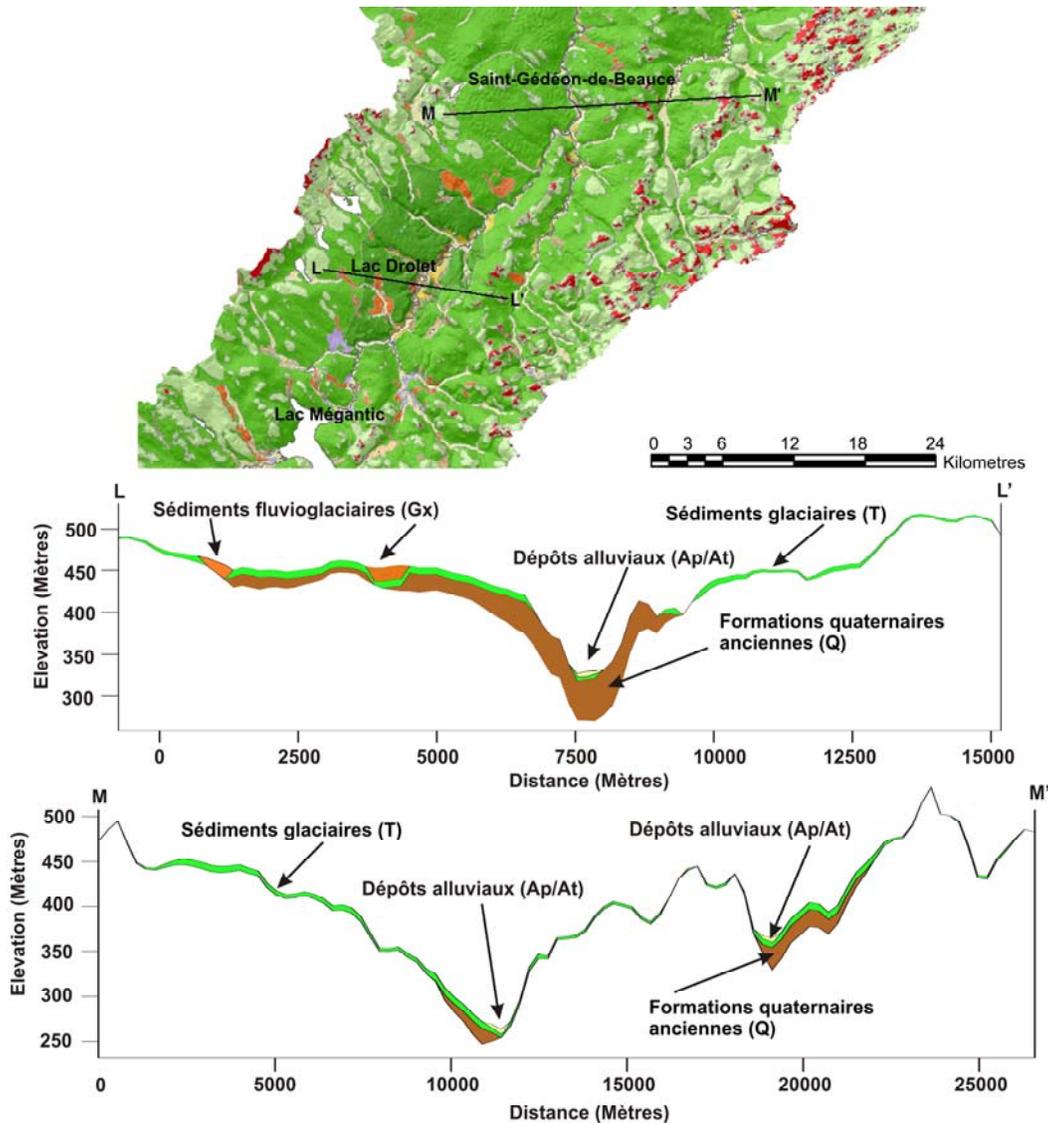


Figure 4. Coupes topo-géologiques du bassin versant de la rivière Chaudière : secteur de Lac Drolet (L-L') et secteur de Saint-Gédéon-de-Beauce (M-M').

L'estimation des épaisseurs des dépôts est contrôlée par la proximité du roc. L'épaisseur de matériel progresse régulièrement depuis une épaisseur nulle près des zones élevées avec affleurements vers une épaisseur maximale dans le centre des vallées. L'épaisseur totale des sédiments est comprise entre 0 et 126 m. La moyenne se situe entre 8 et 20 m, tandis que une portion très faible se trouve en 60 et 126 m. Les résultats de cette interpolation concordent très bien avec les observations de terrain.

Tableau 3 : Données primaires utilisées pour préparer la carte isopaque des formations quaternaires

Type de données		Quantité	Commentaires	Facteur de fiabilité	% des forages selon l'ensemble des données disponibles
Affleurements rocheux numérisés		35 765	Données linéaires qui ont été numérisés et intégré dans le logiciel SIG (ArcGIS 9.3).	5	
Travaux académiques (Coupes stratigraphiques)	McDonald (1969)	19	Données stratigraphiques des coupes généralement localisées le long des rivières.	5	0.09 %
	Shilts (1981)	22	Données stratigraphiques des coupes dans le secteur de la rivière Chaudière.	5	0.09 %
	Parent (1987)	18	Données stratigraphiques des coupes généralement localisées le long des rivières.	5	0.09 %
	Larocque (1991)	49	Données stratigraphiques des coupes généralement localisées le long des rivières.	5	0.24 %
	Caron (2013)	39	Données stratigraphiques des coupes généralement	5	0.19 %

Type de données	Quantité	Commentaires	Facteur de fiabilité	% des forages selon l'ensemble des données disponibles
		localisées le long des rivières.		
Transport Québec (MTQ)	815	Données de forages	4	2.60 %
Rénald McCormark	340	Données de forages	3	1.58 %
Forages stratigraphiques de la Commission CGC	42	Données de forages	5	0.20 %
Georges Simard	Sondages : 76 forages Sismiques : 38 sondages sismiques	Données de forages	3	0.18 %
Forages exploration minière, Rivière Moe et secteur d'Eustis	40 forages	Données de forages	4	0.09 %
MDDEFP (Compilation)	739 sondages et forages	Données de forages	2 / 3	3.59 %
MDDEFP (SIH)	18 724 forages	Données linéaires	1 / 2	90.95 %
Données topographiques (Modèle d'élévation numérique ; STRM)		Données matricielles de surface ; résolution : 90 x 90 m		
Cartes géologiques des dépôts de surface		Données vectorielles de surface divisées en 24 unités géologiques et simplifiées en 15 unités géologiques pour le modèle 3D.		

5.4 Construction du modèle

La modélisation géologique 3D a pour objet de fournir une représentation géoréférencée en format numérique de la géométrie des unités géologiques d'une région donnée. Les différentes surfaces ont été générées à l'aide du logiciel gOcad (Paradigm, 2010). Ce logiciel permet une intégration de données variées et possède une capacité de calcul adéquate pour ce type de modélisation. Le bassin versant a été discrétisé en un maillage tridimensionnel dont chaque cellule a une résolution de 250m x 250m. Ce maillage s'avère standard pour l'intégration des données et malgré l'incertitude que représente ce type d'analyse spatiale, il apparaît suffisamment précis pour des modèles hydrogéologiques régionales.

5.5. Résultats

Les résultats de la modélisation sont présentés aux cartes 4 à 11 (annexe A) et la description du fichier électronique contenant le modèle quaternaire 3D se trouve à l'annexe B. La modélisation 3D a révélé que les sédiments préservés sous le till de surface (Q) sont contraints dans les vallées tributaires et sous les plaines alluviales des deux bassins versants. Une grande partie du volume de cette unité est représentée par les sédiments glaciolacustres de la Formation de Gayhurst. Or, la complexité de la stratigraphie et des faciès a fait en sorte que les différentes séquences n'ont pas été différenciés dans le présent travail (e.g. Formation de Gayhurst, Till de Chaudière, la Formation de Massawippi et le Till de Johnville). Il est planifié, dans un avenir rapproché, de réaliser des modèles plus exhaustifs sur la différenciation des faciès dans les vallées enfouies. Comparativement aux Basses-Terres du Saint-Laurent, la topographie accidentée des Appalaches a contrôlé en partie la mise en place des sédiments vers les vallées. Il n'y a donc pas d'écart majeur, dans le secteur Appalachien, avec la distribution déduite des unités de surface et la distribution totale. Les sédiments glaciaires sont répandus sur l'ensemble du bassin, les épaisseurs variant de plus de 40 m dans certaines vallées à moins d'un mètre sur les hauts plateaux. Évidemment, les vallées enfouies et certaines plaines sont comblées par des sédiments des formations quaternaires anciennes (Q) et par des sédiments glaciaires (T) mais ce sont dans ces dépressions que sont confinés les sédiments d'origine fluvioglaciaire (Gx, Gs), glaciolacustre (LGa, LGb, LGd) et alluviale (Ap, At). Les travaux de modélisation 3D n'ont toutefois pas permis de déceler des sédiments fluvioglaciaires confinés sous les sédiments glaciomarins (Mga, MGb, MGd).

6. Conclusions

La cartographie réalisée dans le cadre des présents travaux a permis de raffiner les cartes existantes à l'échelle des bassins versants de la rivière Chaudière. Des travaux cartographiques systématiques ont également été réalisés dans plusieurs secteurs du bassin versant. Les unités de la carte des formations superficielles et les autres unités quaternaires de sous-surface ont été simplifiées en neuf unités hydrostratigraphiques en s'appuyant sur les propriétés hydrogéologiques des matériaux. Dans l'ordre stratigraphique, les différentes unités présentes dans le modèle sont de type (du plus récent au plus ancien): 1- sédiments organiques; 2- sédiments alluviaux, glaciolacustres et glaciomarins (sablo-graveleux); 3- sédiments glaciomarins et glaciolacustres (silto-argileux); 4- sédiments fluvioglaciaires; 5- sédiments glaciaires remaniés; 6- sédiments glaciaires minces; 7- sédiments glaciaires et quaternaires anciens (silto-argileux), 8- sédiments quaternaires anciens (sablo-graveleux), et 9- le roc. Le modèle décrit l'ensemble des sédiments rencontrés depuis la surface jusqu'au roc incluant leur profondeur relative pour les coordonnées X et Y au centre de chaque maille de 250 m. Lorsqu'une unité est absente, une épaisseur nulle est attribuée. Malgré les incertitudes que comporte ce type d'analyse spatiale, la disposition proposée des sédiments quaternaires est suffisamment précise pour des modèles hydrogéologiques 3D à l'échelle régionale.

Le modèle 3D du bassin versant de la rivière Chaudière a été construit essentiellement à partir d'une base de données contenant suffisamment de données fiables pour construire un modèle représentatif de la géologie. La modélisation 3D a permis pour la première fois de visualiser et quantifier le volume total des différentes unités lithostratigraphiques présentes dans la zone d'étude. La synthèse cartographique et la modélisation 3D révèlent que le détail des séquences quaternaires anciennes enfouies sous la plaine alluviale de la rivière Chaudière et de ces affluents est encore sommaire, même si elle semble jouer un rôle important dans la caractérisation hydrogéologique et hydrologique du secteur d'étude.

Deux couches d'information cartographique générées dans le cadre du présent projet de recherche sont particulièrement utiles pour la modélisation hydrostratigraphique. La première est la carte des dépôts meubles, qui constitue la base fondamentale à partir de laquelle s'élabore le modèle 3D. L'intégration des cartes à l'échelle régionale permet la création d'une carte hydrostratigraphique à l'échelle du bassin versant. La deuxième couche d'information géographique importante est la carte d'élévation du substratum rocheux qui, conjointement avec les données de forages et d'affleurements rocheux, permet la création d'une carte d'épaisseur des dépôts meubles. Cette dernière carte est la base fondamentale sur laquelle reposent l'estimation de la recharge et les modélisations hydrostratigraphique et hydrogéologique subséquentes.

7. Références

Benoit, N., Blanchette, D., Nastev, M., Cloutier, V., Marcotte, D., Brun Kone, M., and Molson, J.W. August, 2011, Groundwater Geochemistry of the Lower Chaudière River Watershed, Québec, IAH-CNC/CANQUA conference: GeoHydro 2011, 28-31.

Benoit, N. Brun Koné, M.Y., Molson, J.W. et Nastev, M. 2014a. Modélisation hydrogéologique 3D du bassin versant de la rivière Chaudière. Commission géologique du Canada, Dossier public (en préparation).

Benoit, N., Nastev, M., Blanchette, D. and Molson, J. 2014b. Hydrogeology and hydrogeochemistry of the Chaudière River watershed aquifers, Québec, Canada. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 17 p.

Blais, A. and Shilts, W. W., 1992a. Surficial geology of the St-Joseph and beauceville areas, Quebec. Commission géologique du Canada, Dossier public 2537; 2 cartes, 21L/07; 21L/02, échelle 1: 50 000.

Blais, A. and Shilts, W. W., 1992b. Surficial geology of the Ste-Justine and St-Zacharie areas, Quebec. Commission géologique du Canada, Dossier public 2536; 2 cartes, 21L/08; 21L/01SW; 21L/01NW, échelle 1: 50 000.

Bolduc, A.M., 2003. Géologie des formations superficielles, Charny, Québec. Commission géologique du Canada, Dossier public 1776, échelle, 1/50000.

Brun Koné, M.Y. 2013. Développement d'un modèle numérique d'écoulement 3D des eaux souterraines du bassin versant de la Rivière Chaudière, Québec, mémoire de maîtrise en sciences de la Terre, Université Laval.

Caron, O., Lamothe, M., and Tremblay, T., 2007a, Surficial geology of Chaudière river watershed, Quebec, Quebec Natural Resources Ministry, 21E06, 21E07, 21E09, 21E10, 21E11, 21E14, 21E15, 21E16, 21L01, 21L02, 21L03, 21L06, 21L07, 21L08, 21L09, 21L10, 21L11, 1 : 100 000, 3 maps, 3 p.

Caron, O., Lamothe, M., and Tremblay, T., 2007b, Surficial geology synthesis of the Chaudière river watershed, Quebec, Quebec Natural Resources Ministry, Report, 31 p.

Caron, O, 2013. Synthèse et modèle cartographique 3D des dépôts quaternaires pour les bassins-versants des rivières Chaudière et Saint-François : géochronologie, sédimentologie et paléogéographie wisconsinienne du sud du Québec, Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, 358 p.

Castonguay, S., Tremblay, A. et Lavoie, D. 2002. Carte de compilation géologique, Québec-Chaudière, Les ponts géologiques de l'Est du Canada, Transect 2, Québec. Open file 4314, Commission géologique du Canada, Québec, Fichiers informatiques, 1 : 125 000.

Castonguay, S., Tremblay, A. et Lavoie, D. 2000. Compilation géologique, Montréal-Mégantic, Section appalachienne : Les Ponts Géologiques de l'Est du Canada, Transect 1, Québec. Open file 3872 (A, B), Commission géologique du Canada, Québec, Fichiers informatiques, 1 : 100 000.

Chauvin, L., 1979a. Dépôts meubles de la région Thetford-Mines – Victoriaville. Ministère de l'énergie et des ressources, direction générale de la recherche géologique et minérale, DPV-622, 21L03, échelle 1: 50 000, Québec.

Chauvin, L., 1979b. Géologie des dépôts meubles, région d'Asbestos-Disraeli. Ministère de l'énergie et des ressources, direction générale de la recherche géologique et minérale, DPV-716, Québec.

Croteau, A., 2005. Détermination de la distribution spatiale et temporelle de la recharge à l'aquifère régional du bassin- versant de la rivière Châteauguay. M.Sc. Thesis, Institut National de la Recherche Scientifique - Eau, Terre et Environnement, Québec.

ESRI, 2011. ArcGIS Desktop :Release 9.3. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Gadd, N.R., 1978. Surficial geology of Saint-Sylvestre map-area, Quebec. Geological survey of Canada, Paper 77-16.

Girard, F, 2000. Architecture et hydrostratigraphie d'un complexe morainique et deltaïque dans la région de Portneuf, Québec. Mémoire de maîtrise, INRS-Géoressources, Université du Québec.

Larocque, A. 1999. La déglaciation d'une partie du Haut Saint-François, Estrie, Sud du Québec. Thèse de PhD non publiée, Université de Montréal, 272 p.

McCormack, R., 1982. Étude hydrogéologique du bassin de la Chaudière. Ministère de l'environnement du Québec, Services des eaux souterraines, Programme de connaissances intégrées, Québec.

McDonald, B.C., 1969. Surficial geology of La Patrie-Sherbrooke area, Quebec, including Eaton River watershed, Geological Survey of Canada, Paper 67-52, 21 p.

MRN 2002. Ministère des Ressources naturelles, Carte géologique du Québec, Édition 2002. DV 2002-06, Fichiers informatiques, 1 : 2000 000.

Paradigm, 2010. GOCAD/SKUA, Release 2009.3. Houston, TX , USA: Operational and USA Regional Headquarters.

Parent, M., 1987. Late Pleistocene stratigraphy and events in the Asbestos-Valcourt region, southeastern Québec, unpublished Ph.D dissertation, Department of Geology, University of Western Ontario, London, 320 p.

Parent, M., Michaud, Y., Boisvert, E., Bolduc, A M., Fagnan, N., Fortier, R., Cloutier, M. et Doiron, A., Cartographie hydrogéologique régionale du piémont laurentien dans la MRC de Portneuf : géologique et stratigraphique des formations superficielles, Geological Survey of Canada, Open File 3664a, 1998; 1 map.

Parent, M., Paradis, S.J. et Boivin, R. 2010. Formations superficielles : Légende & notes descriptives – 1 : 50 000 à 1 : 250 000, version 12. Commission Géologique du Canada. Document interne (inédit).

PitneyBowes, 2009a. Mapinfo, Release 9.0. Mississauga, ON, Canada : Pitney Bowes Head Office.

PitneyBowes, 2009b. Vertical Mapper, Release 9.0. Mississauga, ON, Canada : Pitney Bowes Head Office.

Rivard, C., Parent, M., Lavoie, D., Cousineau, P.-A., MacQuarrie, K., Somers, G., Lamontagne, C., Drage, J. and Daigle, A. 2013. Chapter 14 - Appalachians, in Canada's Groundwater Resources, edited by A. Rivera, Markham, ON: Fitzhenry & Whiteside Limited, p. 501–539.

Reineck, H.E. and Singh, I.B. 1980. Depositional Sedimentary environments. 2ème éd. Springer-Verlag, Berli. 553 pp.

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.

Ross, M., Parent, M., and R. Lefebvre, 2005, 3D geologic framework models for regional hydrogeology and land-use management: A case study from a Quaternary basin of southwestern Québec, Canada: Hydrogeology Journal, v. 13, p. 690–707.

Ross, M., Parent, M., Benjumea, B., and Hunter, J., 2006. The late Quaternary stratigraphic record northwest of Montréal: regional ice-sheet dynamics, ice-stream activity, and early deglacial events. *Canadian Journal of Earth Sciences*, April 2006, vol. 43, no. 4, p. 461-485.

Shilts, W.W., 1981. Surficial Geology of the Lac Mégantic area, Québec. Geological survey of Canada, memoir 397.

Slivitzky, A., et St-Julien, P., 1987. Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Québec, MM85-04, 39 p.

Tremblay, T., et Lamothe, M., 2005. Géologie des formations superficielles du bassin versant de la rivière Châteauguay : Feuilles topographiques Saint-Chrysostome 31H/4 Lachine H/5 et Huntingdon G/1 : Une contribution de l'UQAM au Projet Châteauguay : Rapport final : Travaux de 2004-2005. Montréal : Département des sciences de la Terre et de l'Atmosphère, UQAM. Fichier informatique. 35 p.

Tremblay, T. 2008. Hydrostratigraphie et géologie du quaternaire dans le bassin-versant de la rivière Châteauguay, Québec. Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en sciences de la terre. 233 p.

Tremblay, T., Nastev, M. and Lamothe, M., 2010. Grid-based hydrostratigraphic 3D modelling of the Quaternary sequence in the Chateauguay River watershed, Quebec, *Canadian Water Resources Journal*, 35(4), 377-398.

Annexe A

Cartes

Annexe B

Modèle Quaternaire 3D
Fichier : ModeleQuaternaire3D.csv

Description des champs du fichier électronique contenant le modèle quaternaire 3D sous forme de grille 250x250 mètres :

POINT_X et POINT_Y :	coordonnées UTM NAD83 Zone 19 Nord
DEM :	élévation selon le modèle numérique d'élévation
O :	épaisseur des sédiments organiques
A_MGB_MGD :	épaisseur des sédiments sableux d'origine alluviale et marine (faciès sableux).
MGA_LGA:	épaisseur des sédiments fins d'origine marine (faciès argileux) et lacustre
GX_GS:	épaisseur des sédiments sableux et graveleux d'origine fluvio-glaciaire
TR_TRM:	épaisseur des tills remaniées d'origine glaciaire
TM:	épaisseur des tills minces d'origine glaciaire
T_Q:	épaisseur des tills d'origine glaciaire et des sédiments glaciaires antérieurs à la dernière glaciation
Q_Gs_Gx:	épaisseur des sédiments sableux et graveleux d'origine fluvio-glaciaire antérieurs à la dernière glaciation