

**ACQUISITION DE CONNAISSANCES SUR LES EAUX SOUTERRAINES
DU TERRITOIRE MUNICIPALISÉ DE LANAUDIÈRE,
DE L'EST DE LA MAURICIE ET DE LA MOYENNE-CÔTE-NORD**

RAPPORT SCIENTIFIQUE

*Résultats du projet d'acquisition de connaissances
sur les eaux souterraines
du territoire municipalisé de Lanaudière*

PACES LAMEMCN – section Lanaudière

CERM-UQAC

MARS 2022
VERSION FINALE



ÉQUIPE DE RÉDACTION

COORDONNATEURS : Julien Walter et Romain Chesnaux

PROFESSEUR ÉMÉRITE : Alain Rouleau

PROFESSIONNELLE EN HYDROGÉOLOGIE : Anouck Ferroud

PROFESSIONNELLE EN GÉOMATIQUE : Mélanie Lambert

CITATION

CERM-PACES, 2022. Résultats du projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire municipalisé de Lanaudière, de l'est de la Mauricie et de la Moyenne-Côte-Nord, PACES-LAMEMCN – **section Lanaudière**. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. 210 p.

RÉSUMÉ

Le Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) a réalisé la première caractérisation régionale des aquifères et des eaux souterraines du territoire municipalisé de la région de Lanaudière. Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines des territoires municipalisés de Lanaudière, de l'est de la Mauricie et de la Moyenne-Côte-Nord (PACES-LAMEMCN), géré par le ministère provincial de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Ce rapport présente les résultats des trois phases du PACES-LAMEMCN section **Lanaudière** échelonnées sur quatre années de travail (2018 – 2022).

La phase 1 a porté sur l'inventaire, la collecte, l'évaluation, la numérisation et l'archivage des données hydrogéologiques existantes au sein de sources variées. Les données de **31 433** stations ponctuelles d'information géologique ou hydrogéologique (puits, piézomètres, forages, levés stratigraphiques ou géophysiques, etc.) ont été récupérées. Parmi ces dernières, **1 425** stations d'information ont été extraites de rapports spécialisés en hydrogéologie ou en géotechnique et localisées sur le territoire. Le processus de saisie et d'archivage des rapports spécialisés a permis l'extraction de **1 213** descriptions stratigraphiques, **276** résultats d'analyses chimiques, **153** estimations de propriétés hydrauliques, **10** cartes piézométriques et **63** coupes stratigraphiques. Aussi, deux protocoles garantissant la traçabilité et la fiabilité des données ont été appliqués. Les données ont été intégrées dans une base de données géospatiales implantée dans une *géodatabase* d'ESRI.

La phase 2 a permis de mener des travaux d'investigation sur le terrain. Les résultats incluent plus de **223** échantillons hydrogéochimiques, **57** levés stratigraphiques, **4** forages à percussion, **1** essai de pompage longue durée et plusieurs données pour répondre aux objectifs de **4** projets de recherche. De plus, ces travaux ont permis l'installation de **4** piézomètres dans le roc. Après la phase 2, la base de données géospatiales contenait **31 761** points d'information.

La phase 3 a mené à la synthèse de l'information sous la forme de **30 cartes** (format A0). Les cartes représentent les milieux naturels et humains, et les contextes géologiques (roc et dépôts meubles). L'interprétation de **43 coupes stratigraphiques régionales** créées à l'aide d'outils géomatiques a permis la mise en carte de la topographie du roc, de l'épaisseur des dépôts de surface, des limites des principaux milieux aquifères et des contextes hydrogéologiques du territoire à l'étude. D'autres cartes présentent une première version de la piézométrie régionale, des zones préférentielles de recharge et de résurgence, et de la vulnérabilité régionale des aquifères selon DRASTIC. Pour ces dernières, le résultat repose sur des méthodes de traitement originales faisant appel à des techniques d'interpolation adaptées aux fins du PACES-LAMEMCN. Enfin, certaines cartes montrent un premier portrait de l'utilisation et de la qualité de l'eau souterraine. Des recommandations ont été formulées spécifiquement aux suivis des résultats du PACES, relativement aux bonnes pratiques pour les forages et pour l'évaluation de la vulnérabilité, et pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine.

Quant à l'utilisation de l'eau, le PACES a montré que dans la région :

- 64% des municipalités alimentent leur réseau d'aqueduc municipal à partir d'eau souterraine;
- 50% de la population est alimentée en eau potable à partir d'eau souterraine;
- 56% de l'eau souterraine est utilisée pour un usage domestique, 27% pour un usage agricole et 10% pour un usage industriel, commercial ou institutionnel (ICI);
- 38% de l'eau utilisée provient d'eau souterraine et 62% d'eau de surface.

En ce qui concerne les connaissances hydrogéologiques, les résultats saillants de l'étude sont les suivants :

- La connaissance des systèmes aquifères de la région réside dans un grand nombre d'études locales autrefois difficilement accessibles et dont les résultats sont maintenant pour la plupart contenus dans une base de données géospatiales;
- Le territoire municipalisé présente plusieurs accumulations de dépôts de surface (sable et argile) pouvant dépasser 100 m d'épaisseur en divers endroits du territoire étudié;
- Autant les dépôts granulaires d'origine glaciaire ou postglaciaire que le roc fracturé sont exploités pour l'alimentation en eau potable des municipalités;
- Plusieurs secteurs sur le territoire sont susceptibles d'abriter d'importants réservoirs aquifères encore non exploités, notamment le secteur du piedmont;
- Les sables de surface d'origine deltaïque présentent des caractéristiques granulométriques et hydrauliques hétérogènes et l'eau souterraine qu'ils contiennent est aussi exploitée pour l'alimentation en eau potable des municipalités;
- La carte piézométrique élaborée dans ce projet suggère la faible profondeur de l'eau souterraine dans les Basses-Terres (comprise entre 0 et 20 m à partir de la surface);
- D'importantes variations de la topographie de surface suggèrent l'existence de plusieurs zones de résurgences;
- Le roc présente des élévations très variables spatialement attestant d'une topographie accidentée dont les vallées profondes peuvent contenir des accumulations granulaires importantes confinées ou libres (l'interprétation des linéaments présentée dans cette étude pourrait aider à les localiser);
- La carte de vulnérabilité de l'eau souterraine montre des secteurs, généralement associés aux importantes accumulations de sable de surface, où des études locales sont requises pour préciser les risques de contamination anthropique;
- Le portrait de la qualité de l'eau souterraine révèle globalement une eau souterraine douce de bonne qualité puisque près de 83% des échantillons prélevés sur le territoire n'affichent aucun dépassement des normes de potabilité. Cependant, il révèle aussi qu'environ 29% des échantillons prélevés dépassent le critère esthétique (0,02 mg/l) établi pour le manganèse (8% dépassent aussi la valeur de 0,12 mg/l recommandée par Santé Canada, et à partir de laquelle le gouvernement québécois recommande de faire preuve de prudence), que les dépassements en fluorures sont omniprésents dans les Basses-Terres et qu'il existe localement une eau souterraine salée dans les Basses-Terres.

REMERCIEMENTS

Ce projet PACES a été rendu possible par la contribution financière du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), et des organismes partenaires suivants : l'Université du Québec à Chicoutimi, les municipalités régionales de comté (MRC), soit la MRC d'Autray, la MRC de Matawinie, la MRC de Montcalm, la MRC de Joliette et la MRC de l'Assomption; ainsi que la participation de certains organismes, dont la Corporation de l'Aménagement de la Rivière L'Assomption (**CARA**), l'OBV de la zone Bayonne (**OBVZB**) et l'Association pour la gestion intégrée de la rivière Maskinongé.

Les auteurs de ce rapport tiennent à souligner l'assistance apportée par M. Réal Daigneault, professeur-chercheur au département des sciences appliquées et ancien directeur du CERM, M. Pierre-Luc Bilodeau, comptable, M. David Noël, technicien du département des sciences appliquées, M. Pierre Bedeaux, professionnel de recherche, M^{me} Brigitte Poirier, professionnelle de recherche et M. Francis Vaillancourt, technicien en géomatique, ainsi que les étudiants et stagiaires suivants qui ont contribués à différents niveaux et phases du PACES : M^{me} Laura-Pier Perron-Desmeules, Josu Otaegi Alcaide, M^{me} Roxane Tremblay, M. Abi Attoumane, M. Yan Lévesque, M. Pierre Saint-Hilaire, M. Mike Bellemare, M^{me} Frédéric Lalancette, M. Alexandre Leclerc, M^{me} Anne-Marie Proulx, M. Alireza Shahbazi, M^{me} Chaima Miled, M. Juan Manuel, M. Hadrien Siney, M. Julien Berthe, M. Daouda Meite, M. Pier-Olivier Gilbert, M. Zachary Plamondon, M. Lamine Boumaiza, M^{me} Mélodie Lachapelle, M^{me} Aurélia Van-Ha Clément et M. Alexandre Montero-Gagnon.

Les représentants des organismes partenaires mentionnés plus haut ont contribué au bon déroulement de ce projet. Mentionnons à ce titre la participation de M^{me} Nadine Gosselin (MRC L'Assomption), M. David Deslauriers (MRC Matawinie), M. Jean Hubert (MRC D'Autray), M^{me} Annie Maheu (MRC Joliette), M. Patrick Gauthier (MRC Montcalm), ainsi que M. Jean-Pierre Gagnon (OBV Zone Bayonne) et M^{me} Francine Trépanier (OBV Cara). Nous remercions M^{me} Édith Bourque et M. Sébastien Moore du MELCC pour la réalisation de travaux de forage sur le territoire.

Nous remercions également M. Michel Parent de la Commission géologique du Canada, et M. Gilles Locat, géologue aménagiste à la retraite d'avoir partagé leurs connaissances de la géologie du quaternaire de la région. Nous remercions aussi la firme TechnoRem pour le prêt de matériel.

Nous soulignons aussi la participation de M. Yvan Perreault et M. Érich Cloutier, qui ont accepté d'installer des échantilleurs d'eau de pluie sur leur propriété et d'effectuer une collecte mensuelle. Votre assiduité était essentielle au projet. Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des propriétaires qui sur une base volontaire nous ont permis d'accéder à leur propriété et d'utiliser leur puits d'alimentation en eau pour la réalisation de divers travaux de terrain. Leur enthousiasme à participer a été très apprécié.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XIII
Liste des annexes numériques	XV
Liste des cartes en format A0 disponible à l'annexe numérique AN 1	XVI
1 INTRODUCTION	1
1.1 Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines	1
1.1.1 Objectifs et phases d'un PACES	2
1.2 Territoire à l'étude du PACES-LAMEMCN	3
1.3 Équipe de réalisation et partenaires	4
1.4 Livrables du PACES	5
2 COLLECTE DES DONNÉES EXISTANTES	7
2.1 Données numériques structurées	7
2.1.1 Données se rapportant au milieu naturel	7
2.1.2 Données se rapportant au milieu humain	8
2.1.3 Données se rapportant aux contextes géologiques et hydrogéologiques	9
2.2 Données non numériquement structurées	10
2.2.1 Rapports PDF des ministères	10
2.2.2 Rapports PDF ou papier des municipalités	11
3 ACQUISITION DE DONNÉES COMPLÉMENTAIRES SUR LE TERRITOIRE	14
3.1 Stations stratigraphiques	14
3.2 Forages par percussion et installation	16
3.3 Échantillonnage hydrogéochimique de l'eau souterraine	20
3.4 Essais de pompage	24
3.4.1 Essais de pompage courte durée et levés piézométriques	24
3.4.2 Essai de pompage longue durée et suivi géochimique (échantillonnage régulier et mesures <i>in situ</i> en continu) (roc fracturé)	25
3.5 Données acquises pour les projets de recherche	29
4 UNIFORMISATION ET CENTRALISATION DES DONNÉES	31
4.1 Uniformisation des données existantes	32
4.1.1 Traitements sur les données numériques structurées	32
4.1.2 Saisi et archivage des données non numériquement structurées	33
4.2 Uniformisation des données acquises sur le terrain	37
4.2.1 Numérisation et archivage	38

4.2.2 <i>Saisie et organisation numérique de la donnée</i>	39
4.3 Intégration et centralisation dans une base de données géospatiales	39
4.3.1 <i>Fiabilité et validation des données ponctuelles</i>	40
4.3.2 <i>Modèle d'implantation</i>	40
4.3.3 <i>Les références</i>	43
4.3.4 <i>Les métadonnées</i>	44
4.4 Transfert des données dans la base de données du ministère	44
5 DESCRIPTION DU TERRITOIRE	45
5.1 Aspect physique	45
5.1.1 <i>Topographie et pentes du sol</i>	45
5.1.2 <i>Hydrographie et bassins versants</i>	47
5.1.3 <i>Climat</i>	50
5.1.4 <i>Pédologie</i>	51
5.1.5 <i>Couverture végétale et milieux humides</i>	51
5.2 Aspect humain	52
5.2.1 <i>Superficies et découpages administratifs</i>	52
5.2.2 <i>Voies de communication</i>	55
5.2.3 <i>Activités humaines</i>	55
5.2.4 <i>Affectations du territoire</i>	56
5.2.5 <i>Occupation du territoire</i>	56
5.2.6 <i>Activités potentiellement polluantes</i>	56
6 PORTRAIT GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE	62
6.1 Géologie du socle rocheux	62
6.1.1 <i>Répartition géographique des provinces géologiques</i>	62
6.1.2 <i>Stratigraphie et géologie du socle rocheux</i>	63
6.2 Géologie du Quaternaire	71
6.2.1 <i>Les sédiments glaciaires (Tc, Tm)</i>	72
6.2.2 <i>Les sédiments fluvioglaciaires (Gx, GxT, Go)</i>	72
6.2.3 <i>Les sédiments glaciolacustres (LGb) et lacustres</i>	74
6.2.4 <i>Les sédiments glaciomarins (MGa, MGb, MGd)</i>	74
6.2.5 <i>Les sédiments marins (Ma, Mb)</i>	74
6.2.6 <i>Les sédiments alluviaux (Ax, Ap)</i>	75
6.3 Coupes stratigraphiques	75
6.3.1 <i>Simplification de l'information stratigraphique</i>	76
6.3.2 <i>Identification des données sources</i>	77
6.3.3 <i>Projection des stations dans une vue en coupe</i>	77
6.3.4 <i>Interprétation des coupes stratigraphiques</i>	79
6.3.5 <i>Mise en forme finale des coupes stratigraphiques</i>	80
6.3.6 <i>Création des diagrammes barrières</i>	81
6.4 Épaisseur des dépôts et topographie du roc	82

6.4.1	<i>Épaisseur estimée des dépôts meubles</i>	82
6.4.2	<i>Topographie du roc</i>	89
7	LES MILIEUX AQUIFÈRES DE LANAUDIÈRE	92
7.1	Les milieux aquifères constitués de roches fracturées	92
7.1.1	<i>Les roches précambriennes cristallines</i>	93
7.1.2	<i>Les roches sédimentaires carbonatées – calcaires</i>	93
7.2	Les milieux aquifères de type granulaire	94
7.2.1	<i>Milieux aquifères de sable indifférencié de surface</i>	96
7.2.2	<i>Milieux aquifères d'origine fluvioglaciaire</i>	97
7.3	Modèle conceptuel des contextes stratigraphiques régionaux	97
7.3.1	<i>Contextes stratigraphiques régionaux</i>	97
7.3.2	<i>Coupe conceptuelle</i>	101
7.4	Contextes hydrogéologiques	102
7.4.1	<i>Contexte dominé par le milieu aquifère cristallin fracturé</i>	103
7.4.2	<i>Contexte dominé par le milieu aquifère sédimentaire fracturé</i>	105
7.4.3	<i>Contexte dominé par les milieux aquifères granulaires composés des dépôts quaternaires</i>	106
7.4.4	<i>Les sédiments fluvioglaciaires et glaciolacustres</i>	107
7.4.5	<i>Synthèse des contextes hydrogéologiques</i>	109
7.5	Les propriétés hydrauliques	111
7.5.1	<i>Définitions sur les propriétés hydrauliques</i>	111
7.5.2	<i>Sélection et traitement des données</i>	111
7.5.3	<i>Propriétés hydrauliques des milieux aquifères granulaires</i>	116
7.5.4	<i>Propriétés hydrauliques des milieux aquifères de roc fracturé</i>	117
7.5.5	<i>Amélioration de l'estimation des propriétés hydrauliques</i>	119
7.6	Piézométrie et écoulements régionaux	120
7.6.1	<i>Piézométrie régionale</i>	121
7.6.2	<i>Écoulements régionaux</i>	121
7.6.3	<i>Profondeur de l'eau souterraine</i>	122
7.7	Recharge et résurgence des milieux aquifères régionaux	123
7.7.1	<i>Méthode du bilan hydrologique pour l'estimation de la recharge</i>	124
7.7.2	<i>Quantification de la recharge moyenne régionale</i>	130
7.7.3	<i>Zones de recharge préférentielle et de résurgence</i>	134
7.8	Vulnérabilité des milieux aquifères	134
7.8.1	<i>Intrants du modèle DRASTIC et pondération</i>	136
7.8.2	<i>Carte DRASTIC</i>	142
7.8.3	<i>Limites d'utilisation de la carte #22</i>	143
8	ÉTAT DE LA RESSOURCE EN EAU	145
8.1	Prélèvements d'eau potable par les municipalités	145
8.1.1	<i>Origines de l'eau prélevée et distribuée dans les réseaux municipaux</i>	145
8.1.2	<i>Aquifères approvisionnant les réseaux d'aqueduc municipaux</i>	150

8.1.3	<i>Pression sur la ressource en eau des installations municipales</i>	154
8.2	Estimation des quantités d'eau prélevée par MRC	155
8.2.1	<i>Eau de surface</i>	155
8.2.2	<i>Eau souterraine par catégories d'usage</i>	157
8.2.3	<i>Eau souterraine et eau de surface</i>	160
8.3	Qualité de la ressource	163
8.3.1	<i>Études géochimiques précédentes</i>	163
8.3.2	<i>Campagne hydrogéochimique réalisée dans le cadre du PACES</i>	164
9	CONTRIBUTION À LA RECHERCHE	170
9.1	Mécanismes de recharge et écoulement des eaux souterraines dans les aquifères cristallins (Ph.D.; M. Abi Attoumane)	170
9.2	Développement d'une approche méthodologique hydrogéophysique pour optimiser l'évaluation du potentiel aquifère des milieux fluvioglaciaires (Ph.D. en cours; M. Yan Levesque)	174
9.3	Étude de la chimie analytique de l'eau souterraine lors de la purge à haut débit d'un puits avec suivi des paramètres mesurés in situ (M.Sc. en cours; Mme Laura-Pier Perron Desmeules).	177
9.4	Caractérisation hydrogéochimique des régions de Lanaudière et de l'est de la Mauricie (M.Sc.; Mme Roxane Tremblay - projet complété)	180
10	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	185
10.1	Conclusions et faits saillants du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière	186
10.1.1	<i>Base de données géospatiales</i>	186
10.1.2	<i>Description du territoire</i>	187
10.1.3	<i>Portrait géologique</i>	188
10.1.4	<i>Contexte hydrogéologique et potentiel aquifère (propriétés hydrauliques)</i>	189
10.1.5	<i>Piézométrie, recharge et résurgence, vulnérabilité DRASTIC du premier aquifère rencontré</i>	190
10.1.6	<i>Utilisation et qualité de l'eau souterraine</i>	192
10.2	Limites et recommandations pour l'utilisation des livrables du PACES-LAMEMCN	193
10.2.1	<i>Base de données géospatiales</i>	193
10.2.2	<i>Avertissement et mise en garde applicable à toutes les cartes</i>	194
10.2.3	<i>Coupes stratigraphiques</i>	194
10.2.4	<i>Cartes #15 – Épaisseur des dépôts meubles et #16 – Topographie du roc</i>	194
10.2.5	<i>Cartes #17 – Contextes hydrogéologiques et #18 – Limites des aquifères régionaux</i>	195
10.2.6	<i>Carte #19 – Piézométrie</i>	195
10.2.7	<i>Carte #21 – Paramètres hydrogéologiques</i>	196
10.2.8	<i>Carte #22 – Vulnérabilité des aquifères selon la méthode DRASTIC</i>	196
10.2.9	<i>Carte #23 – Activités potentiellement polluantes</i>	197
10.2.10	<i>Cartes #24 – Qualité (critères eau potable) et #25 – Qualité (objectifs esthétiques)</i>	197
10.2.11	<i>Carte #26 – Utilisation de l'eau</i>	197
10.2.12	<i>Carte #28 – Zones de recharge préférentielles et de résurgence</i>	198

10.3 Recommandations pour l'amélioration des connaissances hydrogéologiques pour le territoire de Lanaudière	198
10.3.1 <i>Estimations et suivi de la qualité des eaux souterraines</i>	198
10.3.2 <i>Estimation et suivi de la quantité des eaux souterraines</i>	199
10.3.3 <i>Assurer la pérennité de la ressource</i>	201
10.4 Recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine	202
10.4.1 <i>Les producteurs de données</i>	202
10.4.2 <i>Les gestionnaires de données</i>	202
10.4.3 <i>Les diffuseurs de la donnée</i>	202
10.4.4 <i>La concertation</i>	202
BIBLIOGRAPHIE	204

Liste des figures

Figure 1-1 : Couverture territoriale de la connaissance sur les eaux souterraines. Le territoire des îles-de-la-Madeleine fait partie aussi des PACES 4	1
Figure 1-2 : Localisation des territoires considérés dans le projet PACES-LAMEMCN*	3
Figure 1-3 : Structure organisationnelle du projet PACES-LAMEMCN.....	4
Figure 3-1 : Localisation des stations d'observation de la géologie (été 2018).....	15
Figure 3-2 : Localisation des stations visitées au cours de l'été 2019 pour la caractérisation de la stratigraphie par rapport aux régions physiographiques.....	15
Figure 3-3 : Camion de forage de la compagnie de forage Géopros Lapointe.....	16
Figure 3-4 : Échantillonnage des dépôts meubles lors des forages	16
Figure 3-5 : Localisation des quatre forages et zone d'étude approfondie de sode rocheux fracturé.....	17
Figure 3-6 : Topographie et dépôts autour du forage LA-F02.....	18
Figure 3-7 : Topographie et dépôts autour du forage LA-F04.....	19
Figure 3-8 : Le prélèvement d'échantillon d'eau souterraine se fait dans des bouteilles approuvées par le laboratoire d'analyse.....	20
Figure 3-9 : Localisation des 218 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques montrant le type d'aquifère, i.e. roc fracturé ou dépôts granulaires.	22
Figure 3-10 : Localisation des 218 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques et indication du type de captage.	23
Figure 3-11 : Mesure du niveau d'eau dans le puits pendant l'essai de pompage.....	24
Figure 3-12 : Localisation des essais de pompage effectués lors de la campagne de terrain réalisée au cours de l'été 2019..	25
Figure 3-13 : Photo du système de mesure du niveau statique d'un puits artésien jaillissant. Exemple de LA-F04 à Saint-Cuthbert, Lanaudière.	26
Figure 3-14 : Photo de la pompe submersible Grundfos de ¼ de force de la compagnie TechnoRem qui a été utilisée pour le pompage du 30/09/2019 dans LA-F04 à Saint-Cuthbert, Lanaudière. Les plages idéales de la pompe sont entre 15 et 30 GUS/min.....	27
Figure 3-15 : Photo de l'installation du système de pompage, de réinjection et d'évacuation de l'eau pompée de la compagnie TechnoRem qui ont été utilisés pour l'essai de pompage du 30/09/2019 dans LA-F04 à Saint-Cuthbert, Lanaudière.	28
Figure 3-16 : Photo du suivi temporel du rabattement lors de l'essai de pompage du 30/09/2019 dans le puits LA-F04 (Saint-Cuthbert, Lanaudière).	28
Figure 3-17 : Photos prises durant l'essai de pompage du 30/09/2019 dans le puits LA-F04 (Saint-Cuthbert, Lanaudière). (a) Échantillonnage géochimique de l'eau pompée; (b) Sonde multiparamètres utilisée pour le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau pompée; (c) Système de mesures du débit d'eau pompée et système de mesure en continu des paramètres physico-chimiques de l'eau pompée.....	29
Figure 3-18 : Localisation des levés terrain réalisés dans le cadre du PACES pour répondre aux objectifs des projets de recherche (chapitre 9).	30
Figure 4-1 : Processus d'acquisition et de centralisation des données.....	31
Figure 4-2 : Formulaire #4 qui permet la saisie des couches stratigraphiques dans la base de données de saisie.....	36
Figure 4-3 : Formulaire numérique de saisie Access; exemple de la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique.....	39
Figure 4-4: Modèle d'implantation de la base de données géospatiales.....	41
Figure 4-5: Architecture du dossier contenant les références.....	43
Figure 4-6 : Fichier Excel de métadonnées de la BD PACES.....	44
Figure 5-1 : Carte topographique du territoire municipalisé de Lanaudière et délimitation des Hautes-Terres Laurentiennes et des Basses-Terres du Saint-Laurent.	46

<i>Figure 5-2 : Principales rivières présentes sur le territoire</i>	48
<i>Figure 5-3 : MRC de la région de Lanaudière (sauf la MRC des Moulins).....</i>	53
<i>Figure 6-1 : Localisation de la zone d'étude par rapport aux provinces géologiques du Québec.....</i>	63
<i>Figure 6-2 : Tracé exposé et présumé de la province de Grenville.....</i>	64
<i>Figure 6-3 : Colonne stratigraphique de la Plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent (Comeau et al., 2013).....</i>	66
<i>Figure 6-4 : Carte de la localisation des carrières et des mines. Source SIGÉOM 2018, MERN.....</i>	67
<i>Figure 6-5 : Profil de sismique réflexion dans les Basses-Terres du Saint-Laurent montrant la configuration des failles normales et la séquence stratigraphique des roches sédimentaires, le long du tracé de la coupe en bleu. Source : modifié de Castonguay et al. (2006).....</i>	68
<i>Figure 6-6 : Bloc diagramme 3D du système de rift du Saint-Laurent entre Québec et l'estuaire du Saint-Laurent, modifié de Tremblay et al. (2003). L'encadré rouge cible la région du rift qui est assimilable aux conditions rencontrées sur le territoire de Lanaudière au niveau de la faille de Saint-Cuthbert.....</i>	69
<i>Figure 6-7 : Carte de localisation des principales failles de la région</i>	70
<i>Figure 6-8 : Coupe schématique de la faille de Saint-Cuthbert, au niveau des chutes de Sainte-Ursule, modifié de Clark et Globensky (1976a) par Konstantinovskaya et Malo (2010). Le numéro 341 indique la localisation de quartzites mylonitiques.</i>	70
<i>Figure 6-9 : Stations visitées par l'équipe de l'UQAM à l'été 2017 dans le cadre du projet de cartographie des dépôts de surface.....</i>	71
<i>Figure 6-10 : Bloc diagramme des différentes formations glaciaires (Benítez, 2005).....</i>	73
<i>Figure 6-11 : Localisation des 43 coupes stratigraphiques interprétées sur l'ensemble du territoire d'étude</i>	75
<i>Figure 6-12 : Exemple de gabarit utilisé pour l'interprétation des coupes stratigraphiques</i>	78
<i>Figure 6-13 : Coupes stratigraphiques #10.....</i>	81
<i>Figure 6-14 : Représentation des 43 coupes stratigraphiques sous forme de diagrammes barrières</i>	82
<i>Figure 6-15 : (a) Répartition des stations atteignant le roc et (b) Densité des stations atteignant le roc.....</i>	83
<i>Figure 6-16 : Localisation des affleurements pour le territoire de Lanaudière.....</i>	84
<i>Figure 6-17 : Forages virtuels créés le long d'une coupe stratigraphique (exagération verticale de 30x).....</i>	85
<i>Figure 6-18 : Quadrillage de points créés sur les dépôts minces (points verts) ou nuls (points rouges).....</i>	86
<i>Figure 6-19 : Effet de l'ajout des forages n'atteignant pas le roc sur la modélisation de l'épaisseur des dépôts. Modifié de Dugrain (2011).....</i>	88
<i>Figure 7-1 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères de roc fracturé</i>	92
<i>Figure 7-2 : Modèle conceptuel d'une cuesta qui illustre la présence des affleurements de roches sédimentaires dans les Basses-Terres du territoire.....</i>	94
<i>Figure 7-3 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères granulaires.....</i>	95
<i>Figure 7-4 : Découpage et interprétation des grands ensembles géomorphologiques et géologiques (modèles conceptuels préliminaires) de Lanaudière</i>	98
<i>Figure 7-5 : Coupe stratigraphique conceptuelle d'orientation nord – Sud réalisé à la hauteur de la rivière Maskinongé (tirée de Lamarche et al. (2006)).....</i>	99
<i>Figure 7-6 : Partie nord de la coupe stratigraphique #11 (figure 6-11) dans les environs de Rawdon et de la rivière Ouareau montrant d'importantes épaisseurs d'unités graveleuses (en orange) sous un dépôt d'argile (en bleu)</i>	100
<i>Figure 7-7 : Coupe stratigraphique fraîche observée dans une sablière en activité dans les environs de Sainte-Mélanie (Station 011 observée à l'été 2018 et localisée sur la figure 3-1).....</i>	100
<i>Figure 7-8 : Coupe conceptuelle des grands ensembles géomorphologiques et géologiques de Lanaudière</i>	101
<i>Figure 7-9 : Unités hydrogéologiques simplifiées. Ces unités hydrogéologiques constituent des séquences d'empilement formant les contextes hydrogéologiques présentés sur la carte des contextes hydrogéologiques (carte #17)</i>	102
<i>Figure 7-10 : Modèle conceptuel simplifié expliquant l'utilisation du jeu de couleur de la carte des contextes hydrogéologiques afin de décrire les milieux aquifères affleurants en surface et interprétés en profondeur</i>	103

<i>Figure 7-11 : Stations extraites des rapports de consultant et ayant une ou plusieurs estimations de propriétés hydrauliques.</i>	113
<i>Figure 7-12 : Valeurs statistiques indiquées sur les boîtes à moustache.....</i>	114
<i>Figure 7-13 : Valeurs typiques de la conductivité hydraulique avec les gammes de valeurs des données récoltées pour les aquifères granulaires (double flèche verte) et les aquifères de socle rocheux fracturé (double flèche rose) (modifié de Freeze et Cherry, 1979).....</i>	115
<i>Figure 7-14 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères granulaires.....</i>	117
<i>Figure 7-15 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères de roc fracture.....</i>	118
<i>Figure 7-16 : Distribution des valeurs de transmissivité (m^2/s) dans les aquifères de roches sédimentaires et dans les roches cristallines.....</i>	119
<i>Figure 7-17 : Directions des écoulements régionaux de l'eau souterraine.....</i>	122
<i>Figure 7-18 : Profondeur de l'eau souterraine.....</i>	123
<i>Figure 7-19 : Composantes du bilan hydrologique (adaptée de (CERM-PACES, 2013).</i>	124
<i>Figure 7-20 : Répartition des valeurs ponctuelles des températures minimales et maximales ainsi que les apports verticaux estimés par le CEHQ.....</i>	125
<i>Figure 7-21 : Carte des curve number moyen (CN_i) pour le territoire de Lanaudière.....</i>	128
<i>Figure 7-22 : Graphique des classes de condition d'humidité moyenne en fonction des indices API et de la saison (Cronshey, 1986).....</i>	129
<i>Figure 7-23 : Méthode de calcul géomatique de la recharge annuelle par bilan hydrologique.....</i>	131
<i>Figure 7-24 : Cartes matricielles obtenues pour chacun des paramètres du bilan hydrologique en mm/an (moyenne sur 10 ans – 2000-2009): (a) Apports verticaux (Av); (b) Évapotranspiration réelle (ETPr); (c) Ruissellement (hRu); (d) Recharge annuelle (Re).....</i>	132
<i>Figure 7-25 : Taux de recharge sur le territoire : La recharge en mm/an divisée par les apports verticaux (mm/an).....</i>	133
<i>Figure 7-26 : Représentation schématique de la méthode DRASTIC et de la pondération des paramètres à la base de son évaluation (modifié de Franklin et Turner, GSC, 2009).....</i>	135
<i>Figure 7-27 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau (a) et pour chaque classe de recharge efficace (b).....</i>	137
<i>Figure 7-28 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour a) le premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface, et b) chaque type de sol.....</i>	139
<i>Figure 7-29 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour a) la pente du sol et b) le milieu géologique correspondant à la zone vadose.....</i>	141
<i>Figure 7-30 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour la conductivité hydraulique.....</i>	142
<i>Figure 7-31 : Relativité de la vulnérabilité DRASTIC (tirée de (tiré de CERM-PACES (2013)).....</i>	144
<i>Figure 8-1 : Localisation de stations de prélèvements d'eau souterraine distribuée dans les réseaux municipaux pour l'alimentation en eau potable (catégories 1 et 2 seulement).....</i>	146
<i>Figure 8-2 : Localisation de stations de prélèvements d'eau souterraine autres que municipaux présentes sur le territoire de Lanaudière.....</i>	149
<i>Figure 8-3 : Provenance de l'eau souterraine distribuée dans le réseau d'aqueduc municipal : le type de milieux aquifères (granulaire ou roc fracturé) et le type de nappe (captive ou libre).....</i>	150
<i>Figure 8-4 : Site de prélèvement d'eau souterraine de la municipalité de Lanoraie constitué de plusieurs pointes filtrantes.....</i>	153
<i>Figure 8-5 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau de surface distribuée par les réseaux municipaux et les installations privées a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.....</i>	156
<i>Figure 8-6 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau souterraine prélevée selon les types d'usage a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.....</i>	159
<i>Figure 8-7 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine prélevée selon les catégories d'usage pour chacune des MRC.</i>	159

<i>Figure 8-8 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau de surface et d'eau souterraine prélevées a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.....</i>	161
<i>Figure 8-9 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine et eau de surface utilisées par chacune des MRC.....</i>	162
<i>Figure 8-10 : Portrait de la qualité de l'eau réalisé à partird'un indice calculé pour des stations d'échantillonnage par la Direction des écosystèmes aquatiques du ministère de l'Environnement et de la Faune ((MELCC, 1997)).....</i>	164
<i>Figure 9-1 : Localisation de la zone d'étude du projet de doctorat de M. Abi Attoumane visant l'amélioration des connaissances des taux de renouvellement et du contrôle des écoulements des eaux souterraines du socle rocheux cristallin du Bouclier canadien (tirée de Abi et al. (2022)).....</i>	171
<i>Figure 9-2 : Localisation des sondes piézométriques et barométriques installées.....</i>	172
<i>Figure 9-3 : Localisation des quatre forages investigués par les essais hydrogéologiques en forage ainsi que des lacs échantillonnés lors de la campagne d'échantillonnage d'eau de surface.....</i>	173
<i>Figure 9-4: Illustration des variations piézométriques des forages dans le temps entre 2019 et 2021.....</i>	174
<i>Figure 9-5: Localisation du territoire d'étude du projet doctoral de M. Yan Levesque (tiré de Lévesque et al. (2021)).....</i>	176
<i>Figure 9-6 : Photo de la cellule d'écoulement utilisée pour l'échantillonnage des isotopes et le suivi des paramètres physico-chimiques en continu.....</i>	178
<i>Figure 9-7 : Variations annuelles et variations lors de la purge de la signature en isotopes stables de l'eau souterraine prélevée aux 3 stations sélectionnées du projet de maîtrise de Mme Laura-Pier Perron Desmeules.....</i>	180
<i>Figure 9-8 : Localisation et provinces géologiques des territoires d'étude du projet de maîtrise de Mme Roxane Tremblay (tiré de Tremblay (2022))......</i>	181
<i>Figure 9-9 : Localisation des échantillons d'eau souterraine (pour analyses des isotopes) effectués dans des puits de particuliers dans le cadre de la campagne de caractérisation hydrogéo chimique régionale réalisée au cours de l'été 2020.</i>	182
<i>Figure 9-10 : Échantilleur d'eau de pluie. (a) Photo d'un échantilleur d'eau de pluie; (b) Localisation des deux échantilleurs d'eau de pluie sur le territoire.</i>	183
<i>Figure 10-1 : Proposition de structure de gestion régionale de la ressource en eau souterraine.....</i>	203

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Description des trois territoires visés par le PACES-LAMEMCN.	3
Tableau 1-2 : Liste des partenaires régionaux et de leur représentant sur le comité de suivi du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière.	4
Tableau 1-3 : Présentation de l'équipe de réalisation du projet PACES-LAMEMCN.	5
Tableau 2-1 : Données numériquement structurées disponibles se rapportant au milieu naturel.	7
Tableau 2-2 : Données numériques structurées disponibles se rapportant au milieu humain.	8
Tableau 2-3 : Données numériques disponibles se rapportant aux contextes géologiques et hydrogéologiques.	9
Tableau 2-4 : Données non numériquement structurées disponibles se rapportant aux contextes géologiques et hydrogéologiques.	10
Tableau 2-5 : Nombre de rapports récupérés, type de rencontre et autorisation d'accès, d'utilisation et de diffusion par municipalité.	12
Tableau 3-1 : Informations générales des puits réalisés.	17
Tableau 3-2 : Description des forages.	18
Tableau 3-3 : Liste des paramètres physico-chimiques analysés en laboratoire et in situ.	21
Tableau 4-1 : Données numériques géologiques et hydrogéologiques ponctuelles récupérées et traitées.	33
Tableau 4-2 : Nombre d'éléments extraits des rapports par type de données.	35
Tableau 4-3 : Code abrégé de la Commission géologique du Canada pour la description de dépôts meubles.	36
Tableau 4-4 : Données géologiques et hydrogéologiques ponctuelles initialement non numériques récupérées à partir de document papier ou PDF.	37
Tableau 4-5 : Nouvelles stations géologiques et hydrogéologiques ponctuelles acquises sur le terrain	37
Tableau 4-6 : Nouvelles données non numériques acquises sur le terrain.	38
Tableau 4-7 : Nombre de stations de la base de données géospatiales par type de source.	42
Tableau 5-1 : Caractéristiques des principales rivières du territoire.	47
Tableau 5-2 : Caractéristiques des lacs et réservoirs du territoire.	48
Tableau 5-3 : Débit moyen, maximal et minimal mesurés aux stations hydrométriques présentes sur le territoire.	49
Tableau 5-4 : Superficie des bassins versants (BV) de niveau 1 sur le territoire de Lanaudière.	50
Tableau 5-5 : Normales climatiques des stations du territoire municipalisé de Lanaudière (1981-2010).	51
Tableau 5-6 : Superficies municipales et nombre d'habitants par municipalité sur le territoire de Lanaudière.	53
Tableau 5-7 : Superficie et population des Municipalités régionales de comté (MRC) sur le territoire de Lanaudière (sauf la MRC des Moulins).	55
Tableau 5-8 : Routes nationales présentes sur le territoire.	55
Tableau 5-9 : Activités anthropiques pouvant avoir un impact sur l'eau souterraine (CUBF, édition 2018).	56
Tableau 5-10 : Niveaux d'impact qualitatif attribués à l'activité à partir de la cote d'impact potentiel.	60
Tableau 6-1 : Stratigraphie des roches du socle rocheux de la province de Grenville et de la Plate-forme du Saint-Laurent sur le territoire de Lanaudière.	64
Tableau 6-2 : Proportion des stations projetées pour l'interprétation des coupes stratigraphiques selon leur source.	77
Tableau 6-3 : La quantité de données sources présentes dans chacune des zones et utilisées pour la première interpolation.	87
Tableau 6-4 : Paramètres des semi-variogrammes théoriques pour chacune des zones.	87
Tableau 6-5 : Quantité de données sources ajoutées dans chacune des zones pour la deuxième interpolation.	88
Tableau 6-6 : Paramètres des semi-variogrammes théoriques pour chacune des zones.	88
Tableau 6-7 : Moyenne quadratique obtenue des modèles de l'épaisseur des dépôts meubles.	89
Tableau 7-1 : Résumé des proportions et des superficies de chaque contexte hydrogéologique présenté sur la carte #17 – Contextes hydrogéologiques.	103

<i>Tableau 7-2 : Synthèse de la localisation des contextes hydrogéologiques par rapport aux municipalités.</i>	109
<i>Tableau 7-3 : Synthèse des statistiques régionales obtenues pour les propriétés hydrauliques à partir des données récoltées dans les rapports de consultants et celles obtenues dans le cadre du PACES.</i>	116
<i>Tableau 7-4 : Classement des types de sols selon leur capacité de ruissellement.</i>	127
<i>Tableau 7-5 : Curve Number moyen (CN_i) selon le groupe de dépôt et leur pente (modifiée de Monfet (1979).</i>	127
<i>Tableau 7-6 : Classes de condition d'humidité moyenne en fonction des indices API et de la saison (Cronshay, 1986).</i>	129
<i>Tableau 7-7 : Cote DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau.</i>	137
<i>Tableau 7-8 : Cote DRASTIC pour chaque classe de recharge efficace.</i>	137
<i>Tableau 7-9 : Cote DRASTIC pour chaque milieu aquifère.</i>	138
<i>Tableau 7-10 : Cote DRASTIC pour chaque type de sol.</i>	139
<i>Tableau 7-11 : Cote T de DRASTIC pour chaque classe de pente.</i>	140
<i>Tableau 7-12 : Cote DRASTIC selon la nature de la zone vadose.</i>	140
<i>Tableau 7-13 : Cote DRASTIC pour chaque classe de conductivité.</i>	141
<i>Tableau 8-1 : Municipalités de Lanaudière avec le type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc municipal.</i>	147
<i>Tableau 8-2 : Les installations municipales classées par contextes hydrogéologiques et le type d'aquifère qu'elles captent.</i>	153
<i>Tableau 8-3 : Volumes estimés d'eau de surface distribuée annuellement provenant des réseaux municipaux ou d'installations privées.</i>	155
<i>Tableau 8-4 : Volumes estimés d'eau souterraine utilisée annuellement pour chacune des quatre catégories d'usage.</i>	157
<i>Tableau 8-5 : Volumes estimés d'eau de surface et souterraine utilisés annuellement pour chaque MRC.</i>	160
<i>Tableau 8-6 : Résumé des concentrations maximales acceptables (CMA) et des objectifs esthétiques (OE) recommandés par Santé Canada ainsi que les concentrations maximales (CM) prescrites par le RQEP¹.</i>	165
<i>Tableau 8-7 : Paramètres régis par des concentrations maximales (CM).</i>	166
<i>Tableau 8-8 : Paramètres pour lesquels des objectifs esthétiques (OE) sont recommandés par Santé Canada.</i>	168
<i>Tableau 9-1 : Types de données collectées avec le nombre de points et leur emplacement.</i>	175
<i>Tableau 9-2 : Caractéristiques physiques des stations d'échantillonnage sélectionnées dans le cadre du projet de maîtrise de Mme Laura-Pier Perron Desmeules.</i>	178

Liste des annexes numériques

- AN 1 : Cartes A0 PACES*
- AN 2 : Coupes stratigraphiques PACES*
- AN 3 : Comptes rendus des visites municipalités*
- AN 4 : Ententes et résolution avec les municipalités*
- AN 5 : Protocole d'échantillonnage eau souterraine*
- AN 6 : Diagraphie des forages PACES*
- AN 7 : Essai de pompage longue durée*
- AN 8 : Base de données de saisie – CERM*
- AN 9 : BD géospatiale PACES*
- AN 10 : Protocoles de production des livrables PACES*
- AN 11 : Cartes de la recharge annuelle (10 ans)*

Liste des cartes en format A0 disponible à l'annexe numérique AN 1

carte #1 : *Topographie*

carte #2 : *Routes, limites municipales et toponymie*

carte #3 : *Modèle numérique de terrain*

carte #4 : *Pente du sol*

carte #5 : *Hydrographie*

carte #6 : *Bassins et sous-bassins versants*

carte #7 : *Occupation du sol*

carte #8 : *Couverture végétale*

carte #9 : *Milieux humides*

carte #10 : *Affectation du territoire*

carte #11 : *Pédologie*

carte #12 : *Géologie du Quaternaire*

carte #13 : *Géologie du roc*

carte #14 : *Localisation des coupes stratigraphiques*

carte #15 : *Épaisseur des dépôts meubles*

carte #16a : *Topographie du roc*

carte #16b : *Topographie du roc TIN*

carte #17 : *Contextes hydrogéologiques*

carte #18a : *Limites régionales des milieux aquifères des dépôts meubles*

carte #18b : *Limites régionales des milieux aquifères fracturés*

carte #19 : *Piézométrie régionale*

carte #22 : *Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface*

carte #23 : *Activités potentiellement polluantes pour l'eau souterraine*

carte #24 : *Qualité de l'eau souterraine en fonction des concentrations maximales*

carte #25 : *Qualité de l'eau souterraine en fonction des objectifs esthétiques*

carte #26 : *Utilisation de l'eau*

carte #27 : *Stations météorologiques, stations hydrométriques et de suivi de la nappe d'eau souterraine*

carte #28a : *Zones de recharge préférentielle et de résurgence*

carte #28b : *Recharge annuelle*

1 INTRODUCTION

Au Québec, la ressource en eau souterraine permet l'alimentation en eau potable de 90% du territoire municipalisé, ce qui permet de répondre aux besoins en eau potable d'environ 20% de la population. Cette ressource étant vulnérable à la contamination, il est nécessaire de mieux la connaître. Toutefois, les connaissances des milieux aquifères, de la quantité et de la qualité de l'eau souterraine qu'ils contiennent sont encore fragmentaires sur une bonne partie du territoire québécois.

1.1 Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines

Dans une perspective de protection et de pérennité de la ressource, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs a élaboré en 2008 le Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Ce programme s'inscrit dans le cadre de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection. Ce programme a permis jusqu'à maintenant de caractériser la ressource en eau souterraine sur le territoire municipalisé de treize territoires. La couverture cartographique des connaissances hydrogéologiques complétée à ce jour en 3 phases est présentée à la figure 1-1.

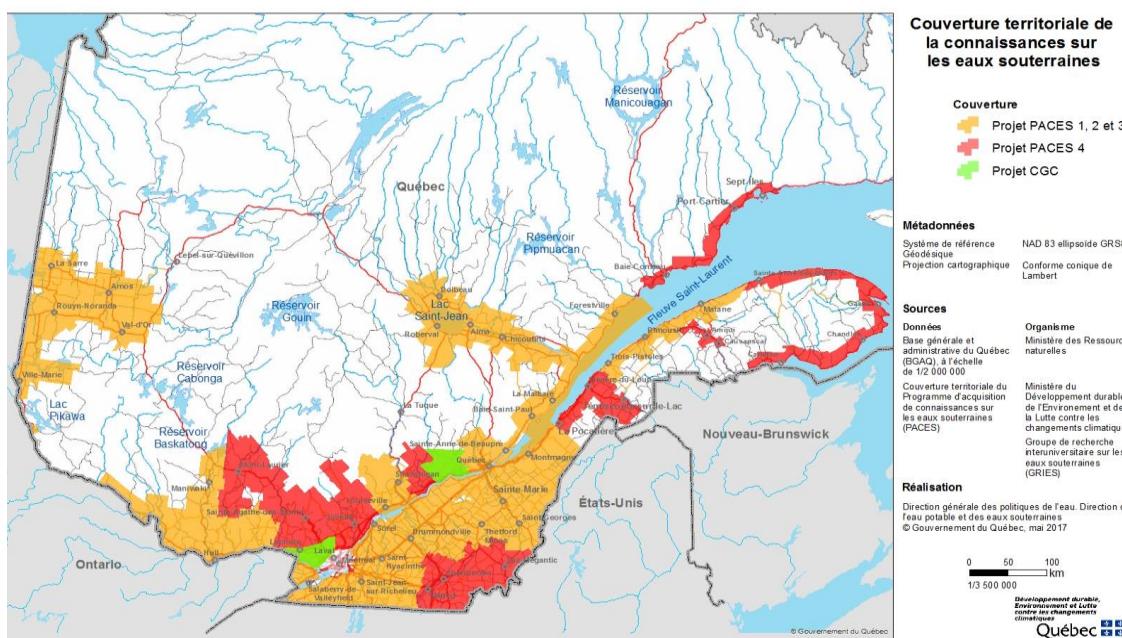


Figure 1-1 : Couverture territoriale de la connaissance sur les eaux souterraines¹. Le territoire des îles-de-la-Madeleine fait partie aussi des PACES 4.

Le présent projet fait partie de la 4^e phase et s'inscrit dans l'optique poursuivie par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) qui est de couvrir le maximum, voire la totalité des territoires non encore couverts par le PACES, ceci en respectant les limites du cadre financier disponible. Cet objectif devient réaliste uniquement en tenant compte du fait que les différentes équipes PACES ont acquis l'expérience des projets antérieurs et que bon nombre de méthodes, de techniques et de protocoles

¹ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/carte-projets.pdf>

ont été élaborés dans ces projets. De plus, il faut compter sur un effet d'échelle généré d'abord par la présence d'une équipe de réalisation interne à chaque université et sur les collaborations croisées qui permettront de profiter des expertises respectives de l'ensemble des équipes.

Toutefois, les territoires restants à couvrir sont encore très importants en superficie, obligeant les équipes à être imaginatives pour optimiser tous les processus permettant d'arriver aux livrables attendus.

1.1.1 Objectifs et phases d'un PACES

Les principaux objectifs d'un PACES consistent à :

- Dresser **un portrait** de la qualité et de la quantité de la ressource en eaux souterraines sur le territoire
- Établir **l'état de cette ressource**, sa recharge et sa vulnérabilité
- **Développer des partenariats** entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire afin de favoriser une **saine gestion de la ressource**
- Répondre aux **préoccupations du milieu** en ce qui concerne la ressource en eau souterraine

Le projet a été réalisé sur une période de quatre ans dont chaque année correspond approximativement à une phase spécifique.

- La **Phase 1** (compilation) a consisté à la collecte des données existantes et leur intégration dans une base de données géospatiales. Cette étape se conclut par la rédaction d'un rapport de synthèse des informations existantes, l'indication des données manquantes et la planification des travaux requis pour compléter l'état des connaissances.
- La **Phase 2** (levés de terrain) a permis la réalisation de travaux de terrain nécessaires à l'obtention d'informations complémentaires ou manquantes ainsi qu'à l'intégration des nouvelles données dans la base de données. Cette étape a donné lieu à deux (2) rapports de terrain et six (6) rapports techniques.
- La **Phase 3** (synthèse) a consisté en l'intégration et l'analyse des données ainsi qu'à la création des cartes hydrogéologiques, de l'atlas et du rapport final dans lequel des recommandations portant sur la protection et la gestion de l'eau souterraine sur le territoire à l'étude sont élaborées.

1.2 Territoire à l'étude du PACES-LAMEMCN

L'équipe de recherche en hydrogéologie de l'UQAC a été mandatée par le MELCC pour réaliser l'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de deux territoires non couverts par les trois premières phases de cartographie, soit 1) Lanaudière (sauf la MRC des Moulins) 2) Mauricie portion est, et d'un projet pilote sur la Moyenne-Côte-Nord (tableau 1-1; figure 1-2).

Tableau 1-1 : Description des trois territoires visés par le PACES-LAMEMCN.

	MRC	MUNICIPALITÉS	PREMIÈRES NATIONS	POPULATION ¹	SUPERFICIE (km ²) ²	OBV (principal)
Lanaudière	5	55	0	352 041	5 962	3
Mauricie-Est	3	22	3	37 336	5 883	3
Moyenne Côte-Nord (projet pilote)	3	17	5	72 524	10 728	2
TOTAL	11	94	8	461 901	22 573	8

¹Somme de la population des municipalités, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.

²Superficie calculée à partir du découpage administratif (SDA). La partie des limites municipales située dans le fleuve a été soustraite des superficies.

Le projet dans son ensemble implique donc **94 municipalités** réparties dans **11 MRC** pour une superficie totale de **22 573 km²**. Notons que dans le cadre de la proposition, les territoires de Lanaudière et de Mauricie-Est sont considérés comme des projets réguliers, alors que le territoire de la Moyenne-Côte-Nord fera l'objet d'un projet distinct (projet pilote).



Figure 1-2 : Localisation des territoires considérés dans le projet PACES-LAMEMCN.*

*Les délimitations en rouge correspondent aux territoires couverts par le présent projet alors que les délimitations en noir représentent les territoires couverts par l'UQAC lors des phases 1 et 3 du PACES. La superficie hachurée représente le territoire de Portneuf qui a déjà bénéficié d'une étude régionale sur les eaux souterraines. Pour la région de Portneuf, les données sont disponibles via le web.

Le présent document constitue le rapport synthèse final pour la région de **Lanaudière** du projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines.

1.3 Équipe de réalisation et partenaires

Pour répondre à l'objectif de développement de partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires de la ressource, un comité de gestion (figure 1-3 et tableau 1-2) regroupant l'ensemble des acteurs impliqués dans la réalisation du projet PACES a été mis sur pied pour assurer le suivi du projet. Ce comité a permis d'orienter les travaux adéquatement autant pour répondre aux exigences du PACES qu'aux préoccupations du milieu en ce qui a trait aux eaux souterraines.

Mandaté par le MELCC, le CERM de l'UQAC a ainsi créé un partenariat solide avec les représentants des MRC et des organismes de bassin versant. Ce partenariat se manifeste par un suivi annuel avec les partenaires régionaux afin de les informer de l'avancement du projet et de prendre connaissance des enjeux et des préoccupations du milieu.

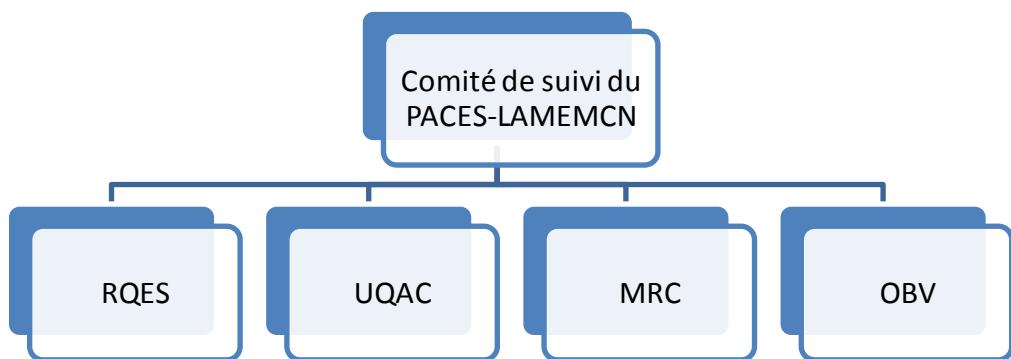


Figure 1-3 : Structure organisationnelle du projet PACES-LAMEMCN.

Tableau 1-2 : Liste des partenaires régionaux et de leur représentant sur le comité de suivi du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière.

Partenaires régionaux	Représentant
MRC L'Assomption	M ^{me} Nadine Gosselin, directrice du module environnement
MRC Matawinie	M. David Deslauriers, aménagiste
MRC D'Autray	M. Jean Hubert, directeur du service de l'aménagement
MRC Joliette	M ^{me} Annie Maheu, aménagiste
MRC Montcalm	M. Patrick Gauthier, directeur du service de l'aménagement et de l'environnement
OBV Zone Bayonne	M. Jean-Pierre Gagnon, directeur général
OBV Cara	M ^{me} Francine Trépanier, directrice générale

L'équipe multidisciplinaire constituée au sein du CERM pour réaliser le projet PACES (tableau 1-3) se compose de trois professeurs de l'UQAC, deux professionnelles de recherche, trois techniciens et six étudiants et stagiaires du 2^e cycle et plus d'une dizaine d'étudiants du 1^{er} cycle. Ces derniers ne sont pas listés dans le tableau 1-3, mais sont tous nommés dans les remerciements.

Tableau 1-3 : Présentation de l'équipe de réalisation du projet PACES-LAMEMCN.

Nom	Rôle	Expertise
Julien Walter	Co-coordonnateur	Hydrogéologie
Romain Chesnaux	Co-coordonnateur	Hydrogéologie
Alain Rouleau	Professeur émérite	Hydrogéologie
Mélanie Lambert	Professionnelle de recherche	Géomatique
Anouck Ferroud	Professionnelle de recherche	Hydrogéologie
Pierre-Luc Bilodeau	Technicien	Comptabilité et administration
David Noël	Technicien	Géophysique
Francis Vaillancourt	Technicien	Géomatique
Laura-Pier Perron Desmeules	Étudiant 2e cycle	en formation
Roxane Tremblay	Étudiant 2e cycle	en formation
Abi Attoumame	Étudiant 3e cycle	en formation
Yan Lévesque	Étudiant 3e cycle	en formation
Pierre Saint-Hilaire	Étudiant 2e cycle	en formation
Josu Otaegi Alcaide	Étudiant 2e cycle	en formation
Daouda Meite	Étudiant 3e cycle	en formation

1.4 Livrables du PACES

Les résultats du projet PACES sont remis au MELCC et aux partenaires régionaux et prennent la forme de quatre livrables :

- une base de données géospatiales (*file geodatabase*);
- des cartes thématiques en format A0;
- un atlas des eaux souterraines du territoire de Lanaudière;
- un rapport scientifique qui constitue le présent document.

La base de données numériques à référence spatiale contient des informations sur plus de **30 000 données ponctuelles** qui correspondent à des données provenant de bases de données existantes, de rapports hydrogéologiques appartenant aux municipalités présentes sur le territoire, ou à des données acquises dans le cadre du projet PACES. L'élaboration de cette base de données nécessite une méthodologie rigoureuse de numérisation et d'archivage des données présentées au chapitre 4 du présent rapport.

Les 29 cartes numériques en format A0 (annexe numérique AN 1) représentent différents aspects ayant trait aux eaux souterraines parmi lesquels :

- la géographie du territoire à l'étude (cartes 1 à 10, 23 et 27);
- la géologie (cartes 11 à 16) et les coupes stratigraphiques régionales (carte 14);
- l'hydrogéologie (cartes 17 à 22, 24 à 26, et 28) qui constitue le cœur du projet PACES.

La plupart de ces cartes se retrouvent aussi en format réduit dans l'atlas.

L'atlas hydrogéologique du territoire de Lanaudière a pour objectif de rendre les résultats du projet PACES accessibles à un plus large public que le rapport scientifique. Pour ce faire, des notions de base d'hydrogéologie y sont intégrées. Cet atlas présente les principaux résultats du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière.

Le rapport scientifique présentant l'ensemble des résultats du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière constitue le présent document et se divise en huit chapitres thématiques. En plus de l'introduction :

- Le **chapitre 2** fait l'inventaire des données déjà existantes sur le territoire et récupérées par l'équipe de recherche.
- Le **chapitre 3** présente les nouvelles données acquises sur le territoire par l'équipe de recherche dans le but de compléter l'information déjà existante.
- Le **chapitre 4** relate les étapes d'uniformisation et de centralisation de l'ensemble des données collectées (chapitre 2 et 3) dans une base de données géospatiales.
- Le **chapitre 5** décrit le territoire à l'étude, autant pour les aspects physiques que humains.
- Le **chapitre 6** brosse le portrait géologique du territoire (géologie du roc et des dépôts d'origine quaternaire, la stratigraphie des dépôts meubles à une échelle régionale caractérisée par les coupes stratigraphiques et l'épaisseur des dépôts).
- Le **chapitre 7** dresse l'état des connaissances hydrogéologiques du territoire à l'étude en présentant les limites régionales des milieux aquifères des dépôts meubles ainsi que du roc fracturé, les contextes hydrogéologiques, les propriétés hydrauliques, la piézométrie régionale et les principales directions d'écoulement de l'eau souterraine, les zones préférentielles de recharge et de résurgence et la vulnérabilité des milieux aquifères d'après la méthode DRASTIC.
- Le **chapitre 8** établit l'état de la ressource en eau souterraine en présentant les principales sources d'alimentation en eau potable des municipalités avec les milieux aquifères exploités, une estimation des quantités d'eau de surface et souterraine utilisées annuellement et la caractérisation hydrogéochimique de l'eau souterraine.
- Le **chapitre 9** résume les projets de recherche réalisés par les étudiants de 2^e et 3^e cycle.
- Le **chapitre 10** présente les conclusions, les limites d'utilisation des livrables du projet PACES, les recommandations pour améliorer les connaissances hydrogéologiques et pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine.

2 COLLECTE DES DONNÉES EXISTANTES

Afin de caractériser les milieux aquifères et l'eau souterraine sur le territoire de Lanaudière, une multitude de données sont requises fournissant de l'information notamment sur le territoire, le contexte géologique, la ressource en eau souterraine et les besoins pour l'alimentation en eau potable. La première étape d'un projet de caractérisation hydrogéologique régionale est donc d'acquérir les données déjà existantes au sein des ministères, des organismes paragouvernementaux, des municipalités et des entreprises privées (Phase 1 du PACES). Ces données peuvent exister sous forme de données **numériques structurées** comme dans un *shapefile*, un chiffrier *Excel* ou une base de données *Access*, mais elles peuvent aussi exister sous forme **non structurée**, c'est-à-dire se retrouver à l'intérieur d'un rapport PDF ou papier.

La section 2.1 présente l'acquisition des données **numériques structurées** existantes alors que la section 2.2 porte sur l'acquisition des données **non numériquement structurées**.

2.1 Données numériques structurées

Les données numériques structurées sont, dans certains cas, déjà dans un format de données géospatiales (*shapefile*, *file geodatabase*, *geoTIFF*, etc.), tandis que d'autres (*Excel*, *fichier texte*, *Access*, etc.) nécessitent d'être spatialisées. Ces données sont généralement publiques et certaines peuvent être téléchargées directement en ligne sur Internet, par exemple la base de données nationale des stations hydrométriques (HYDAT).

L'ensemble des données numériques structurées disponibles sur le territoire municipalisé de Lanaudière se classe en trois (3) grands thèmes : milieu naturel, milieu humain, et contextes géologiques et hydrogéologiques. Les données numériques structurées recueillies et liées à ces trois thèmes sont présentées dans les prochains paragraphes.

2.1.1 *Données se rapportant au milieu naturel*

Les données disponibles utilisées pour caractériser le milieu naturel correspondent à des données sur la topographie (lignes) et l'élévation (pixels), l'hydrographie (points, lignes, polygones), les limites des bassins et sous-bassins versants (polygones), la localisation des milieux humides et les données climatiques tels les apports verticaux. Le tableau 2-1 présente l'ensemble de ces données récupérées.

La plupart de ces données proviennent des ministères fédéraux (Environnement Canada - EC et Ressources naturelles Canada - RNCAN) et provinciaux (MELCC, MERN, Données Québec), et d'autres organismes gouvernementaux (Centre d'expertise hydrique du Québec - CEHQ, et la Commission géologique du Canada - CGC).

Tableau 2-1 : Données numériquement structurées disponibles se rapportant au milieu naturel.

Jeux de données	Mode de représentation	Primitive géométrique	Base de données ou Organisme	Propriétaire
Apports verticaux et températures	.MET et .AV	Point	CEHQ	MELCC
Bassins versants	Vectoriel	Polygone	-	MELCC
Courbes de niveau	Vectoriel	Ligne	BDTQ	MERN
CRHQ ¹	Vectoriel	Ligne		MELCC

Jeux de données	Mode de représentation	Primitive géométrique	Base de données ou Organisme	Propriétaire
Milieux humides	Vectoriel	Polygone		MELCC
Modèle numérique d'altitude	Matriciel	Pixel	MNA/MNEHR(Lidar)	MERN/MFFP
Réseau hydrographique	Vectoriel	Ligne, Polygone	BDTQ / BDAT	MERN
Stations hydrométriques	Vectoriel / .DAT	Point	- / HYDAT	MELCC / EC
Stations météorologiques	.XLS	Point	DSEE / RMCQ	MELCC / EC
Stations - Qualité Eau de surface	.XLS	Point	BQMA	MELCC

¹ Cadre de référence hydrographique du Québec.

2.1.2 Données se rapportant au milieu humain

Les données disponibles utilisées pour caractériser le milieu humain correspondent à des données sur l'affectation du territoire (polygones), l'exploitation des carrières et sablières (points, polygones), les limites municipales (polygones), les orthophotographies, l'occupation du sol (pixels), le réseau routier (lignes), les réseaux d'aqueduc (lignes), les préleveurs d'eau souterraine (point), les données agricoles (points et polygones), les terrains contaminés et les sites d'enfouissement. Le tableau 2-2 présente l'ensemble de ces données récupérées.

Tableau 2-2 : Données numériques structurées disponibles se rapportant au milieu humain.

Jeux de données	Mode de représentation	Primitive géométrique	Base de données / Organisme	Propriétaire
Affectation du territoire	Vectoriel	Polygone	MRCs / PPAT	MRCs / MAMROT
Bancs d'emprunt (gravières et sablières)	Vectoriel	Polygone	BDTQ	MERN
BDPPAD ¹ (zones agricoles)	Vectoriel	Polygone	FADQ	FADQ
Carrières	Vectoriel	Polygone	BDTQ	MERN
Occupation du sol/Utilisation du territoire	Matriciel	Pixel		MELCC
Codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF)	Vectoriel	Polygone	MRCs	MRCs
Grands préleveurs d'eau	.XLS	Point	-	MELCC
Limites municipales	Vectoriel	Polygone	SDA	MERN
Limites MRC	Vectoriel	Polygone	SDA	MERN
Orthophotographies	Matriciel	Pixel	-	MRC
Régions administratives	Vectoriel	Polygone	SDA	MERN
Réseaux linéaires d'aqueducs municipaux	Vectoriel	Ligne	MRCs	MRCs
Réseaux routiers	Vectoriel	Ligne	Adresse Québec	MERN
Sites enfouissement, anciens sites, dépotoirs	Vectoriel	Point	MRCs	MRCs
Index des cartes du SNRC ²	Vectoriel	Polygone	RNCAN	RNCAN
Terrains contaminés	Vectoriel	Point		MRCs / MELCC
Tenure (Terre publique et privée) et TPI	Vectoriel	Polygone	MRCs	MRCs
Types d'élevage	Vectoriel	Point	MAPAQ	MAPAQ

¹ Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées

² Système national de référence cartographique

2.1.3 Données se rapportant aux contextes géologiques et hydrogéologiques

Les données géologiques se rapportent à toutes les informations qui caractérisent les milieux aquifères, c'est-à-dire les dépôts meubles et le socle rocheux, tandis que les données hydrogéologiques correspondent à l'ensemble des informations spécialisées qui caractérisent l'eau souterraine en termes de quantité et de qualité.

Les données numériques structurées disponibles se représentent sous forme de polygones pour les cartes de la géologie du socle rocheux, de la géologie des dépôts de surface et de la pédologie; sous forme de lignes pour les failles, les linéaments; sous forme de données ponctuelles correspondant à des puits (MELCC), à des rapports de forage (MERN, MTQ, PACES adjacent à la zone d'étude) ou à des affleurements.

La nature de l'information est variée et les thématiques suivantes sont les plus pertinentes :

- **Données sur la fracturation du massif rocheux** : mesures *in situ* des discontinuités dans le roc (orientation, fréquence et ouverture des fractures).
- **Données stratigraphiques** : nature et ordre d'empilement des dépôts de surface; cette information peut être ponctuelle (forage), le long d'une ligne (coupe stratigraphique, levés géophysiques) ou en bloc 3D (modèles conceptuels).
- **Données hydrogéochimiques** : caractéristiques chimiques quantitatives de l'eau obtenues par analyse en laboratoire de l'eau souterraine extraite d'un forage.
- **Données piézométriques** : niveaux des nappes d'eau souterraine.

Le tableau 2-3 présente l'ensemble de ces données récupérées.

Tableau 2-3 : Données numériques disponibles se rapportant aux contextes géologiques et hydrogéologiques.

Jeux de données	Mode de représentation	Primitive géométrique	Base de données / Organisme	Propriétaire
Affleurements	Vectoriel	Point	SIGEOM ²	MERN
Base de données des stations du projet Quaternaire	Vectoriel	Point	SIGEOM ²	MERN
Cartes dépôts de surface + symbole	Vectoriel	Point, Ligne, Polygone	SIGEOM ²	MERN
Cartes dépôts de surface (SIEF ¹)	Vectoriel	Polygone	SIEF ¹	MERN
Débits de base	.txt	Point	CEHQ	MELCC
Failles / Linéaments	Vectoriel	Ligne	SIGEOM ²	MERN
Forages MTQ	Vectoriel	Point	-	MTQ
Forages SIGEOM ²	Vectoriel	Point	SIGEOM ²	MERN
Sites de prélèvement	.GDB	Point	MELCC	MELCC
Pédologie	Vectoriel	Polygone	Banque pédologique	IRDA
Puits domestiques SIH ³	.MDB	Point	SIH ³	MELCC
Stries, marques d'érosion	Vectoriel	Point	SIGEOM ²	MERN
Zones géologiques	Vectoriel	Polygone	SIGEOM ²	MERN
Stations PACES adjacents	Vectoriel	Point	-	MELCC
Données de la BADGEQ ⁴	.mdb	Point	BADGEQ	MELCC

¹ Système d'information écoforestière.

² Système d'information géominière.

³ Système d'information hydrogéologique.

⁴ Base de données géochimiques du Québec

Les données géologiques et hydrogéologiques constituent des données essentielles au PACES. Cependant, certaines de ces données sont présentes seulement dans des rapports (PDF ou papier) et n'existent pas encore sous forme de données numériques structurées (chiffrier *Excel*, base de données *Access*, etc.) puisqu'elles n'ont jamais été extraites et saisies numériquement. La section 2.2 présente le processus d'acquisition des données géologiques et hydrogéologiques non numériquement structurées.

2.2 Données non numériquement structurées

Les données non numériquement structurées d'intérêt pour un projet PACES sont disponibles habituellement dans des rapports appartenant aux ministères ou aux municipalités du territoire. La démarche d'acquisition des documents PDF ou papier ainsi que la nature des données qu'ils contiennent sont présentées en détail dans les prochains paragraphes pour chacun des fournisseurs.

2.2.1 Rapports PDF des ministères

Les ministères possèdent plusieurs données sur la géologie ou l'hydrogéologie déjà numériquement structurées (section 2.1.3), mais certaines d'entre elles n'ont pas encore été extraites des rapports PDF (ex. : rapport de cartographie géologique) et nécessitent d'être saisies et structurées dans un chiffrier électronique ou dans une base de données.

Les rapports de cartographie en format PDF du MERN sont disponibles via le système d'information géominière (SIGEOM) et téléchargeables gratuitement. Au total, **11** rapports de cartographie géologique contenant des unités géologiques (ex. : limite de la moraine de Saint-Narcisse) et des affleurements sur le territoire ont été récupérés par le CERM.

Le système d'information géoscientifique pétrolier et gazier (SIGPEG) contient des rapports de forages qui peuvent être récupérés directement sur leur site Internet moyennant certains coûts. Ces rapports bonifient l'information géologique sur le territoire, et plus particulièrement l'information stratigraphique. Au total, **83** rapports de forage ont été acquis par le CERM à partir du SIGPEG.

Le réseau de suivi des eaux souterraines du Québec créé par le MELCC compte plus de 250 stations piézométriques sur le territoire de la province dont **4** se situent sur le territoire à l'étude. L'information stratigraphique des stations se retrouve dans un document PDF qui peut être téléchargé gratuitement sur le site Internet du ministère. Les documents récupérés auprès de différents ministères sont présentés dans le tableau 2-4.

Tableau 2-4 : Données non numériquement structurées disponibles se rapportant aux contextes géologiques et hydrogéologiques.

Type de document	Type de support	Base de données / Organisme	Propriétaire	Nombre de rapports
Rapport de cartographie géologique	PDF	SIGEOM	MERN	11
Rapport de forage	PDF	SIGPEG ¹	MERN	83
Schémas des piézomètres	PDF	RSESQ ²	MELCC	4

¹ Système d'Information géoscientifique pétrolier et gazier

² Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec

2.2.2 Rapports PDF ou papier des municipalités

Les municipalités détiennent la majorité des données géologiques et hydrogéologiques non numériquement structurées. Elles se trouvent dans des rapports d'experts en hydrogéologie, en géotechnique et en environnement. Ces études ont été réalisées par des firmes privées et sont disponibles parfois sous support numérique (PDF, Word), mais souvent seulement sous format papier. L'obtention de ces rapports a représenté un des principaux défis de la phase 1 du projet PACES.

L'obtention des documents (études, rapports, etc.) propres à chaque municipalité a été réalisée grâce à la collaboration de personnes-ressources au sein de chaque municipalité, MRC et directions du MELCC. De façon générale, ces personnes-ressources occupent des fonctions de directeur général ou d'inspecteur municipal, d'urbaniste ou d'aménagiste de MRC, ou de technicien en administration répondant aux demandes formulées dans le cadre de la loi sur l'accès aux documents des organismes publics. La majorité de ces personnes a été rencontrée au cours des étés 2018 et 2019.

Lors de ces rencontres, un formulaire de visite est rempli et vise à obtenir ou valider l'information sur le territoire de la municipalité tel que le type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc (eau souterraine, eau de surface ou mixte), les secteurs non desservis par le réseau, le nombre de puits municipaux, les types de dépôts présents et les types d'activités (agriculture, pisciculture, usines, industries, etc.) retrouvés. Tous les comptes rendus complétés à la suite de ces rencontres sont fournis à l'annexe numérique **AN 3**.

En plus de remplir le formulaire, cette rencontre a permis d'officialiser l'entente sur l'accès, l'utilisation et la diffusion des données en procédant par la signature de l'entente des deux parties (annexe numérique **AN 4**). Pour plusieurs municipalités, l'entente a été signée et/ou une résolution a été émise par le conseil municipal. Chaque entente et chaque résolution reçue ont été numérisées à l'aide d'un balayeur optique et archivées dans un répertoire numérique. Cette rencontre a également permis à l'équipe du projet de visiter les installations de captage d'eau de la municipalité.

Finalement, la récupération des rapports a été réalisée dans certains cas lors de cette première rencontre ou lors de rencontres ultérieures. Pour l'obtention de rapports d'expertise, certaines municipalités ont référé l'équipe du projet auprès de firmes d'hydrogéologie ayant réalisé des mandats.

Le tableau 2-5 présente le mode d'entente pris avec les municipalités ainsi que le nombre de rapports obtenus pour chacune.

Au total, **348** rapports pertinents ont été récupérés dans les municipalités de Lanaudière. Les rapports en hydrogéologie et en géologie appartiennent à l'une ou l'autre de ces deux catégories :

- les études hydrogéologiques (caractérisation hydrogéologique, recherche en eau, détermination des périmètres de protection des aires de captage, calcul d'aire d'alimentation, etc.) réalisées en majorité par des consultants pour des municipalités;
- les études géotechniques et environnementales réalisées généralement par des laboratoires de génie-conseil.

Tableau 2-5 : Nombre de rapports récupérés, type de rencontre et autorisation d'accès, d'utilisation et de diffusion par municipalité.

Municipalités	Rencontre	Entente Résolution	Nb rapports pertinents récupérés²
MRC D'Autray			79
Mandeville	Téléphonique	oui	14
Saint-Didace	Visite	oui	3
Saint-Gabriel-de-Brandon	Visite	n/a ¹	2
Saint-Gabriel	Visite	oui	8
Saint-Barthélemy	Visite	oui	20
Saint-Cuthbert	Visite	oui	2
Saint-Norbert	Visite	oui	0
Saint-Cléophas-de-Brandon	Visite	n/a ¹	2
Sainte-Élisabeth	Visite	oui	3
Saint-Ignace-de-Loyola	Visite	oui	0
La Visitation-de-l'Île-Dupas	Visite	n/a ¹	0
Sainte-Geneviève-de-Berthier	Visite	oui	4
Berthierville	Visite	oui	7
Lanoraie	Visite	oui	10
Lavaltrie	Visite	oui	4
MRC Joliette			66
Sainte-Mélanie	Visite	oui	4
Saint-Ambroise-de-Kildare	Visite	oui	3
Notre-Dame-de-Lourdes	Visite	oui	1
Saint-Charles-Borromée	Visite	oui	9
Saint-Thomas	Visite	oui	4
Notre-Dame-des-Prairies	Visite	oui	11
Joliette	Visite	oui	17
Saint-Pierre	Téléphonique	n/a ¹	0
Saint-Paul	Visite	oui	14
Crabtree	Visite	oui	3
MRC L'Assomption			25
L'Assomption	Téléphonique	oui	5
L'Épiphanie	Visite	oui	2
Saint-Sulpice	Visite	oui	5
Repentigny	Téléphonique	oui	9
Charlemagne	Visite	oui	4
MRC Matawinie			100
Saint-Michel-des-Saints	Visite	oui	10
Saint-Zénon	Visite	oui	3
Saint-Damien	Visite	oui	7
Saint-Donat	Visite	oui	7
Sainte-Émélie-de-l'Énergie	Visite	oui	3
Notre-Dame-de-la-Merci	Visite	oui	2
Saint-Côme	Visite	oui	3
Saint-Jean-de-Matha	Visite	oui	7
Sainte-Béatrix	Visite	oui	10
Saint-Alphonse-Rodriguez	Visite	oui	6
Chertsey	Téléphonique	n/a ¹	2

Municipalités	Rencontre	Entente Résolution	Nb rapports pertinents récupérés²
Saint-Félix-de-Valois	Visite	oui	30
Entrelacs	Visite	oui	1
Sainte-Marcelline-de-Kildare	Visite	oui	3
Rawdon	Visite	oui	6
MRC Montcalm			76
Saint-Liguori	Visite	oui	2
Sainte-Julienne	Visite	oui	13
Saint-Calixte	Visite	oui	10
Saint-Jacques	Visite	oui	28
Saint-Alexis	Téléphonique	oui	3
Sainte-Marie-Salomé	Visite	oui	0
Saint-Esprit	Visite	oui	4
Saint-Lin - Laurentides	Aucune	non	5
Saint-Roch-de-l'Achigan	Visite	non	10
Saint-Roch-Ouest	Visite	oui	1
Rapport synthèse (MRC D'Autray, Joliette et Montcalm)			2
TOTAL			348

¹Aucun document pertinent dans la municipalité

²Inclus les rapports récupérés aux archives du MELCC

Études hydrogéologiques

Les rapports hydrogéologiques peuvent se trouver directement dans les municipalités ou être archivés à la direction des politiques de l'eau du MELCC (demande d'autorisation pour le prélèvement d'eau souterraine). Ces derniers ont été récupérés à l'été 2018.

La majorité des municipalités du territoire visé s'alimente en eau potable à partir d'eau souterraine. Pour ce faire, les municipalités possèdent des études hydrogéologiques et les données qui s'y trouvent sont significatives et pertinentes. En effet, ces études renferment des informations indispensables à la compréhension des systèmes aquifères actuellement en exploitation sur le territoire de Lanaudière, car ces informations ont été acquises par des experts en hydrogéologie.

Études géotechniques et environnementales

Les études géotechniques sont réalisées principalement avant la construction ou l'implantation d'infrastructures (réseau d'aqueduc, bâtiment, etc.) ou pour caractériser les sols et les massifs rocheux susceptibles de mouvement (coulée d'argile, éboulements, etc.). Ces études donnent principalement de l'information sur la stratigraphie et les sols. Les études environnementales permettent principalement d'obtenir des données stratigraphiques sur les sols.

3 ACQUISITION DE DONNÉES COMPLÉMENTAIRES SUR LE TERRITOIRE

Afin de bonifier les données existantes et récupérées sur le territoire, des travaux d'acquisition de nouvelles données doivent être acquises. Les travaux de caractérisation hydrogéologique ont été réalisés lors de la phase 2 du projet PACES. Ils prennent la forme de travaux de terrain échelonnés sur les quatre ans du PACES, mais concentrés au cours de la deuxième et la troisième année soit les étés 2019 et 2020. La plupart des travaux ont déjà fait l'objet d'un rapport d'étape déposé au MELCC au mois de mars 2020² et d'un rapport d'état d'avancement au mois de mars 2021³. Cette section reprend les principaux travaux d'acquisition de données et d'information que sont :

- les levés stratigraphiques (section 3.1),
- les forages (section 3.2),
- l'échantillonnage et les analyses hydrogéo chimiques réalisés sur des puits de captage privés (section 3.3),
- les essais de pompage réalisés (section 3.4)
- les données acquises pour répondre aux objectifs des projets de recherche (section 3.5).

3.1 Stations stratigraphiques

A l'occasion des travaux de récupération des rapports hydrogéologiques et autres données pertinentes auprès des municipalités (section 2.2.2), l'équipe de recherche a réalisé des descriptions géologiques à des stations situées le long des routes, dans des gravières/sablières ou dans des carrières. Les 12 et 13 août 2019, une excursion géologique dirigée par M. Gilles Locat, géologue aménagiste (retraité) de la MRC Matawinie, a aussi permis d'acquérir une meilleure compréhension du contexte physiographique particulier de Lanaudière.

Objectifs

Ces visites de terrain ont permis de mieux connaître le territoire naturel à l'étude et d'identifier des grands ensembles géomorphologiques et géologiques à l'intérieur des limites du territoire municipalisé. Un modèle conceptuel préliminaire de la région a d'ailleurs pu être créé après la première année du PACES et a été présenté dans le rapport d'étape de la phase 1⁴.

Localisation

La localisation des **57 stations** visitées lors de la récupération des rapports est présentée à la figure 3-1, alors que la figure 3-2 localise les **16 stations** visitées pendant les deux jours de l'excursion de Gilles Locat. Comme le montre la figure 3-2, les stations visitées pendant l'excursion se situent principalement dans les Hautes-Terres et le Piedmont.

² Rapport d'étape de la phase 2 – Travaux de terrain et résultats préliminaires, PACES-LAMEMCN – section Lanaudière remis au MELCC en mars 2020.

³ Rapport d'avancement – Travaux de terrain et résultats préliminaire, PACES-LAMEMCN – section Lanaudière remis au MELCC en mars 2021.

⁴ Rapport d'étape de la phase I basée sur les données existantes et planification révisée de la phase II, PACES-LAMEMCN section Lanaudière remis au MELCC en mars 2019.

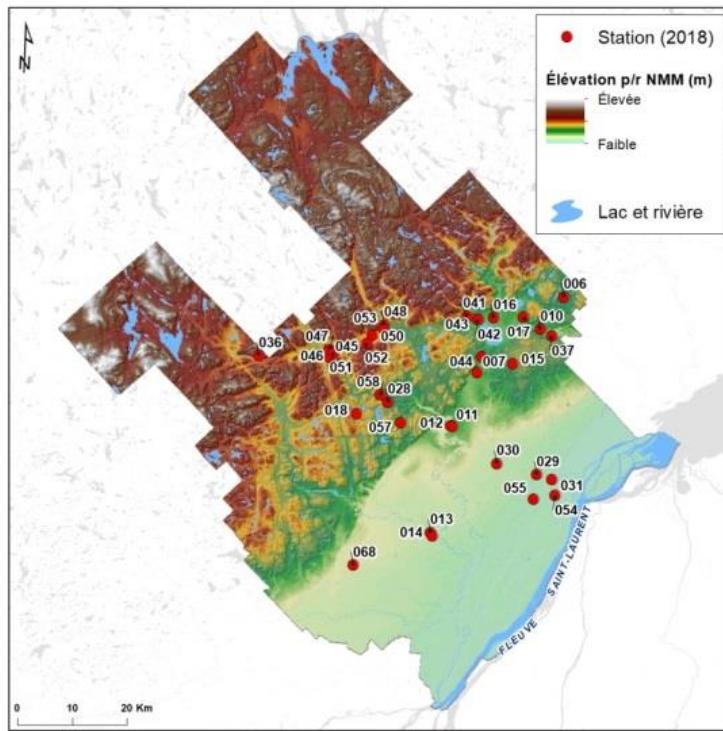


Figure 3-1 : Localisation des stations d'observation de la géologie (été 2018).

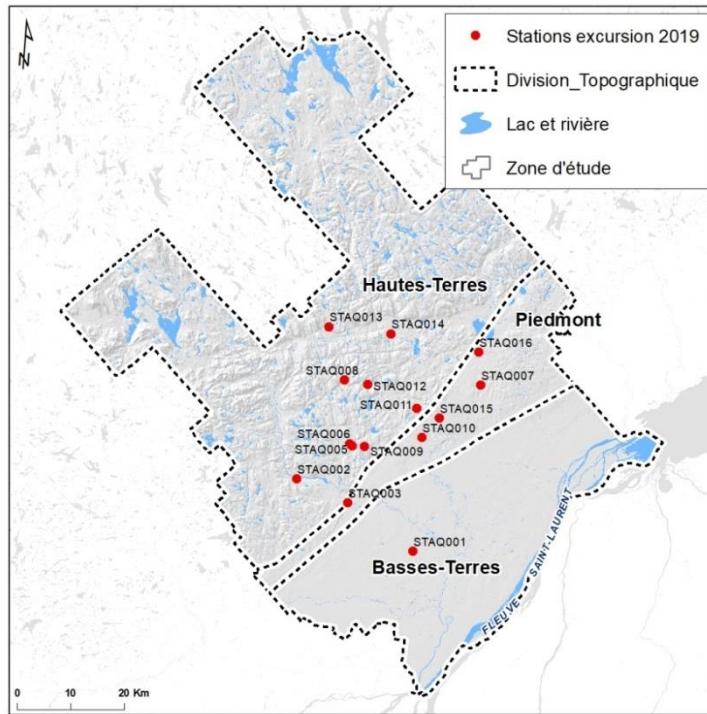


Figure 3-2 : Localisation des stations visitées au cours de l'été 2019 pour la caractérisation de la stratigraphie par rapport aux régions physiographiques.

3.2 Forages par percussion et installation

Quatre forages ont été réalisés sur le territoire entre le 14 et le 20 août 2019. Un budget d'environ 30 000 \$ a été alloué par le MELCC à l'équipe du CERM-UQAC pour la réalisation de ces forages. Les quatre forages ont été réalisés dans le socle rocheux par l'entreprise GeoPro Lapointe (du groupe Puitbec).

Objectifs

L'objectif de ces forages est d'acquérir une connaissance supplémentaire sur les types de dépôts en place, la géologie, la piézométrie, l'état de fracturation et la profondeur du socle rocheux. Ces forages ont aussi pour objectif d'installer des puits dans le milieu fracturé afin de réaliser des essais hydrauliques et d'estimer les valeurs de transmissivité et d'emmagasinement du milieu exploité.

Méthodologie

Les forages ont été réalisés par la compagnie GeoPros Lapointe (compagnie de Puitbec) avec une foreuse rotative Comacchio GEO-900 avec chenille en caoutchouc (figure 3-3). La méthode du marteau-fond de trou a été utilisée et consiste à forer le socle rocheux par percussion. Cette méthode forme un trou dans le roc d'un diamètre de 5.5 pouces



Figure 3-3 : Camion de forage de la compagnie de forage Géopros Lapointe.

Une analyse systématique des dépôts meubles en sortie de forage a été réalisée à chaque 5 pieds (1,524 m) et à chaque changement de lithologie (figure 3-4).



Figure 3-4 : Échantillonnage des dépôts meubles lors des forages

Localisation et description des forages

Une zone d'étude a été sélectionnée dans un seuil topographique dans le piedmont dans la partie est du territoire (tracé rouge sur la figure 3-5). Cette zone est délimitée entre la faille de Sainte-Julienne (limite nord) et la faille de Saint-Cuthbert (limite sud). Latéralement, la zone d'étude est limitée par des altitudes topographiques minimales, notamment la rivière Maskinongé à l'est et la rivière Bayonne à l'ouest.

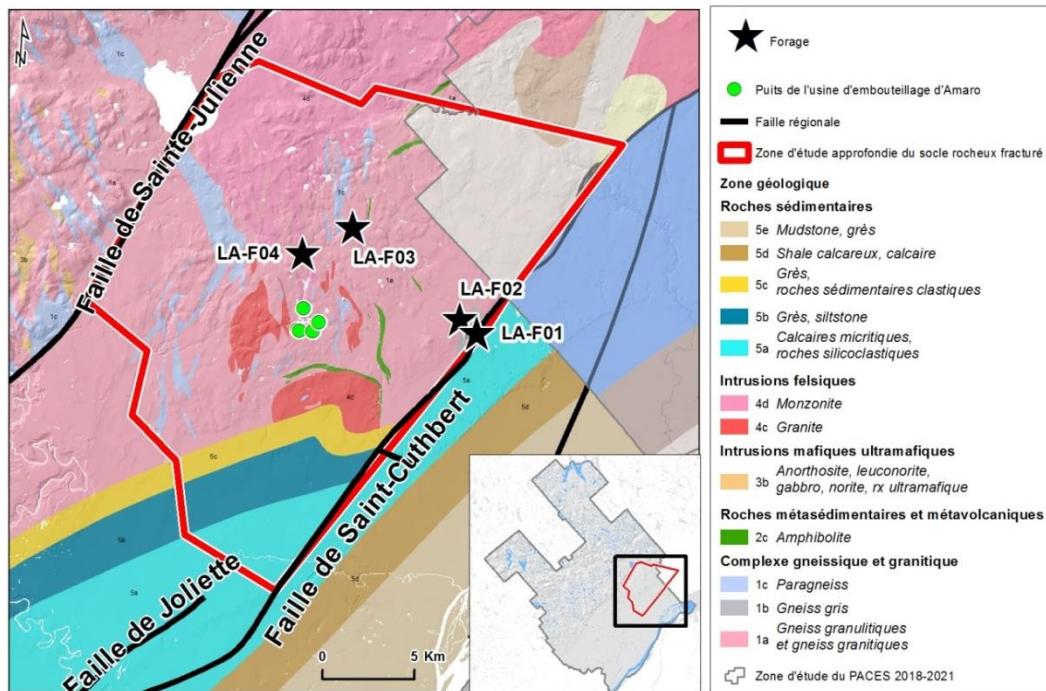


Figure 3-5 : Localisation des quatre forages et zone d'étude approfondie de socle rocheux fracturé.

Pour chacun des puits, un tubage en acier d'un diamètre de 6 pouces a été installé au niveau des dépôts. Les tubages ont été ancrés dans le socle rocheux de 1 à 3 pieds. Les informations complémentaires relatives aux données générales et la description des puits réalisés sont données dans les tableaux 3-1 et 3-2. Les logs stratigraphiques détaillés de chacun des forages réalisés (LA-F01, LA-F02, LA-F03 et LA-F04) sont fournis à l'annexe numérique AN 6.

Tableau 3-1 : Informations générales des puits réalisés.

Nom du puits	Date de réalisation	Géologie simplifiée	Municipalité	Coordonnées UTM zone 18	Élevation (m)	Condition du puits après 03/2021
				X	Y	
LA-F01	15/08/2019	Calcaire et granite	Saint-Barthélemy	641 381	5 119 590	63
LA-F02	16/08/2019	Gneiss	Saint-Barthélemy	640 424	5 150 268	85
LA-F03	20/08/2019	Gneiss	Saint-Barthélemy	634 156	5 124 769	192
LA-F04	20/08/2019	Gneiss	Saint-Cuthbert	631 596	5 123 101	182

*RSESQ : Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec (<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/piezo/index.htm>)

Tableau 3-2 : Description des forages.

Nom du puits	Profondeur du forage (m)	Hauteur de la margelle (m)	Tubage acier (profondeur en m)	Remarques
LA-F01	109,1	0,99	8,8	
LA-F02	72,5	0,865	13,7	
LA-F03	60,4	1,1	5,5	Bentonite
LA-F04	72,5	0,79	13,1	

LA-F01

Le forage LA-F01 a été réalisé près de la faille de Saint-Cuthbert (figure 3-5). Cette faille marque le contact lithologique entre le socle précambrien et les roches sédimentaires de l'Ordovicien (SIGEOM, MRN). Ce contact a été intercepté dans LA-F01 à une profondeur de 94,5 m. La réalisation de ce forage permet de préciser la position de la faille de Saint-Cuthbert et la localisation de la discordance entre les roches sédimentaires et le socle cristallin.

Le débit estimé après un développement d'une heure est de 80 L/min. La majeure partie de l'eau est fournie par un ensemble de petites fractures fournissant de faibles venues d'eau qui ont été interceptées le long des 87 m de calcaire. Le calcaire rencontré le long du forage est gris bleuâtre foncé et présente une alternance avec des lits de shale appartenant à la formation du Tétrauvilles (de l'Ordovicien moyen).

En dessous des calcaires, environ 14 m de granite sain (pas ou très peu fracturé) a été intercepté avec une alternance de faciès rose et d'autres, plutôt vert foncé et blanc.

Le log stratigraphique du forage LA-F01 est fourni à l'annexe numérique AN 6.

LA-F02

Le puits LA-F02 a été réalisé dans l'érablière de la municipalité de Saint-Barthélemy à proximité des puits municipaux destinés à l'alimentation en eau potable, installés dans les dépôts granulaires (figure 3-6).

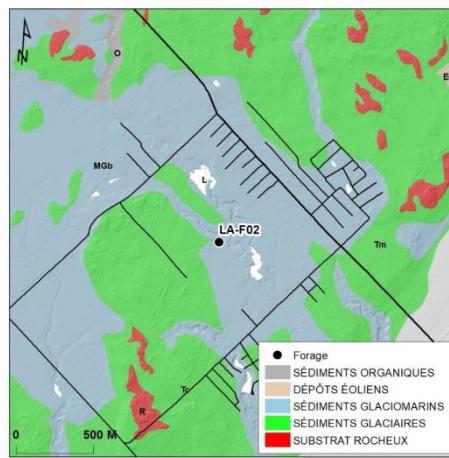


Figure 3-6 : Topographie et dépôts autour du forage LA-F02.

Le forage intercepte quelques horizons de sable fin, moyen grossier avec du gravier par endroit, puis il rencontre un gneiss avec quelques zones fracturées fournissant un faible débit d'eau. La principale zone fracturée a été

observée sur une épaisseur estimée à 60 cm de longueur et a été rencontrée à 28 m de profondeur. Le débit fourni par cette zone fracturée est estimé à 11 à 15 L/min (3-4 GUSPM).

Le log stratigraphique du forage LA-F02 est fourni à l'annexe numérique AN 6.

LA-F03

Le puits LA-F04 a été foré sur la municipalité de Saint-Barthélemy près d'une intersection de deux linéaments perpendiculaires l'un orienté NNO-SSE et l'autre ENE-OSO.

Le socle rocheux a été atteint très rapidement (à 1.8 m de profondeur). Le forage a intercepté deux zones très fracturées et comblées par du sable. Une première zone fracturée est d'environ 1.5 m et a été interceptée à une profondeur de 12 m. La seconde zone fracturée a été rencontrée à une profondeur de 30 m sur une épaisseur d'environ 5 m. Pourtant très propices à l'écoulement de l'eau ces deux zones fracturées et comblées de sables n'ont pas fourni d'eau en quantité suffisante pour être détectée.

Le log stratigraphique du forage LA-F03 est fourni à l'annexe numérique AN 6.

LA-F04

Le puits LA-F04 a été réalisé sur la municipalité de Saint-Cuthbert à environ 3 km au nord des puits de l'usine d'emboîtement d'Amaro (voir figure 3-5).

Le puits a rencontré une épaisseur de dépôts meubles de 12,5 m composés de sable silteux et de silt sableux, puis un gneiss avec quelques zones fracturées apportant quelques venues d'eau sur une épaisseur de 60 m. La principale venue d'eau est fournie par une zone fracturée interceptée entre 64 et 66 m de profondeur. Le débit estimé après le développement du forage est d'environ 15-20 L/min.

Le puits est situé dans une dépression topographique entre deux buttons de roc (figure 3-7) d'une altitude d'environ 220-230 m et d'une hauteur de 40-50 m par rapport au site du forage. L'eau du puits présente des conditions artésiennes. Lors des travaux d'essais hydrauliques réalisés le 30 septembre 2019 le niveau statique a été mesuré à 85 cm au-dessus du sol.

Le log stratigraphique du forage LA-F04 est fourni à l'annexe numérique AN 6.

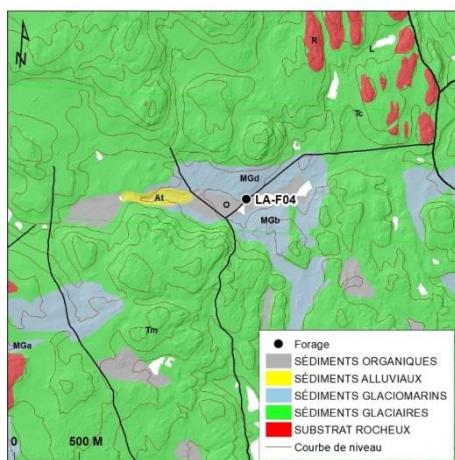


Figure 3-7 : Topographie et dépôts autour du forage LA-F04.

Étant donné les conditions artésiennes, des travaux d'entretien du puits ont été réalisés au mois de novembre 2019 par la compagnie *Henri Cousineau*, afin de protéger le puits en hiver contre le risque de gel et pour protéger le chemin municipal. Un drain a notamment été installé sous le chemin.

3.3 Échantillonnage hydrogéochimique de l'eau souterraine

La campagne d'échantillonnage et d'analyses hydrogéochimiques s'est déroulée du mois de juin au mois d'août 2019. Les données recueillies lors de cette campagne ont également fait l'objet de projets de recherche à l'UQAC.

Objectifs

Le prélèvement et l'analyse d'échantillons d'eau souterraine dans ce projet vise à évaluer de façon quantitative la chimie inorganique de l'eau, notamment les paramètres qui définissent sa potabilité en fonction du Règlement sur la qualité de l'eau potable du Québec (RQEP) et des recommandations pour la qualité de l'eau potable de Santé Canada.

Description de la méthode

La collecte d'échantillons a été précédée d'une période de sondage téléphonique exécutée par quatre étudiants de l'UQAC. Les réseaux sociaux ont été très utiles pour retrouver des propriétaires de puits intéressés à recevoir la visite de notre équipe en échange d'une analyse gratuite de l'eau de leur puits. Les personnes intéressées ont été invitées à remplir un formulaire en ligne. Cette méthode a permis d'obtenir une centaine de noms de propriétaires de puits. Au total, plus de 200 appels ont été réalisés au cours de l'été afin de sonder l'intérêt des propriétaires et fixer un rendez-vous avec l'une de nos équipes.

L'échantillonnage de l'eau souterraine a été effectué suivant un protocole élaboré à cet effet et validé par les partenaires du groupe de recherche sur les eaux souterraines (RQES). Ce protocole est fourni à l'annexe numérique AN 5. Les analyses ont été réalisées par un laboratoire agréé par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). C'est le Bureau Véritas (anciennement Maxxam) qui a été sélectionné par appel d'offres. La figure 3-8 montre l'étape de prélèvement d'eau souterraine dans les contenants appropriés.



Figure 3-8 : Le prélèvement d'échantillon d'eau souterraine se fait dans des bouteilles approuvées par le laboratoire d'analyse.

Le protocole d'échantillonnage incluait un suivi en continu des paramètres physico-chimiques *in situ* (potentiel d'oxydoréduction, pH, température, oxygène dissous, total des solides dissous et conductivité électrique). Le tableau 3-3 présente les paramètres physico-chimiques analysés dans le cadre du PACES.

Tableau 3-3 : Liste des paramètres physico-chimiques analysés en laboratoire et *in situ*.

PARAMÈTRES ANALYSÉS (Laboratoire)

- Aluminium (Al)
- Antimoine (Sb)
- Argent (Ag)
- Arsenic (As)
- Baryum (Ba)
- Cadmium (Cd)
- Chrome (Cr)
- Cobalt (Co)
- Cuivre (Cu)
- Manganèse (Mn)
- Molybdène (Mo)
- Nickel (Ni)
- Sodium (Na)
- Zinc (Zn)
- Bore (B)
- Fer (Fe)
- Magnésium (Mg)
- Lithium (Li)
- Potassium (K)
- Sélénium (Se)
- Strontium (Sr)
- Etain (Sn)
- Titane (Ti)
- Vanadium (V)
- Béryllium (Be)
- Bismuth (Bi)
- Calcium (Ca)
- Silicium (Si) – (soluble dans HNO₃)
- Plomb (Pb)
- Uranium (U)
- Alcalinité Totale (en CaCO₃) à pH 4.5
- Azote ammoniacal (N-NH3)
- Bromure (Br)
- Chlorures (Cl)
- Fluorure (F)
- Nitrate (N) et Nitrite (N)
- Phosphore inorganique
- Sulfates (SO₄)
- Sulfures (S)

PARAMÈTRES MESURÉS *IN SITU*

- Température
- Total des solides dissous / conductivité
- Oxygène dissous
- pH
- Potentiel d'oxydoréduction (Eh)
- Alcalinité Totale (en CaCO₃)

PARAMÈTRES ORGANOLEPTIQUES OBSERVÉS *IN SITU*

- Couleur
- Odeur
- Goût
- Turbidité

À la fin de la campagne, les résultats d'analyse ont été remis par courriers postaux ou électroniques aux propriétaires de puits. L'équipe du CERM est restée disponible pour répondre aux questions et préoccupations de ces propriétaires tout au long du projet.

Localisation

La figure 3-9 montre la répartition des points d'échantillonnage. Au total, 223 échantillons dans **218 installations** différentes ont été prélevés dont :

- quatre-vingt-deux (82) dans le roc fracturé (2 dans le calcaire);
- cent (100) dans les dépôts granulaires;
- trente-six (36) dans un milieu aquifère inconnu⁵.

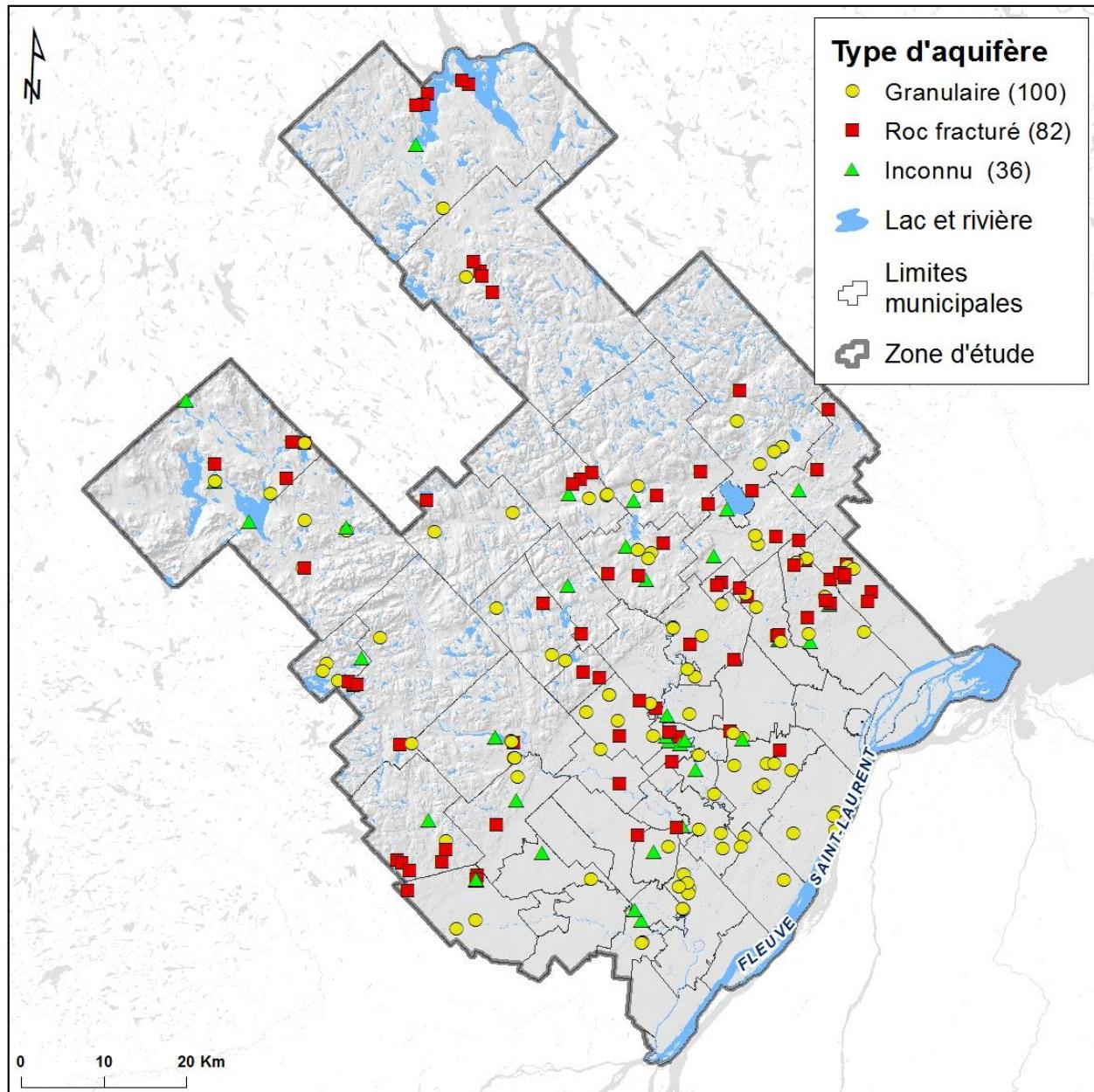


Figure 3-9 : Localisation des 218 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques montrant le type d'aquifère, i.e. roc fracturé ou dépôts granulaires.

⁵ Lorsque le milieu aquifère dans lequel le puits capte l'eau souterraine n'est pas connu du propriétaire et ne peut être identifié.

Les échantillons hydrogéochimiques ont été majoritairement prélevés dans des puits de captage privés, utilisés ou non pour l'alimentation en eau potable individuelle. Comme le montre la figure 3-10, sur l'ensemble du territoire, l'équipe a échantilloné :

- neuf (9) sources;
- cent vingt-trois (123) puits tubulaires;
- vingt-quatre (24) pointes;
- soixante (60) puits de surface;
- une (1) gélinite;
- une (1) installation de nature inconnue.

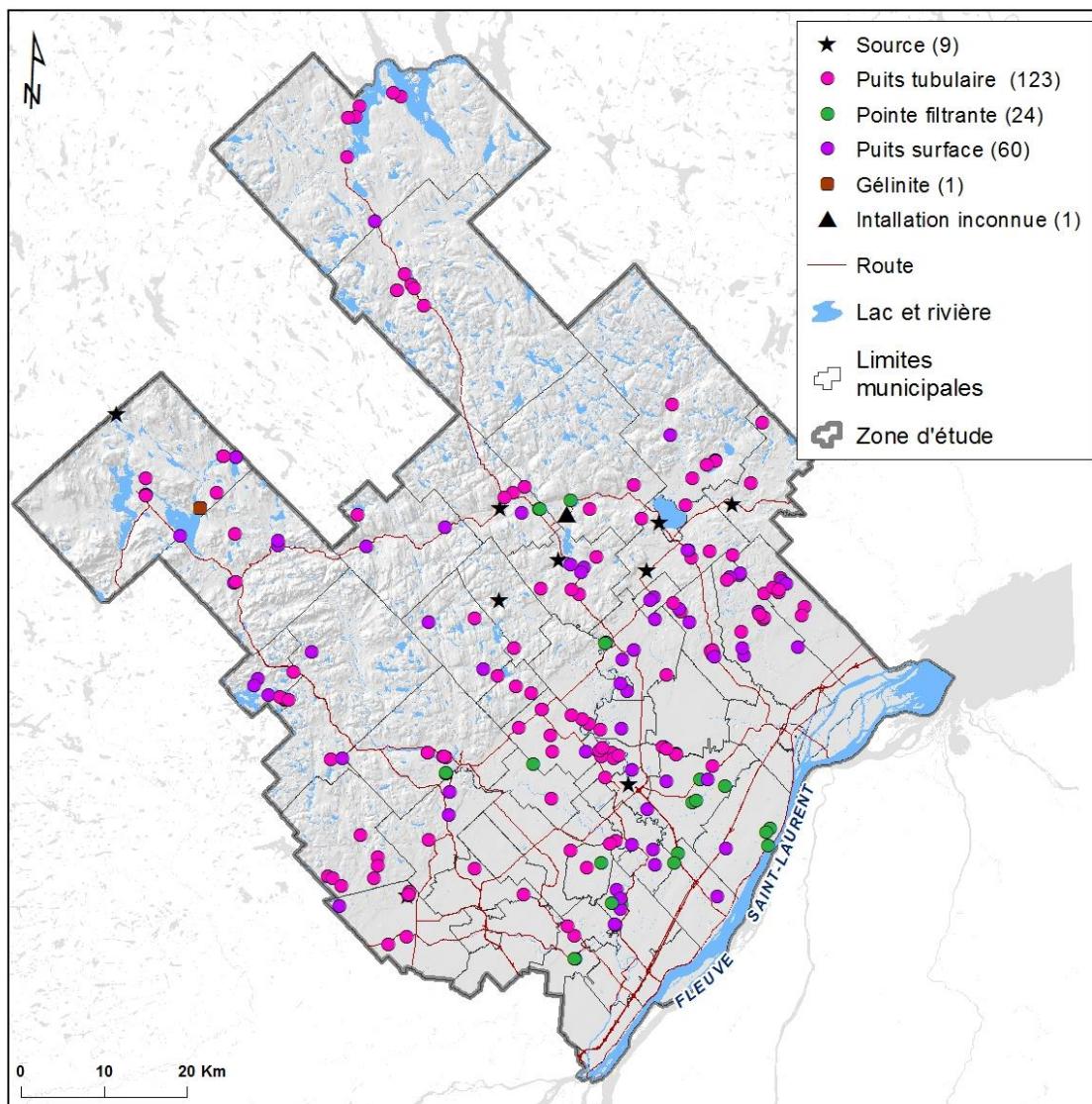


Figure 3-10 : Localisation des 218 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques et indication du type de captage.

3.4 Essais de pompage

Cette section présente d'abord les essais de pompage de courte durée et les levés piézométriques qui ont été réalisés dans les puits privés lors de la campagne hydrogéochimique (section 3.4.1) et ensuite l'essai de pompage longue durée réalisé dans l'un des puits forés dans le cadre du PACES (section 3.4.2)

3.4.1 Essais de pompage courte durée et levés piézométriques

Les essais de pompage de courte durée et les levés piézométriques sur le territoire de Lanaudière ont été réalisés pendant la campagne hydrogéochimique (section 3.3), soit du début juin à la fin du mois d'août 2019.

Objectifs

Les essais de pompage d'eau souterraine effectués dans les puits existants permettent d'acquérir de nouvelles données de piézométrie et, dans plusieurs cas, des valeurs de propriétés hydrauliques peuvent être calculées pour ainsi caractériser le milieu aquifère capté.

Description de la méthode

Les essais de pompage sont effectués dans des puits existants, la plupart du temps des puits privés, à l'intérieur desquels une pompe submersible est déjà en place. La mesure du niveau naturel (niveau statique) du toit de la nappe est notée avant de démarrer le pompage. Puis, lorsque le pompage commence, des mesures de rabattement de la nappe sont notées suivant un pas de temps régulier. La durée du pompage est généralement d'environ 1 heure. La majorité des essais ont été réalisés au moment de la purge du puits qui précède l'échantillonnage hydrogéochimique.



Figure 3-11 : Mesure du niveau d'eau dans le puits pendant l'essai de pompage.

Localisation

En 2019, cinquante-sept (57) essais de pompage de courte durée ont été réalisés dans les milieux aquifères granulaires et de roc fracturé aux endroits indiqués sur la figure 3-14. Un seul essai de pompage de courte durée a été réalisé en 2020. Ces essais de pompage n'ont pas été interprétés dans le cadre du projet, mais les données sont accessibles via la BD géospatiale (section 4.3), et elles pourraient faire l'objet ultérieurement de projets spécifiques dont le but serait de caractériser certaines propriétés hydrauliques telles que la transmissivité et la conductivité hydraulique du milieu aquifère capté.

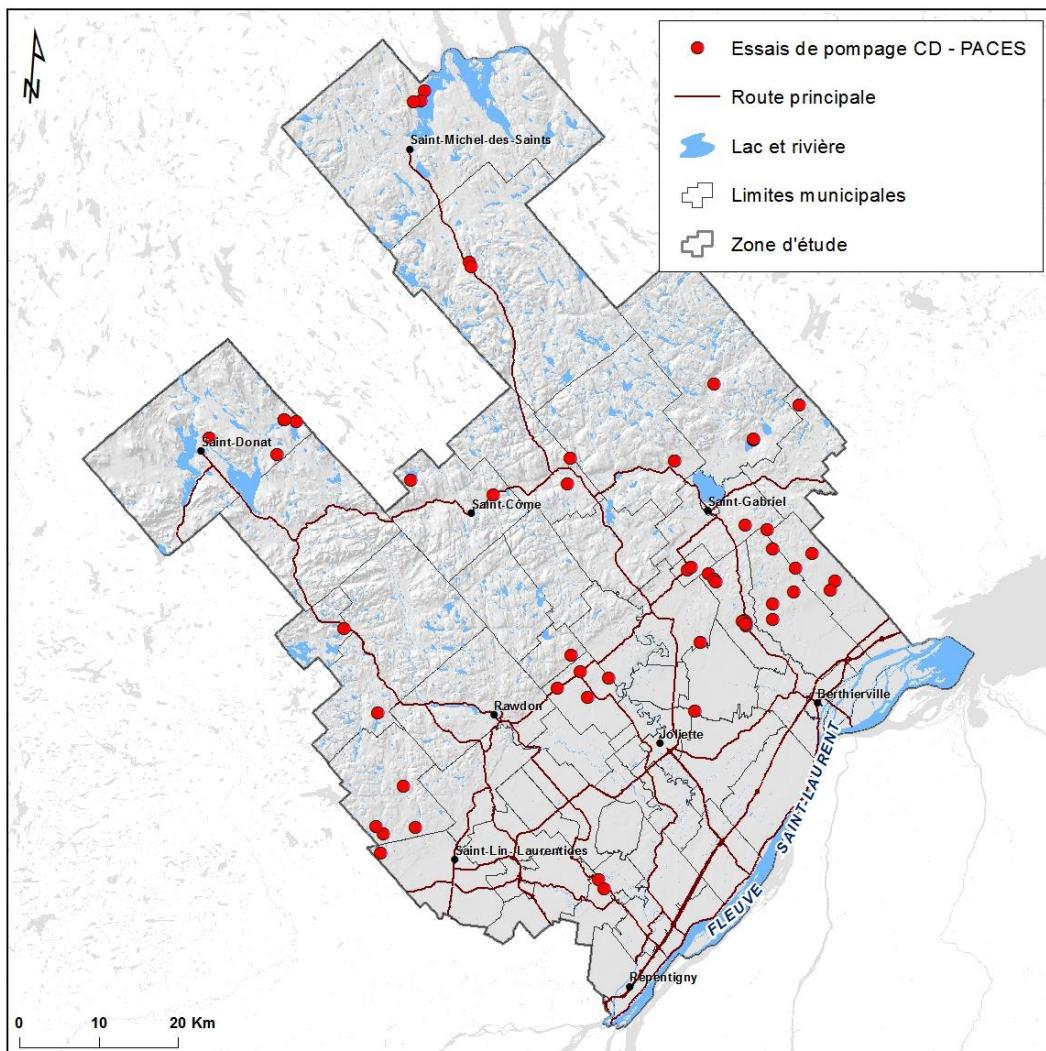


Figure 3-12 : Localisation des essais de pompage effectués lors de la campagne de terrain réalisée au cours de l'été 2019.

3.4.2 Essai de pompage longue durée et suivi géochimique (échantillonnage régulier et mesures in situ en continu) (roc fracturé)

Un essai de pompage longue durée a été réalisé du 30 septembre au 3 octobre 2019, au puits LA-F04 à Saint-Cuthbert réalisé par l'équipe du CERM (section 3.2) sur le territoire municipalisé de Lanaudière. Cet essai de pompage a été réalisé avec le soutien du bureau d'étude TechnoRem basé à Laval. L'installation de la pompe

submersible, de la génératrice, de la mesure du niveau statique et de la réalisation de l'essai de pompage par paliers a été assurée par le technicien de la compagnie TechnoRem.

Objectifs

Les objectifs associés à cet essai de pompage sont i) de connaître le potentiel aquifère du milieu fracturé, ii) de connaître la qualité de l'eau souterraine, et iii) d'étudier le comportement hydrodynamique du socle rocheux fracturé autour du puits LA-F04 afin de mieux comprendre les écoulements dans le milieu précambrien.

Méthodologie

Mesure du niveau statique

Étant donné que le niveau piézométrique est artésien jaillissant, il est nécessaire d'allonger le tubage afin de mesurer le niveau statique de l'aquifère. Pour ce faire, un long tubage en PVC muni d'un joint en caoutchouc à la base a été placé au-dessus de la margelle du puits (figure 3-13).

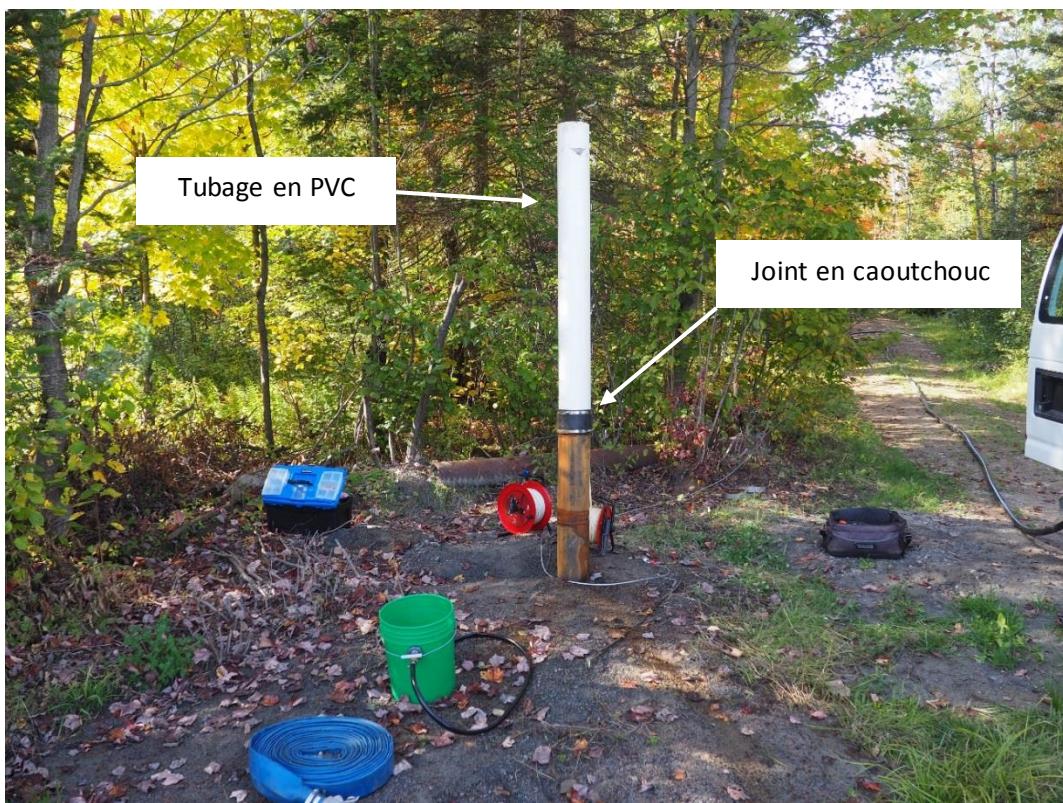


Figure 3-13 : Photo du système de mesure du niveau statique d'un puits artésien jaillissant. Exemple de LA-F04 à Saint-Cuthbert, Lanaudière.

Configuration de l'essai de pompage

À la fin de la réalisation du forage (le 20 août 2019), un développement du puits LA-F04 de 30 minutes a permis d'estimer un débit de **16 L/min**. Ce développement a été réalisé par la compagnie GeoPro Lapointe, sous la supervision de Sébastien Moore, représentant en hydrogéologie du MELCC . Cette estimation du débit permet de sélectionner le type de pompe submersible qui doit être utilisé pour un essai de pompage longue durée, en fonction de ses caractéristiques.

Une pompe Grundfos (de $\frac{3}{4}$ de force) a été installée à 30 m de profondeur par le technicien de la compagnie TechnoRem (figure 3-14). Étant donné que le débit que le puits est capable de fournir (estimé à 16 L/min) est inférieur à la gamme de débit de la pompe, qui est comprise entre 15 et 30 GUS/min, un système de réinjection de l'eau pompée a été mis en place au niveau de la margelle du puits (figure 3-15).

L'eau a été évacuée à une dizaine de mètres du puits plus au sud, dans une zone humide située de l'autre côté du chemin de la route Lauzon (figure 3-15).

L'électricité nécessaire au fonctionnement la pompe submersible a été fournie par une génératrice de 7500 KW King Canada avec un réservoir d'une capacité de 25 L et une autonomie approximative de 7-8h (figure 3-15).

Le suivi de l'essai de pompage a été réalisé par un suivi manuel de l'évolution temporelle du rabattement (figure 3-16) et par une prise de mesures automatiques avec 2 sondes piézométriques calibrées afin d'effectuer une mesure à un pas de temps de 30 s. Les pas de temps des mesures manuelles ont été définis avec une incrémentation temporelle logarithmique. La pression atmosphérique a été suivie par une sonde barométrique calibrée avec un pas de temps de 30 secondes. Le débit a été vérifié régulièrement durant les essais de pompage et des mesures de Q ont été réalisées dès qu'une modification du taux de rabattement a été détectée, c'est-à-dire, une accélération, un ralentissement ou un retour à une vitesse constante de la baisse du niveau d'eau dans le puits. Au terme du pompage, le suivi de la remontée du niveau piézométrique (rabattement résiduel) a été réalisé par des relevés manuels et automatiques (avec les sondes piézométriques). Le suivi de la remontée a duré le temps nécessaire pour que la nappe atteigne son niveau statique initial.

Le débit de pompage de l'essai de pompage longue durée a été déterminé grâce aux paliers multiples.



Figure 3-14 : Photo de la pompe submersible Grundfos de $\frac{3}{4}$ de force de la compagnie TechnoRem qui a été utilisée pour le pompage du 30/09/2019 dans LA-F04 à Saint-Cuthbert, Lanaudière. Les plages idéales de la pompe sont entre 15 et 30 GUS/min.

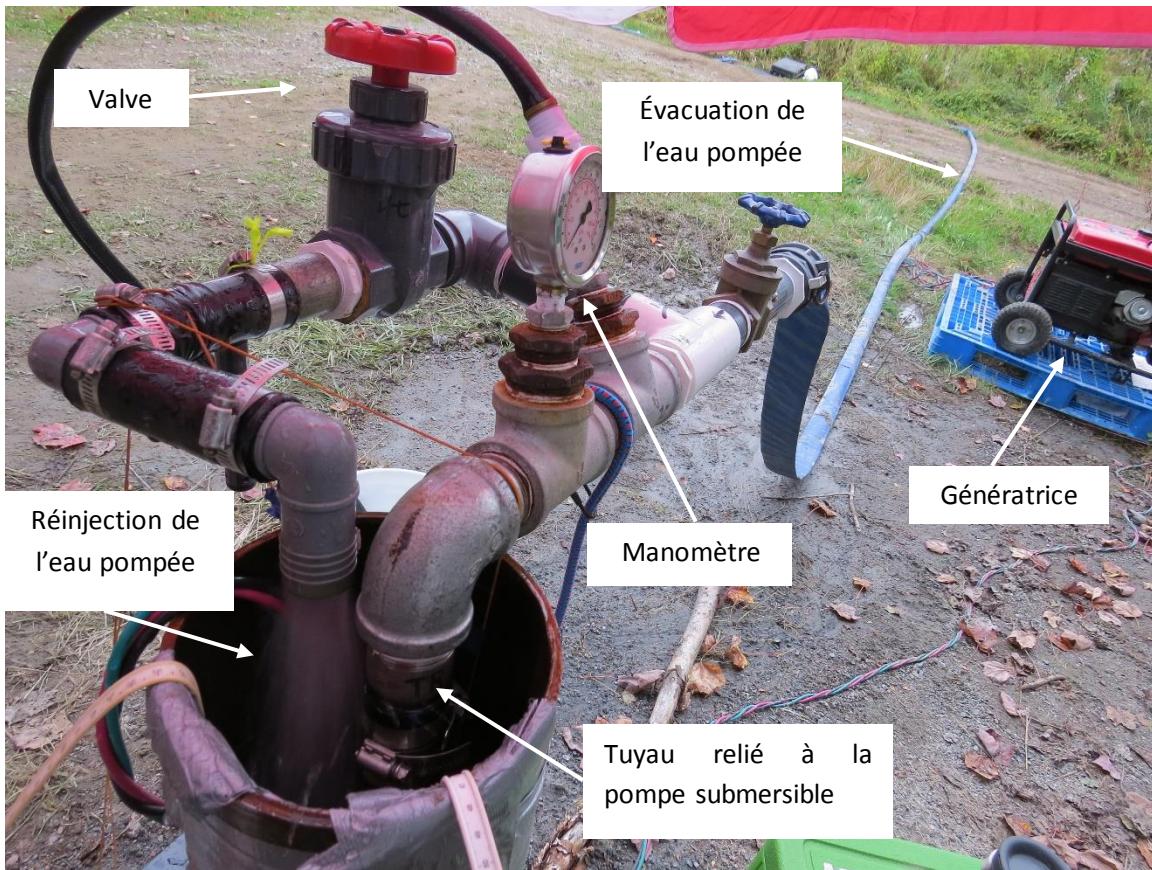


Figure 3-15 : Photo de l'installation du système de pompage, de réinjection et d'évacuation de l'eau pompée de la compagnie TechnoRem qui ont été utilisés pour l'essai de pompage du 30/09/2019 dans LA-F04 à Saint-Cuthbert, Lanaudière.



Figure 3-16 : Photo du suivi temporel du rabattement lors de l'essai de pompage du 30/09/2019 dans le puits LA-F04 (Saint-Cuthbert, Lanaudière).

Les données brutes de l'essai de pompage longue durée et le calcul réalisé pour obtenir des propriétés hydrauliques sont disponibles à l'annexe numérique (AN 7).

Échantillonnage géochimique

Durant l'essai de pompage, un échantillonnage géochimique a été réalisé chaque heure durant les 8 premières heures puis à chaque 8 heures jusqu'à la fin de l'essai de pompage (figure 3-17a). Au total, **quatorze (14) échantillons** ont été prélevés pendant le pompage.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau pompée ont été suivis avec un pas de temps de 30 secondes pendant l'essai de pompage avec la sonde multiparamètres de l'UQAC (figure 3-17b). La sonde est installée au bout du tuyau de l'évacuation de l'eau de pompage dans une chaudière percée (chaudière verte sur la figure 3-17c) pour que la sonde baigne dans un volume minimum d'eau afin de minimiser les effets de dilution pendant le pompage. Les paramètres suivis sont la température [°C], le pH, la conductivité électrique [$\mu\text{S}/\text{cm}$], le potentiel d'oxydoréduction (*Oxidation-Reduction Potential (ORP)*, [mV]), les matières totales dissoutes (*Total Dissolved Solids (TDS)*, [ppm]), la demande en oxygène (D.O., [%]) et la turbidité (Turb.FNU).

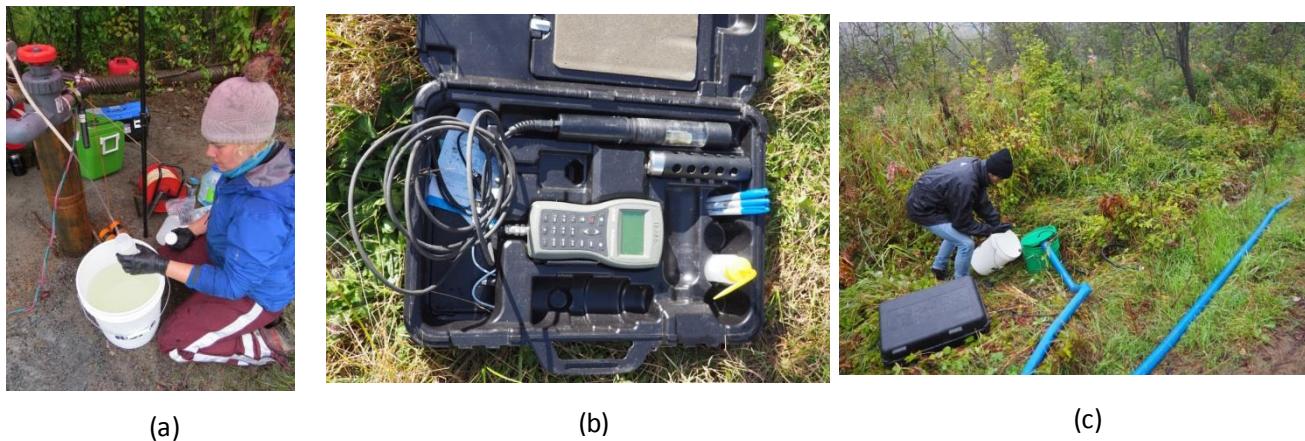


Figure 3-17 : Photos prises durant l'essai de pompage du 30/09/2019 dans le puits LA-F04 (Saint-Cuthbert, Lanaudière).
(a) Échantillonnage géochimique de l'eau pompée; (b) Sonde multiparamètres utilisée pour le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau pompée; (c) Système de mesures du débit d'eau pompée et système de mesure en continu des paramètres physico-chimiques de l'eau pompée.

3.5 Données acquises pour les projets de recherche

Plusieurs données ont été acquises sur le territoire (figure 3-18) pour répondre aux objectifs des projets de recherche de maîtrise et doctorat (chapitre #0). Les données sur les eaux souterraines pertinentes au PACES et intégrées dans la BD géospatiale (section 4.3) sont les suivantes :

- la description de **trente (30) affleurements** avec levés structuraux (section 9.1);
- **quatre (4)** levés de diagraphie en forage (section 9.1);
- les résultats d'essais d'injection en forage entre obturateurs réalisés dans **deux (2)** tests par obturateurs (section 9.1);
- les données de **trois (3)** essais de traçage (section 9.1);
- les données piézométriques obtenues en continue dans **dix-huit (18) puits** instrumentés avec une sonde de levés piézométriques (*datalogger*) ou barométrique (*barrologger*) (section 9.1);
- les résultats d'analyse chimique de **trente (30) échantillons** prélevés dans **deux (2) puits** dans le cadre de l'analyse de la représentativité du protocole d'échantillonnage (section 9.3);

- les résultats d'analyse isotopique de **onze (11) échantillons** de puits prélevés pour la campagne isotopique (section 9.4).

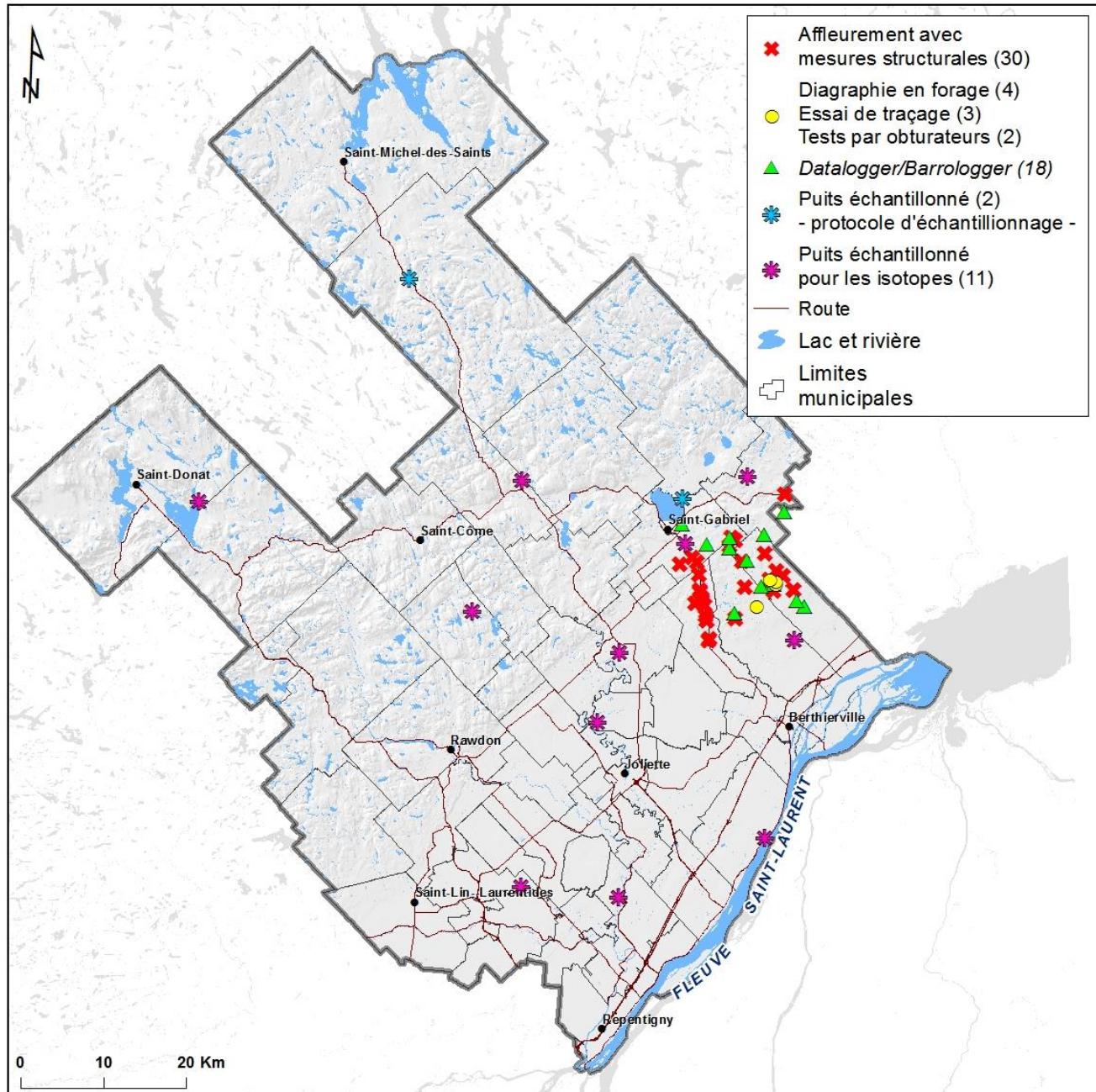


Figure 3-18 : Localisation des levés terrain réalisés dans le cadre du PACES pour répondre aux objectifs des projets de recherche (chapitre 9).

4 UNIFORMISATION ET CENTRALISATION DES DONNÉES

Une fois toutes les données disponibles, celles existantes (phase 1 d'un PACES, chapitre 2) et celles nouvellement acquises (phase 2 d'un PACES, chapitre 3) et rassemblées sur un même serveur de données, l'étape suivante consiste à uniformiser les données pour ce qui est de leur format et de leur structure, pour ainsi pouvoir les traiter adéquatement dans un système d'information géographique (SIG). La dernière étape ne concerne que les données liées au milieu géologique et hydrogéologique et consiste à centraliser ces données dans une base de données géospatiales.

Ces trois étapes sont illustrées sur la figure 4-1 en (a), (b) et (c) respectivement. La collecte des données déjà existantes (chapitre 2) et l'acquisition de nouvelles données par l'équipe du projet PACES (chapitre 3) correspondent à la première étape (figure 4-1a). Les sections 4.1 et 4.2 décrivent le processus de saisi, d'archivage et d'uniformisation des données existantes et des nouvelles données acquises sur le terrain respectivement (figure 4-1b). La section 4.3 explique le processus de centralisation des données dans une base de données géospatiales (figure 4-1c). Enfin, l'étape du transfert de ces données dans la base de données du MELCC est brièvement présentée à la section 4.4.

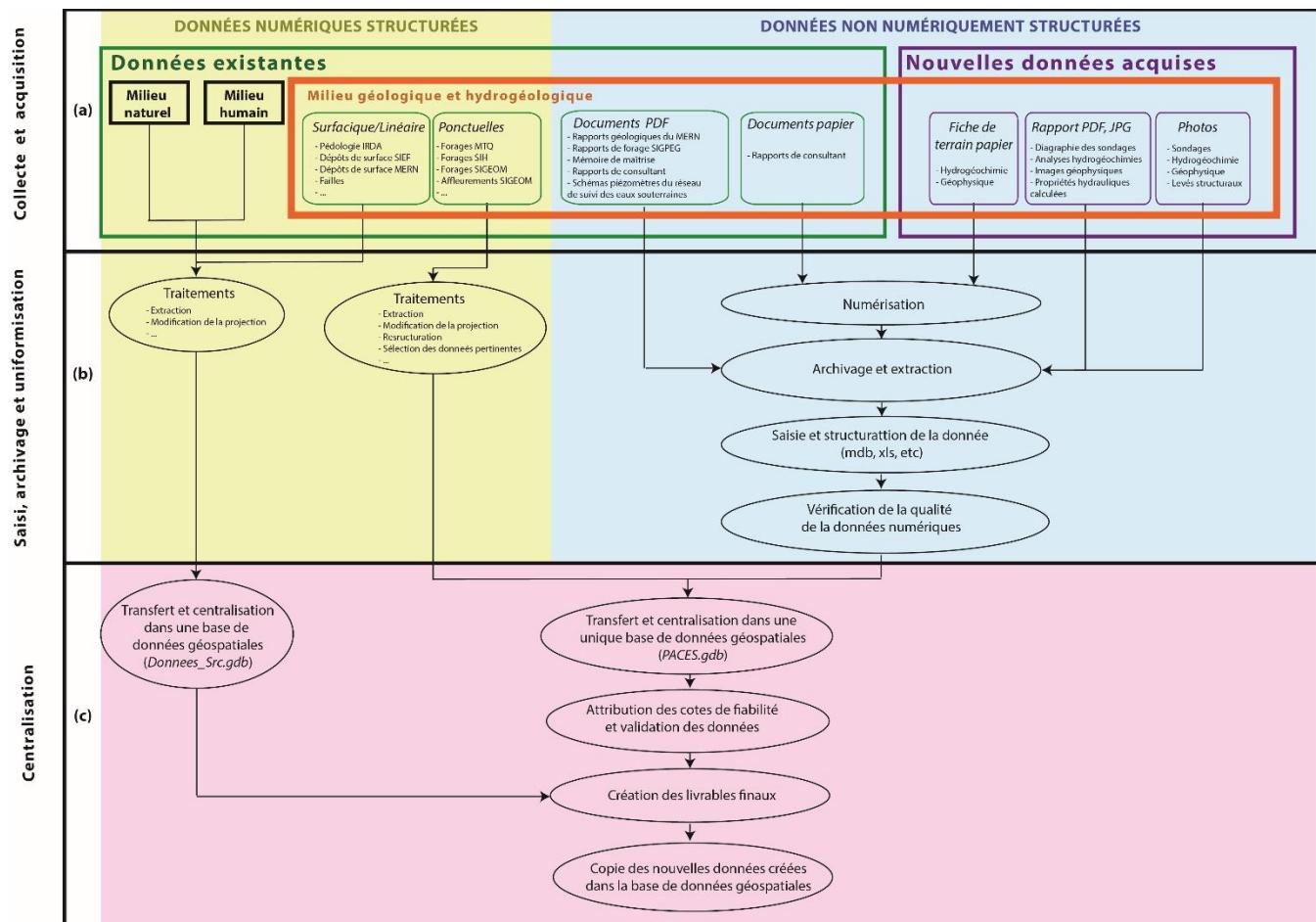


Figure 4-1 : Processus d'acquisition et de centralisation des données.

4.1 Uniformisation des données existantes

Comme présenté au chapitre 2, les données existantes sont disponibles parfois sous forme de données numériques structurées alors que d'autres sont disponibles seulement à l'intérieur de rapports papier ou en format PDF. Les opérations réalisées pour uniformiser ces deux types de format de données sont différentes et sont ici présentées.

4.1.1 Traitements sur les données numériques structurées

Les données numériques structurées caractérisant le **milieu humain** (tableau 2-1) et le **milieu naturel** (tableau 2-2), ainsi que les **données surfaciques et linéaires** caractérisant les **milieux géologique et hydrogéologique** (tableau 2-3) sont fournies dans différents formats (ex. : *Shapefile*, *file geodatabase*, *TIFF*, *raster dataset*, etc.) et elles possèdent une diversité de caractéristiques (couverture, projection, etc.). Ces données doivent donc subir certains traitements avant de pouvoir être utilisées pour la création des livrables du PACES. Les traitements réalisés sont mineurs et consistent souvent à modifier le format de la donnée, à extraire les données situées dans la zone d'étude et à modifier la projection cartographique.

Les données numériques **géologiques et hydrogéologiques ponctuelles** (forages, puits, piézomètres, etc.) provenant de différents ministères (MTQ, MERN, MELCC) sont essentielles pour réaliser un projet PACES, mais elles nécessitent des traitements beaucoup plus importants. En effet, ces données sont fournies dans des fichiers de données numériques différents (*Access*, *Excel*, *Shapefile*, etc.) ayant une structure variable. Selon les ministères, les données peuvent être plus ou moins riches en éléments descriptifs et ces derniers diffèrent souvent en terminologie ou en unité de mesure employée. Généralement, les traitements réalisés sur les données géologiques et hydrogéologiques ponctuelles sont les suivants :

- extraction des données situées dans la zone d'étude;
- modification du système de coordonnées pour le NAD 83 Québec Lambert;
- sélection de l'information descriptive jugée pertinente;
- codification des unités lithologiques/stratigraphiques;
- conversion des unités de mesure dans le système métrique (par exemple, le facteur 1/3.2808399 est utilisé pour convertir des pieds en mètres).

Ces traitements sont en somme plutôt mineurs, mais certaines sources nécessitent des traitements beaucoup plus importants. Par exemple, les données du MTQ ont requis une restructuration complète puisque l'information stratigraphique est fournie dans plusieurs champs différents.

Au total, **30 003 stations d'information géologiques et hydrogéologiques ponctuelles** ont été récupérées et traitées ainsi que **10 495 affleurements**. Le tableau 4-1 présente les différentes sources de données avec le nombre de stations récupérées.

Tableau 4-1 : Données numériques géologiques et hydrogéologiques ponctuelles récupérées et traitées.

<i>Propriétaire</i>	<i>Base de données / Organisme</i>	<i>Nombre de stations récupérées et traitées</i>	<i>Pourcentage</i>
MERN	SIGEOM - Forage	559	2%
MERN	SIGEOM – Projet Quaternaire	587	2%
MTQ	-	1 182	4%
MELCC	SIH	27 218	91%
MELCC	PACES précédents et adjacents	457	2%
TOTAL		30 003	

Le tableau 4-1 montre que 91% des stations déjà structurées numériquement recueillies proviennent du SIH et que les autres stations proviennent d'autres sources qui représentent chacune entre 2 et 4 % des données.

4.1.2 Saisi et archivage des données non numériquement structurées

Les données non numériquement structurées proviennent principalement des études hydrogéologiques et géologiques obtenues auprès des municipalités, dont les rapports se présentent habituellement en format papier. Ces documents de grande valeur scientifique impliquent des manipulations et des transformations importantes pour rendre accessible et exploitable en toute intégrité l'information qu'ils contiennent. Le processus de saisie, de numérisation et d'archivage de ces données a fait l'objet d'un protocole rédigé pour le Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES) dans le cadre des projets PACES. Ce protocole est disponible à l'annexe numérique **AN 10**. La suite de cette section présente un résumé de ce processus (encadré) ainsi que les particularités et les statistiques reliées au projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière.

Étape 1 - Numérisation et archivage

Numériser à l'aide d'un balayeur optique tous les documents papier (ex.: rapports techniques) récupérés au cours de la collecte des données. Il faut aussi **archiver** les documents numérisés et les documents existants déjà sous forme numérique en format PDF. Un lien hypertexte dans une base de données bibliographique, en l'occurrence *EndNote* permet de référer aux documents archivés. Le nom du rapport archivé est un identifiant unique qui est aussi utilisé pour référer à la donnée originale dans la base de données de saisie (*Étape 4 - Saisie et structuration de la donnée*) et dans la base de données géospatiales finale (section 4.3)

Parmi tous les rapports récupérés dans le cadre de cette étude dans les municipalités de Lanaudière, certains ne contenaient pas d'information géologique ou hydrogéologique. Seuls les rapports contenant de l'information pertinente ont été archivés et sont indiqués dans le tableau 2-5 pour un total de **348** rapports.

Pour les rapports provenant du SIGPEG (tableau 2-4), l'information stratigraphique présente dans ces rapports n'a pas été extraite et structurée numériquement puisque plusieurs de ces puits se retrouvaient déjà dans les bases de données PACES des projets adjacents. Ces rapports n'ont donc pas été archivés. Les **4** schémas des piézomètres (tableau 2-4) provenant du RSESQ ont été archivés. Les **11** rapports géologiques récupérés sur le SIGEOM sont discutés un peu plus bas, soit au point #3 (*Étape 3 - Extraction et archivage*) de la présente section.

Étape 2 - Inventaire

Dresser l'inventaire des données disponibles dans un tableau *Excel* pour lequel chaque ligne correspond à un rapport et chaque colonne à un thème ou un type d'information potentiellement présent dans le rapport (ex. description stratigraphique ou analyses granulométriques). L'inventaire permet donc de connaître, pour chaque rapport, le nombre d'éléments présents pour chaque type d'information.

Voici les informations pertinentes qui pouvaient être disponibles dans les **348** rapports récupérés :

- **Descriptions stratigraphiques** : nature et ordre d'empilement des dépôts de surface. Cette information peut être le long d'une ligne verticale (forage, coupe stratigraphique), le long d'une ligne horizontale (levé géophysique) ou en diagramme 3D (modèles conceptuels).
- **Analyses granulométriques** : caractéristiques physiques quantitatives de la taille des grains des matériaux granulaires.
- **Levés géophysiques au sol** : information indirecte sur la stratigraphie et/ou l'épaisseur des dépôts de surface.
- **Données sur la fracturation du massif rocheux** : mesures ou évaluation visuelle de paramètres du roc, notamment sur les fractures, soit leur orientation, leur fréquence et leur ouverture.
- **Levés piézométriques** : niveau des nappes d'eau souterraine.
- **Propriétés hydrauliques des milieux aquifères** : caractéristiques physiques quantitatives des milieux géologiques obtenues par essais hydrauliques dans un forage (essai de pompage et essai de perméabilité). Les propriétés hydrauliques saisies correspondent le plus souvent à la transmissivité, le coefficient d'emmagasinement et la conductivité hydraulique.
- **Analyses hydrogéochimiques** : caractéristiques chimiques quantitatives de l'eau souterraine obtenues par analyse en laboratoire de l'eau souterraine extraite d'un forage. Il arrive que plusieurs analyses soient disponibles pour un même point de captage, lorsque plusieurs échantillons ont été prélevés au moment d'un essai de pompage (24h, 48h et/ou 72h).
- **Aire d'alimentation d'un puits** : surface de terrain sur laquelle toute l'eau qui s'infiltre aboutit tôt ou tard au puits.

Étape 3 - Extraction et archivage

Extraire les pages des rapports contenant de l'information pertinente et les **archiver** par thèmes, par exemple « diagraphie de forage » ou « essais de pompage ». Lorsque la localisation de l'information hydrogéologique ou géologique n'est possible qu'à partir d'une carte (ex. : la trace d'une coupe stratigraphique ou un puits dont les coordonnées x et y ne sont pas fournies dans le rapport), il faut extraire la carte du rapport et l'archiver.

L'étape d'extraction et d'archivage facilite l'accès à la donnée source et permet de la valider plus rapidement. Le nom du fichier PDF contenant l'extraction est unique et est utilisé comme référence dans la base de données de saisie (*Étape 4 - Saisie et structuration de la donnée*) et/ou dans la base de données géospatiales finale (section 4.3).

Au total, **12** types d'information ont été extraits des 348 rapports archivés. Les cartes géologiques contenant de l'information pertinente pour le PACES (par exemple la localisation de la moraine de Saint-Narcisse) ont aussi

étaient extraites des rapports de cartographie géologique du MERN (tableau 4-2). La totalité des extractions a ensuite été archivée par thèmes. Le tableau 4-2 indique ces types d'information avec le nombre d'extractions pour chaque type.

Tableau 4-2 : Nombre d'éléments extraits des rapports par type de données.

Type de données extraites	Nombre d'extraction
Diagraphies de forage	1 213
Essais de pompage	153
Coupes stratigraphiques	63
Levés de sismique réfraction	22
Cartes piézométriques	10
Analyses granulométriques	230
Rapports d'analyses hydrogéochimiques	276
Essais de perméabilité	4
Carte localisant des puits ou des forages	212
Carte localisant des coupes stratigraphiques	19
Carte localisant des levés sismiques réfractions	7
Carte localisant des aires d'alimentation	40

Étape 4 - Saisie et structuration de la donnée

Saisir l'information hydrogéologique et géologique ponctuelle (forage, puits, piézomètres, etc.) présente dans les documents à l'intérieur d'une base de données de saisie en format *Microsoft Access (.mdb)*. Les informations sont entrées dans la base de données grâce à des formulaires créés selon plusieurs thématiques. La base de données de saisie est une base de données intermédiaire qui, comme son nom l'indique, facilite la saisie de l'information.

Lorsque la localisation de l'information hydrogéologique ou géologique ponctuelle n'est possible qu'à partir d'une carte fournie dans le rapport ou que l'information est linéaire (ex. : coupe stratigraphique), il faut **structurer** l'information en données numériques géospatiales. Pour ce faire, il faut géoréférencer la carte à l'aide de plusieurs points de contrôle et saisir (*vectoriser*) manuellement la géométrie de l'information dans un format de données géospatiales (ex. : *shapefile*). Par exemple, un puits ou un affleurement est *vectorisé* avec une géométrie ponctuelle alors qu'une coupe stratigraphique ou un levé de sismique-réfraction est *vectorisé* avec une géométrie linéaire.

La base de données utilisée pour saisir l'information ponctuelle a été développée par l'équipe du CERM et est fournie à l'annexe numérique AN 8. Une quinzaine de formulaires permettent d'entrer la totalité de l'information géospatiale, géologique et hydrogéologique. Par exemple, le formulaire #4 (figure 4-2) permet de saisir l'information stratigraphique par couche stratigraphique à partir des codes abrégés de la Commission géologique du Canada (CGC) dans le champ nommé *Litho Facies Primaires*.

Figure 4-2 : Formulaire #4 qui permet la saisie des couches stratigraphiques dans la base de données de saisie.

Les codes de la CGC sont présentés au tableau 4-3. Une lettre identifie le matériel considéré (S- sable, G- gravier, etc.) et un chiffre donne une indication de sa granulométrie (1- fin, 2- moyen, 3- grossier). Dans ce code, la lettre D est attribuée au matériel très mal trié dans lequel toutes les granulométries sont retrouvées.

Tableau 4-3 : Code abrégé de la Commission géologique du Canada pour la description de dépôts meubles.

Matériaux	Équivalent Code CGC
Particules fines	F
Argiles	F1
Silts	F2
Sable	S
Sable fin	S1
Sable moyen	S2
Sable grossier	S3
Gravier	G
Gravier fin	G1
Gravier moyen	G2
Gravier grossier	G3
Diamicton	D
Diamicton fin	D1
Diamicton moyen	D2
Diamicton grossier	D3
Blocs	B
Organique	O
Remblai	X
Roc	R
Inconnu	In
Incohérent	Ic

Sur le territoire, **1 748** stations ponctuelles d'information géologique et hydrogéologique (forages, puits ou piézomètres, etc.) ont été saisies dans cette base de données. Puisque 337 stations n'ont pu être localisées sur le territoire, seulement **1 413** stations ont finalement pu être utilisées pour le projet PACES.

Les cartes présentées dans les rapports et localisant de l'information hydrogéologique ou géologique (tableau 4-2) ont été extraites et géoréférencées, ce qui a permis d'augmenter le nombre de stations d'information. Sur les 1 413 stations répertoriées dans le tableau 4-4, près de la moitié, soit 773 stations, ont été localisées de cette façon. Ces dernières ont aussi permis de *vectoriser* **17** lignes de sismique réfraction et **53** coupes stratigraphiques. Les informations de **5** piézomètres du réseau de suivi des eaux souterraines du Québec (RSESQ) ont aussi été transférées dans la base de données centrale. Le nombre d'informations géologiques et hydrogéologiques saisies et archivées par source de données est présenté au tableau 4-4.

Tableau 4-4 : Données géologiques et hydrogéologiques ponctuelles initialement non numériques récupérées à partir de document papier ou PDF.

Type de document	Organisme	Nb stations ponctuelles	Nb coupes stratigraphiques	Nb levés sismiques
Rapport de consultant	Les municipalités	1 413 ¹	53	17
Schéma de piézomètres	Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec (RSESQ)	5 ²	-	
TOTAL			1 418	

¹Compte dix nids de piézomètre correspondant à 12 unités spatiales supplémentaires dans la classe d'entités Station.

²Un piézomètre du RSESQ ne possédait pas de schéma (Saint-Julienne)

Étape 5 - Contrôle de la qualité

Contrôler la qualité des données saisies dans la base de données afin qu'elles soient cohérentes avec le contenu des rapports et l'archivage.

Pour réaliser le contrôle de la qualité de la base de données de saisie du projet PACES, trois thèmes ont été retenus : la stratigraphie, l'information liée au captage d'eau souterraine et les propriétés hydrauliques. L'information saisie pour ces trois thèmes a été systématiquement vérifiée pour au moins une station (forage, puits ou piézomètres, etc.) par rapport. Si l'information saisie était cohérente avec celle retrouvée dans le rapport, on a considéré que les informations étaient valides pour toutes les stations documentées dans le même rapport. Avant d'effectuer le transfert dans la base de données centrale, un processus de validation afin d'identifier et corriger les valeurs aberrantes dans tous les champs a été réalisé.

4.2 Uniformisation des données acquises sur le terrain

Les nouvelles données géologiques ou hydrogéologiques ponctuelles acquises pour le projet PACES se retrouvent dans des fiches terrain ou des rapports PDF, ou encore sur des images ou des photographies. Le processus de saisie et d'archivage de ces nouvelles données est sensiblement le même que celui réalisé pour les données existantes non structurées numériquement et présenté à la section 4.1.2. Les documents sont donc numérisés, archivés, nommés avec un identifiant unique pour pouvoir y référer, saisis dans une base de données ou structurés dans un fichier de données numériques, et enfin la qualité de la donnée numérique est vérifiée. Au total, **328** nouvelles stations d'information **géologiques et hydrogéologiques ponctuelles** ont été créées. Le tableau 4-5 présente les différentes sources de données avec le nombre de stations récupérées.

Tableau 4-5 : Nouvelles stations géologiques et hydrogéologiques ponctuelles acquises sur le terrain

Type	Nombre de stations
Affleurement avec mesures structurales	30
Campagne hydrogéochimie	219
Stations stratigraphiques	57
Forage	4
Niveau d'eau en continu (datalogger)	18
Total	328

La suite de cette section présente en détail l'étape de la numérisation et l'archivage, ainsi que l'étape de saisie et de structuration de la donnée.

4.2.1 Numérisation et archivage

Cette section décrit les particularités de chacun des documents créés pendant ou à la suite des travaux de terrain. Le tableau 4-6 résume le nombre de documents archivés par type de documents.

Rapports PDF ou XLS

Les résultats des forages réalisés (section 3.2) ont été obtenus sur des rapports PDF. Au total, **4** rapports de sondage ont été archivés.

Les résultats des analyses hydrogéochimiques sur les échantillons recueillis pendant la campagne d'échantillonnage fournies par le laboratoire *Bureau Veritas* (anciennement *Maxxam*) ont aussi été reçus en format PDF. Au total, **262** certificats d'analyse (223 proviennent de la campagne hydrogéochimique, 9 pour l'évaluation du protocole d'échantillonnage et 13 pendant un essai de pompage longue durée) ont été archivés dans des documents PDF distincts (tableau 4-6). Les résultats d'analyse isotopique se retrouvent dans 6 fichiers Excel.

Photographie

Plusieurs photographies ont été prises sur le terrain et sont rattachées à un point localisé spatialement et inclus dans la BD géospatiale : **15** photographies lors des visites des municipalités, **449** lors de la visite de stations stratigraphiques (section 3.1), **762** pendant la campagne hydrogéochimie (section 3.3), **451** pour les levés structuraux (section 3.5), **38** lors de la réalisation des forages, **29** pendant l'essai de pompage longue durée (section 3.4.2), **3** pendant les essais de traçage (section 3.5) et **9** lors des travaux d'évaluation du protocole d'échantillonnage (section 3.5). Les **1 908** photographies prises pendant le projet de cartographie des dépôts quaternaires qui a eu lieu en parallèle ont aussi été archivées de la même façon.

Tableau 4-6 : Nouvelles données non numériques acquises sur le terrain.

Type de document / Type de campagne terrain	Nombre de fichiers
Analyse hydrogéochimique	
Campagne hydrogéochimique	223
Isotope (eau souterraine)	6
Représentativité protocole	29
Essai de pompage longue durée	41
Diagraphie de forage	4
Propriétés hydrauliques (Essai LD)	13
Essai de pompage CD	58
Essais de traçage	3
Tests par obturateurs	32
Photographie PACES	1 765
Photographie Quaternaire	1 908

4.2.2 Saisie et organisation numérique de la donnée

Afin de faciliter l'étape de saisie numérique des données acquises sur le terrain, des fiches de terrain ont été conçues sous forme de formulaires numériques en format Access de Microsoft. Elles permettent d'uniformiser la structure des données. La figure 4-3 présente un exemple de formulaire numérique de saisie, en l'occurrence celui pour la saisie de l'information hydrogéochimique.

The screenshot shows a Microsoft Access form titled "Station". The main sections of the form are:

- Identification du site:** Contains fields for Numéro du site (H001), Municipalité (Chic), CodeMRC (FJORD), Adresse (3746 Chemin St-Pierre), and various checkboxes for Schéma Site, Schéma Stratigraphique, Échantillons blancs, and Accord pour forer.
- Puits:** Contains two sub-sections: Identification Puits (Nom Puits: H001-1, Année Construction: 1979) and Localisation Puits (Altitude: 150, Estant: 340222, Nordant: 5356653, UTM: NAD83, MTM: Zone 19, Source Coord: GPS, Feuillet: 022D06).
- Caractéristiques physiques:** Contains fields for Prof. (m): 44.20, Diam. (cm): 15.24, Longueur Crénipe (m), Profondeur Crénipe (m), Type Tubage (A), Longueur Margelle (cm): -5.00, Type Pompe (3/4 de force submersible), Profondeur Pompe (m): 40.54, and Aérateur (checkbox).
- Conditions:** Contains fields for Condition Ouvrage (F, P, S), Type Aquifère, Type Nappe, Type Jairessante, Type Ouvrage (Pu), and Etat Propriétaire (checkbox).
- Utilisation Ressource:** Contains fields for Utilisation (Domestique), Analyse (checkbox), Copie (checkbox), Disponibilité Ressource, Nombre Utilisateur (1), Variation Qualité, and Traitement.
- Observations:** Contains a table for Date observation (2010-06-23, 2010-06-23), Observé par (MB, MB), Intérêt (H3, K1), Météo (N, N), Température de l'air (23, 23), and QaQc (checkbox). Below this is a section for Essais pompage (H3) and Propriétés (H3), with notes on Puits pompé = puits observé and Puits pompé != puits observé.
- Footer:** Contains navigation buttons like LV-Station, LV-Localisation, LV-Caract-1, LV-Caract-2, LV-Autres, LV-Unités, Conversion Unités, and a Rechercher button. It also shows current page (1 sur 264) and total pages (264).

**Figure 4-3 : Formulaire numérique de saisie Access ;
exemple de la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique.**

La base de données contenant les **219** fiches de terrain remplies pendant la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique (section 3.3) est fournie à l'annexe numérique AN 8.

Les données provenant des forages n'ont pas été saisies dans une telle base de données. Les données recueillies et créées au cours de ces deux campagnes ont simplement été structurées dans une liste de données *Excel* et/ou dans un *Shapefile*.

4.3 Intégration et centralisation dans une base de données géospatiales

En raison de son architecture optimisée pour la saisie de l'information, les données dans les bases de données de saisie présentées aux deux sections précédentes sont difficilement exploitables à partir d'un système d'information géographique. Pour faciliter l'exploitation de toutes les données hydrogéologiques et géologiques recueillies pendant la première et la deuxième phase du projet PACES, ces données doivent être transférées

dans une base centralisée de données géospatiales implantée dans une *file geodatabase* d'*ESRI*. Une fois que toutes les données hydrogéologiques et géologiques sont récupérées et/ou extraites des documents, et que les nouvelles données acquises sur le terrain ont été transférées et centralisées dans la *file geodatabase*, chaque station est validée et une cote de fiabilité leur est attribuée. Ce processus d'évaluation de la fiabilité et de validation des données ponctuelles fait l'objet de la section 4.3.1. Le modèle d'implantation de la base de données géospatiales est quant à lui décrit aux sections 4.3.2 alors que les références et les métadonnées associées sont présentées aux sections 4.3.3 et 4.3.4 respectivement.

4.3.1 Fiabilité et validation des données ponctuelles

Le protocole « fiabilité validation » des données ponctuelles a été rédigé par le GRIES et est disponible à l'annexe numérique **AN 10**, afin d'évaluer la fiabilité et la validité des données hydrogéologiques ponctuelles.

L'application de ce protocole permet de sélectionner les stations les plus pertinentes pour la création des livrables requis dans le cadre du projet PACES. Ce protocole est appliqué une fois que les données sont entrées dans la base de données géospatiales. Ainsi, les données sont soumises à différents traitements effectués à l'aide de codes informatiques VBA (*Visual Basic Applications*) ou de requêtes SQL (*Structured Query Language*). Ces codes permettent l'attribution de nouveaux critères qui seront intégrés sous forme de table à la base de données géospatiales. En résumé, ces codes correspondent à quatre types de traitements spécifiques :

1. Codifier le type d'information technique et/ ou scientifique de chaque station (cote de fiabilité);
2. Valider les informations techniques et/ou scientifiques de chaque station (critère de validation);
3. Identifier les doublons de station dans la base de données (critère d'identification des doublons);
4. Effectuer la sélection finale des stations qui entreront dans l'élaboration d'un livrable donné (critère de sélection des forages).

4.3.2 Modèle d'implantation

L'architecture de la base de données à référence spatiale développée et implantée au cours des projets PACES-SLSJ et PACES-CHCN a été reprise pour entreposer les données du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière, puis légèrement modifiée afin de répondre aux nouveaux besoins du projet. L'architecture de cette base de données géospatiales diffère de celle retrouvée dans les bases de données de saisie décrite à la section 4.2.2 et s'apparente davantage à celle retrouvée dans un entrepôt de données. Globalement, l'architecture centralisée d'un entrepôt de données (table centrale avec plusieurs tables reliées) permet d'exploiter plus facilement les données à partir d'une interface-client comme un système d'information géographique.

Le modèle d'implantation de la base de données géospatiales est présenté à la figure 4-4. Ce modèle d'implantation permet de visualiser rapidement certaines caractéristiques des tables de la base de données géospatiales (temporalité, géométrie spatiale ou format de la donnée). Ces informations sont fournies à l'aide d'un pictogramme situé à côté du nom de la table.

Base de données géospatiales PACES-LAMEMCN

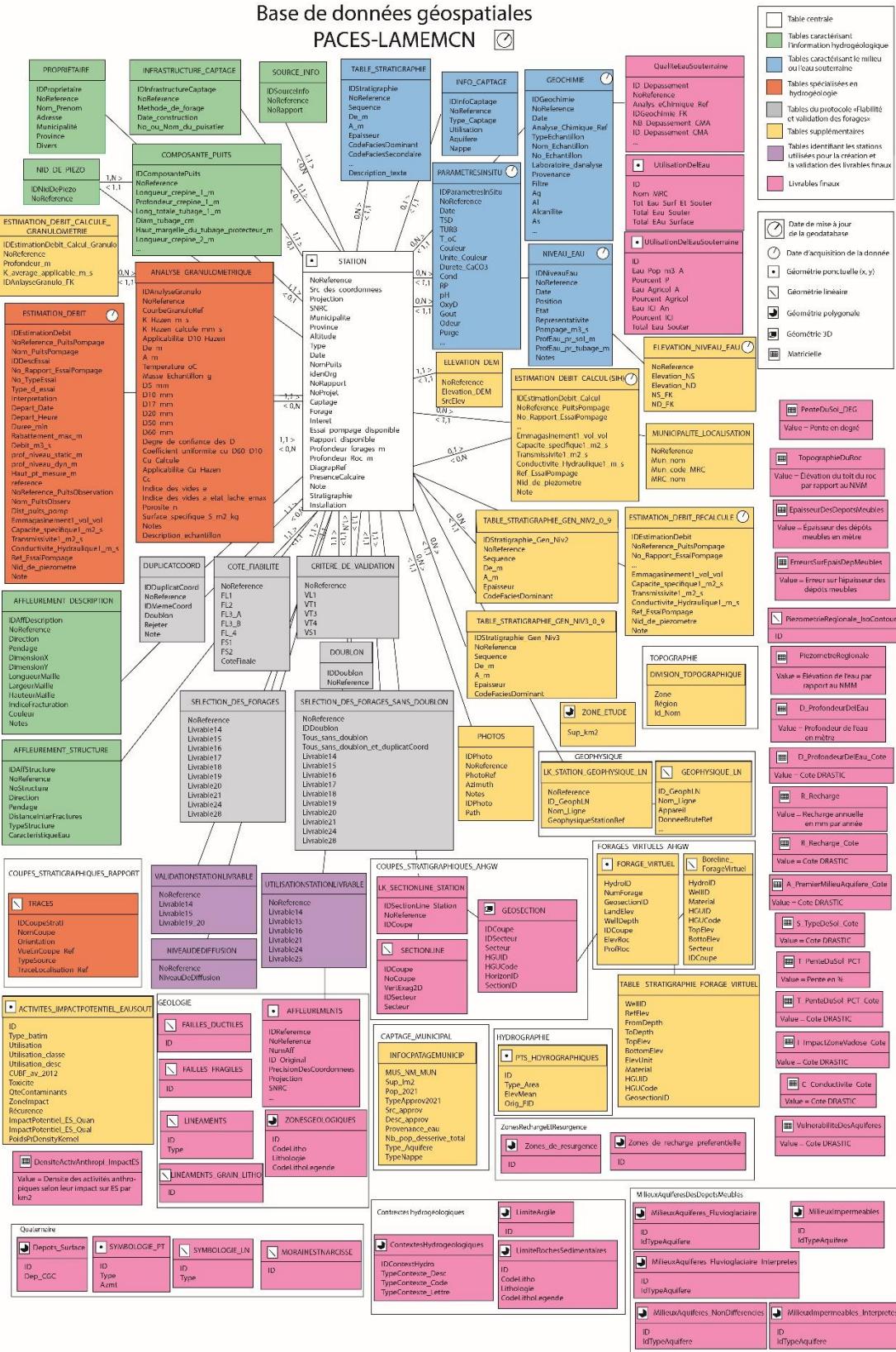


Figure 4-4: Modèle d'implantation de la base de données géospatiales.

La table (classe d'objets) centrale illustrée en **blanc** sur la figure 4-4 contient les données de localisation (coordonnées géographiques) d'une station d'observation (donnée ponctuelle) et quelques informations supplémentaires (référence à la donnée source, propriétaire, liste des informations attachées à la station, etc.). La classe d'objets *Station* contient **31 761** unités spatiales. Une unité spatiale peut être un puits, un piézomètre, une installation d'un nid de piézomètres, un forage, un trou, une section, un levé géophysique ou un affleurement. Le tableau 4-7 résume le nombre de stations par type de source (bases de données existantes, rapports, nouvelles données acquises par l'équipe du PACES).

Tableau 4-7 : Nombre de stations de la base de données géospatiales par type de source.

Source	Nombre de stations	Stations en %
Rapports de papier récupérés (Consultant, MELCC, MERN)	1 425 ¹	4
MTQ - MTMDT	1 182	4
SIGEOM - MERN	559	2
Station QUATERNaire - MRN	587	2
SIH - MELCC	27 218	86
RSEQ - MELCC	5	<0.1
PACES précédents et adjacents - MELCC	457	1
SIGPEG	83	
BD privés et municipales	52	
PACES-UQTR	35	
Rapports de consultants	223	
Rapports du MELCC	10	
MTQ	54	
PACES-LAMEMCN – section Lanaudière (UQAC)	328	1
Total	31 761	100%

¹Douze (12) unités spatiales de la classe d'objets **Station** correspondent à des installations supplémentaires retrouvées dans des nids de piézomètres.

Plusieurs autres tables sont liées à la classe d'objets centrale. Elles contiennent des informations complémentaires qui peuvent être groupées sous différents thèmes représentés par une couleur distincte sur la figure 4-4. Elles contiennent de l'information sur les infrastructures de la station d'observation (longueur de crête, présence d'une pompe, longueur de tubage, etc.), sur le milieu aquifère et sur la nappe d'eau souterraine. Aussi, certaines tables contiennent les données obtenues à la suite de l'évaluation de la fiabilité et la validation des données (section 4.3.1).

Les tables qui ne possèdent pas de lien avec la classe d'objets centrale correspondent à des données linéaires extraites des rapports (ex. : coupes stratigraphiques), à des données intermédiaires utilisées dans la création des livrables ou aux résultats finaux des livrables du projet PACES (tables en rose sur la figure 4-4). Le contenu de chacune des tables illustrées sur la figure 4-4 est présenté en détail à l'annexe numérique AN 9.

Une particularité de cette base de données est qu'elle contient autant les données sources, c'est-à-dire les données qui ont servi à l'analyse et la création des cartes finales du projet PACES, que l'ensemble des résultats d'analyse et cartographiques. La base de données géospatiales PACES pour la région de Lanaudière et son

contenu sont donc une photographie dans le temps qui illustre l'état des connaissances sur les eaux souterraines du territoire en **2022**.

4.3.3 Les références

Toutes les sources d'information pertinente à partir desquelles des données pour le projet PACES ont été extraites sont archivées dans un dossier nommé **3_Reference** (figure 4-5).



Figure 4-5: Architecture du dossier contenant les références.

Ce répertoire contient toutes les données existantes récupérées pendant la phase I du PACES (chapitre 2) tels que :

- les rapports des consultants en format PDF (*2_Rapports_Consultants*)
- les cartes géologiques (*3_Cartes_géologiques*)
- les extractions des rapports par thématiques (*4_Extractions_des_rapports*)

Le dossier **3_Reference** contient aussi toutes les nouvelles données acquises sur le terrain par l'équipe de l'UQAC pendant la phase II du PACES (chapitre 3). Ces données se retrouvent dans un sous-dossier nommé **1_Leves_PACES**. Les données acquises sur le territoire à l'étude pour répondre aux objectifs des projets de recherche des étudiants (chapitre 9) sont aussi archivées dans le dossier **1_Leves_PACES**. Les données y sont classées par type de données acquises:

- Photographies
- Forages
- Hydrogéochimie (tous les certificats d'analyse – paramètres inorganiques, isotopes, essai de pompage)
- Levés structuraux (stéréonets)
- Essais hydrauliques (essais de pompage longue durée et courte durée, essais de traçage, tests par obturateurs)
- Levés diagraphiques en forage
- Levés piézométriques en continue

Les coupes stratigraphiques récupérées et interprétées dans le cadre du PACES (section 6.3) sont aussi disponibles en format PDF dans le dossier **1_Leves_PACES**.

La plupart des fichiers se retrouvant dans le dossier **3_Reference**s sont associés à un point d'information de la classe d'entités *STATION* retrouvée dans la base de données géostatiales PACES et peuvent être visualisés via un hyperlien à partir de l'application *ArcMap*.

4.3.4 Les métadonnées

Une description des données présentes dans la base de données géospatiales est fournie dans un fichier *Excel*. Ce fichier Excel est disponible à l'annexe numérique AN 9. La première feuille du fichier fournit les informations générales telles que le nom de la base de données géospatiales, la date de sa dernière mise à jour, le nom des personnes ou organismes qui ont contribué à sa création et les limites générales d'utilisation.

Les autres feuilles du fichier *Excel* décrivent les tables de la base de données géospatiales. Une feuille *Excel* porte le nom de la table et contient une brève description du contenu de la table, le nom de tous les champs ainsi que la liste des valeurs possibles.

Nom des champs présents dans la table

DESCRIPTION GÉNÉRALE	Description
Propriétaire	La table PROPRIÉTAIRE fournit les informations sur le propriétaire de la station. Cette information identifie le propriétaire de la station.
IDProprietaire	Identifiant unique de la liste des données Propriétaire.
NomForage	Identifiant unique de la liste des données Forage.
IDReference	Identifiant unique générique original créé lors de la saisie de données. La lettre I indique la source des données :
	PL : Projet de recherche
	SL : Station de surveillance
	SH : Système d'information Hydrogéologique,
	MTO : Matériels des transports du Québec
	GUHS : Géologie urbaine et hydrogéologie du Québec
	S : SIGEOM
	GLS : Géologique : Livre stimulique présentant des rapports d'expert conseil
	P : Projet ou programme
	PLM : Projet de recherche et de monitoring
	GE00 : Campagne Hydrogeochimie 2009-2010 réalisée dans le cadre du PACES
	COL : Code identifiant un logement triangulaire par Éléments Hydro-Géologiques à l'échelle 1:250 000 (COL à 1:250 000)
	DAG : Diagnostic réalisé par Roger Morin en 2010-2011
	SF : Sondeage ou forage réalisé par le CERM à l'été 2010
	SEDR : Sondeage ou forage réalisé par le CERM à l'hiver 2010-2011
	etc / FO021, SH2030, etc.
IDReference	Identifiant unique des stations.
NotForage	Identifiant unique générique qui sera utilisé dans la base de données IDDEFF. Les premières lettres désignent la région où se situe la station :
	SL : Station de surveillance
	cc : SL340021
	SL340000 : SL343999 : Données extraites du rapport d'expert conseil, SH, MTO, UQAC (GUHS), SIGEOM
	SL320000 : SL323999 : Campagne Hydrogeochimie réalisée par le CERM en 2010-2011 dans le cadre du PACES
	SL320000 : SL323599 : Travail de hydrostratigraphie dans le cadre du PACES
	SL320000 : SL324599 : Travail de hydrostratigraphie dans le cadre du PACES
	SL320000 : SL329999 : Campagne hydrostratigraphique
	SL320000 : SL324399 : Forage, CPT et pélomètres réalisés au Cégep du GERIN dans le cadre du PACES
	SL320000 : SL324399 : Travail de hydrostratigraphie dans le cadre du PACES
	SL320000 : SL328999 : Projet de cartographie des débits perturbateurs 2009-2011
	SL320000 : SL328999 : Travail de diagraphie réalisé par Roger Morin
Nom_Proprio_Propri	Le nom du propriétaire du propriétaire.
Adresse_Proprio	L'adresse du propriétaire.
DIVERS	Autres informations supplémentaires.
Mes_Proprio	La mesure de la propriété de la station.
Province_Proprio	La province de propriété.

ACCUEIL STATION PROPRIÉTAIRE COMPOSANTEPUITS INFRASTRUCTURECAPTEAGE NID_D ...

Définition du champ et des valeurs s'y retrouvant

Nom des classes d'entités ou des tables

Figure 4-6 : Fichier Excel de métadonnées de la BD PACES.

Des fiches de métadonnées fournies par le MELCC ont été remplies et sont disponibles à l'annexe numérique AN 9.

4.4 Transfert des données dans la base de données du ministère

Une fois que toutes les données hydrogéologiques et géologiques ponctuelles sont uniformes dans leur format et leur structure, elles sont transférées dans la structure de la base de données (*file geodatabase*) fournie par le MELCC et correspondant au format de téléchargement des données sur le site de Données Québec. Cette structure a été peuplée pour répondre aux exigences du MELCC en ce qui concerne le format de livraison. Pour accélérer le transfert des données du projet PACES dans l'architecture de cette base de données, un *Model Builder (Python)* a été développé.

5 DESCRIPTION DU TERRITOIRE

La caractérisation hydrogéologique d'un territoire requiert de bonnes connaissances géographiques de ce dernier. Les caractéristiques géographiques du territoire étudié par le projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière sont décrites dans ce chapitre selon les aspects physiques et humains.

Les aspects physiques (section 5.1) portent sur l'ensemble du milieu naturel, incluant la topographie, l'hydrographie, le climat et le couvert végétal. Certains de ces aspects constituent des facteurs qui interviennent dans la caractérisation des milieux aquifères de la région de Lanaudière (chapitre 7) tels que la recharge des nappes souterraines sur le territoire (section 7.7) ou la vulnérabilité des milieux aquifères (section 7.8).

Les aspects humains (section 5.2) caractérisent le développement anthropique tels que la densité de population, l'occupation du sol, et identifient les sources de contaminations potentielles pour l'eau souterraine. Ces aspects permettent d'identifier l'état de la ressource (chapitre 8) en indiquant les utilisateurs d'eau de surface et d'eau souterraine (sections 8.2.1 et 8.2.2), et en estimant leurs besoins en termes de quantité.

5.1 Aspect physique

Le milieu naturel se définit par cinq principaux facteurs influant sur l'hydrogéologie régionale :

- **la topographie** est le principal moteur de l'écoulement de l'eau de surface, elle influence le ruissellement des eaux de surface et l'infiltration des eaux souterraines;
- **l'hydrographie** présente les importants lieux de drainage des eaux souterraines; le débit des cours d'eau reflète à la fois la quantité d'eau de ruissellement et celle de décharge des eaux souterraines ;
- **le climat** inclut notamment la température et les précipitations; ces dernières constituent la principale source de recharge des aquifères ;
- **la pédologie** caractérise les sols ; sa connaissance est utile dans l'estimation des quantités d'eau de ruissellement et celles de la recharge des aquifères ;
- **la végétation** génère l'évapotranspiration, qui retourne vers l'atmosphère une proportion importante des précipitations.

5.1.1 Topographie et pentes du sol

La topographie contrôle fortement l'écoulement régional, car elle permet le ruissellement des eaux de surface sur les terrains où le relief est accentué et elle favorise l'infiltration dans les terrains plats. La **carte #1 : Topographie** et la **carte #3 : Modèle numérique de terrain** présentent une topographie composée de 3 zones avec des altitudes et des reliefs différents : les Hautes-Terres Laurentiennes au NO, le piedmont, puis les Basses-Terres du Saint-Laurent au SE (figure 5-1). Les données d'altitude de la carte #3 ont été récupérées à l'échelle 1/20 000 et proviennent de la Base de données topographique du Québec (BDTQ) du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). La précision en élévation de ces données est de l'ordre de ± 10 m. Les données d'élévation acquises par Lidar et disponibles sur *Données Québec* ont aussi été récupérées et utilisées pour réaliser différents traitements tels que l'extraction de l'élévation de la tête des puits. La précision en élévation des données Lidar est de l'ordre de ± 1 m.

La topographie observée en surface est influencée à la fois par le socle rocheux et les dépôts meubles. Au niveau des Basses-Terres, des placages de till importants atténuent le relief du substratum rocheux, mais les principales dénivellations sont entraînées par le socle rocheux (Prichonnet, 1977).

D'une manière générale, les sommets topographiques constituent une ligne de partage des eaux. Ainsi, une goutte d'eau tombant d'un côté ou de l'autre de cette ligne va ruisseler dans des directions opposées. Cette ligne de partage des eaux correspond aux limites des bassins versants. On notera cependant que les limites du territoire sont basées sur des limites administratives et non des limites naturelles.

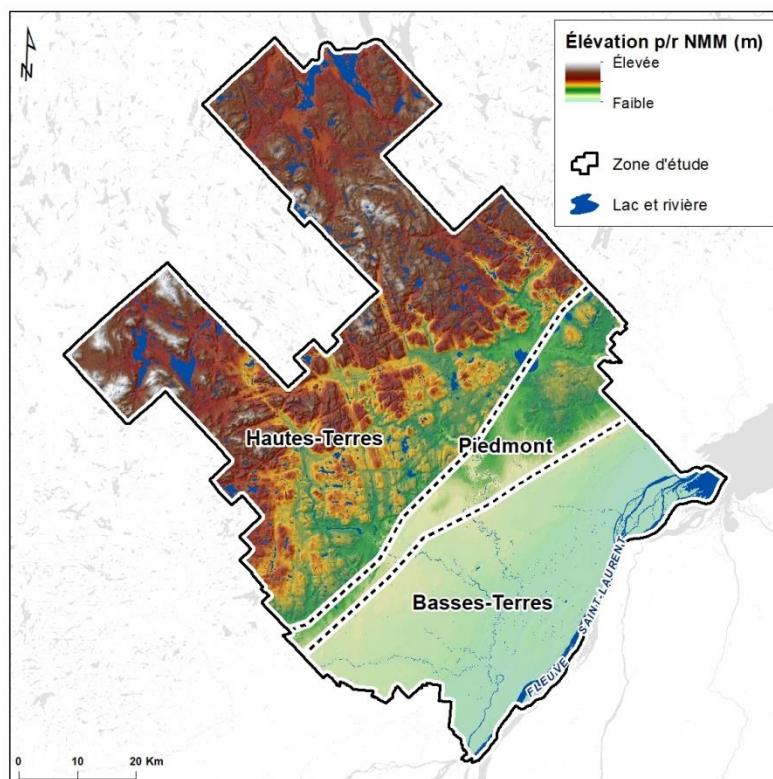


Figure 5-1 : Carte topographique du territoire municipalisé de Lanaudière et délimitation des Hautes-Terres Laurentiennes et des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Hautes-Terres Laurentiennes

Selon le cadre écologique de référence du Québec du ministère de l'Environnement (Ducruc *et al.*, 2000), la région de Lanaudière se caractérise par deux grandes provinces naturelles distinctes: le plateau des Laurentides méridionales et la plaine du Saint-Laurent. Ces Hautes-Terres Laurentiennes, situées au nord du territoire municipalisé, constituent le relief le plus escarpé composé de collines, de plateaux et de dépressions dont l'altitude moyenne est de 390 m. Le point le plus haut se situe à l'ouest dans la région de Saint-Donat et atteint une altitude de 884 m. La limite de basse élévation est définie à une altitude d'environ 180 m et suit principalement la faille de Sainte-Julienne. Les Hautes-Terres occupent 61 % du territoire soit une superficie de 3 692 km². Les collines sont généralement recoupées de vallées étroites orientées N-NO/S-SE contrôlant le réseau hydrographique. Les plus hauts sommets sont la Montagne Noire et le Mont Carcan, situés dans le secteur de Saint-Donat, dans le massif du Mont-Tremblant.

Piedmont

Le piedmont est une zone où la pente est généralement douce située au pied d'une chaîne de montagnes ou d'un massif. Elle est généralement composée d'accumulations détritiques (fluvioglaciaire, alluvions, etc.) induites par l'érosion du relief. La zone de piedmont se situe entre les Hautes-Terres et les Basses-Terres et couvre une superficie de 694 km² soit 11% du territoire municipalisé de Lanaudière. La zone du piedmont est principalement bordée par la ligne d'élévation de 180 m au nord et la ligne de 80 m au sud. Elle s'élève à une altitude moyenne de 153 m.

Basses-Terres du Saint-Laurent

Les Basses-Terres du Saint-Laurent constituent une région où le relief est relativement plat. Elles s'élèvent à une altitude moyenne de 37 m et sont principalement limitées au nord par la ligne d'élévation de 80 m. Selon le modèle numérique d'élévation (MNA) du MERN, le point le plus bas se situe dans la municipalité de Saint-Barthélemy et atteint 18 m en dessous du niveau de la mer, mais ce point se situe dans une importante carrière dont la profondeur va jusqu'à 50 mètres. Les Basses-Terres occupent 28 % du territoire avec une superficie d'environ 1 700 km². Elles reposent sur les dépôts Quaternaires et les roches sédimentaires de la Plate-forme du Saint-Laurent. Les Basses-Terres correspondent à la plaine argileuse.

Vallées encaissées

Le territoire est traversé par quelques vallées encaissées qui sont empruntées par des cours d'eau, tels que la vallée de la rivière L'Assomption. Ces vallées peuvent traduire la position de failles majeures ou des zones d'intense fracturation où l'érosion par les glaciers a été plus importante lors des diverses périodes glaciaires.

Le fleuve Saint-Laurent

Le fleuve Saint-Laurent borde le sud de l'ensemble de la région. Le fleuve est un vestige de l'ouverture de l'océan Iapetus. Il correspond à la limite inférieure de la topographie de la région. La **carte #4 : Pente du sol** permet d'apprécier le relief accentué (fortes pentes) dans les Hautes-Terres et le piedmont ainsi que le relief plat (faible pente) présent dans les Basses-Terres.

5.1.2 Hydrographie et bassins versants

Tel que montré sur la **carte #5 : Hydrographie**, l'hydrographie du territoire se caractérise par un réseau dense de lacs et de cours d'eau. Le réseau hydrographique surfacique de la carte #5 provient de la base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1:20 000.

Les principales rivières suivent un axe NNO-SSE et sont tributaires de la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Le territoire de Lanaudière comprend 9 principales rivières, à savoir les rivières Ouareau, L'Assomption, de l'Achigan, Bayonne, Noire, Saint-Esprit, Maskinongé, Mastigouche et Matawin (figure 5-2). Les caractéristiques hydrologiques de ces rivières sont données dans le tableau 5-1.

Tableau 5-1 : Caractéristiques des principales rivières du territoire.

Rivière	Source principale, affluence	Exutoire, confluence	Longueur (km)
Bayonne	Petit lac de montagne	Fleuve Saint-Laurent	53.7
De l'Achigan	Lac de l'Achigan	Rivière L'Assomption	83.8

Rivière	Source principale, affluence	Exutoire, confluence	Longueur (km)
L'Assomption	Lac de l'Assomption	Fleuve Saint-Laurent	200
Noire	Lac Lemieux	Rivière L'Assomption	56.2
Ouareau	Lac Ouareau	Rivière L'Assomption	83.8
Saint-Esprit	Lac Huard	Rivière L'Assomption	61
Maskinongé	Lac Maskinongé	Fleuve Saint-Laurent	52
Mastigouche	Lac du Mardi	Lac Maskinongé	60
Matawin	Lac Matawin	Rivière Saint-Maurice	208

Les principaux lacs retrouvés sur le territoire de Lanaudière sont les lacs Archambault, Ouareau, Maskinongé et le réservoir Taureau (figure 5-2). Le tableau 5-2 présente leur altitude et leur superficie.

Tableau 5-2 : Caractéristiques des lacs et réservoirs du territoire.

Lac, Réservoir	Altitude (m)	Superficie (km ²)
Archambault	390	14
Ouareau	384	15
Maskinongé	140	10
Taureau	356	95

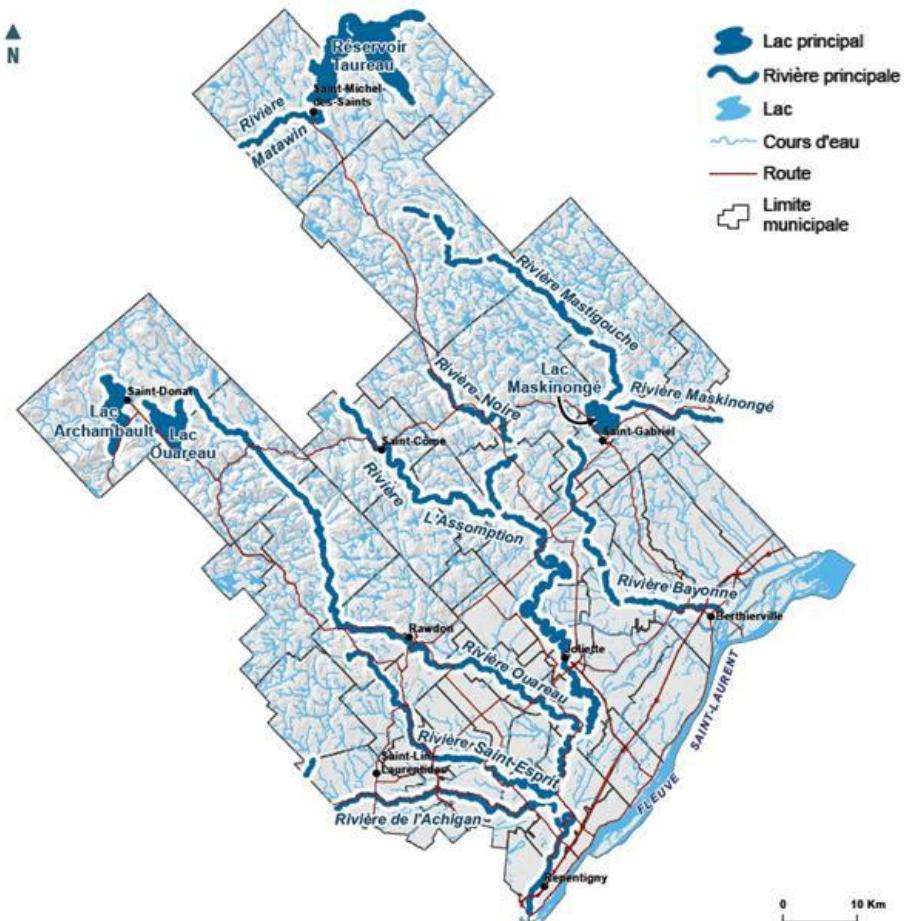


Figure 5-2 : Principales rivières présentes sur le territoire.

Certaines des rivières du tableau 5-1 possèdent une station hydrométrique enregistrant le niveau d'eau et le débit. Le tableau 5-3 indique les débits mesurés aux stations hydrométriques présentes sur le territoire avec la superficie de leur bassin hydrométrique. La localisation des stations de mesure hydrométriques avec leur type de données mesurées est présentée sur la **carte #27 : Stations météorologiques, stations hydrométriques et de suivi de la nappe d'eau souterraine**. Cette carte a été produite à partir des données du MELCC. L'état des stations (actives/inactives) correspond à celui affiché pour l'année 2010.

Tableau 5-3 : Débit moyen, maximal et minimal mesurés aux stations hydrométriques présentes sur le territoire.

Rivière	No station hydrométrique	Période d'observation	Débit moyen ¹ (m ³ /s)	Débit min ³ (m ³ /s)	Débit max ² (m ³ /s)	Bassin versant à la station (km ²)
Bayonne	052401	2009-2018	3.4	0.5	35.6	194
De l'Achigan	052233	1979-2018	11.5	1	134.8	641
L'Assomption	052219	1970-2018	24.2	3.5	108	1286.3
Noire	052228	1974-2018	4	0.4	32.8	188
Ouareau	052203	1920-1965	25.4	2.5	161.6	1260
Saint-Esprit	052229	1988 - 2006	3.4	0.4	39.2	-

¹Moyenne annuelle des débits moyens mensuels (m³/s)

²Moyenne annuelle des débits maximums mensuels (m³/s)

³Moyenne annuelle des débits minimums mensuels (m³/s)

Le fleuve Saint-Laurent est l'exutoire de la totalité des rivières présentes sur le territoire. Il prend sa source du lac Ontario et s'écoule en direction nord-est sur une distance d'environ 1 200 km jusqu'au Golfe du Saint-Laurent qui lui est relié à l'Océan Atlantique. Le fleuve est divisé en trois grandes sections soit le fleuve, l'estuaire et le golfe. Le territoire de Lanaudière est situé en amont du Lac Saint-Pierre et donc dans le tronçon fluvial du fleuve caractérisé par de l'eau douce. Le fleuve Saint-Laurent affiche un débit moyen de l'ordre de 12 600 m³/s.

Un bassin versant (BV) représente le territoire où l'eau des précipitations ruisselle à travers la couche de sol superficielle et s'écoule dans les cours d'eau jusqu'à atteindre l'exutoire. Tel que montré sur la **carte #6 : Bassins et sous-bassins versants** le territoire comprend 21 bassins versants (de niveau 1) dont 3 principaux, le bassin versant des rivières de L'Assomption, de Maskinongé et de Saint-Maurice qui représentent respectivement 53%, 14% et 13% de la superficie du territoire municipalisé de Lanaudière. Certains bassins versants, tels que celui de la rivière des Outaouais, représentent une superficie totale importante (96 230 km²), mais n'occupent qu'une très petite portion du territoire (<0.1%). Les limites des bassins versants proviennent du MELCC et ont été récupérées à une échelle 1:20 000. Le tableau 5-4 présente les superficies des bassins versants de niveau 1 présents en entier ou en partie sur le territoire d'étude.

Tableau 5-4 : Superficie des bassins versants (BV) de niveau 1 sur le territoire de Lanaudière.

<i>Nom du bassin versant</i>	<i>Superficie totale (km²)</i>	<i>Superficie au sein du territoire (km²)</i>	<i>Proportion que représente le BV sur le territoire</i>	<i>Portion du BV dans la zone d'étude par rapport à sa superficie totale</i>
L'Assomption, Rivière	4205	3219	53.1%	77%
Maskinongé, Rivière	1106	826	13.6%	75%
Saint-Maurice, Rivière	42657	772	12.7%	2%
Bayonne, Rivière	364	364	6.0%	100%
Chicot, Rivière	176	170	2.8%	96%
Chaloupe, Rivière la	145	145	2.4%	100%
Saint-Jean, Rivière	72	72	1.2%	100%
Mascouche, Rivière	420	44	0.7%	10%
Saint-Joseph, Rivière	41	41	0.7%	100%
Sarrazin, Ruisseau	42	41	0.7%	97%
Loup, Rivière du	1600	25	0.4%	2%
Outaouais, Rivière des	96230	25	0.4%	0%
Désy-Sylvestre, Ruisseau	14	14	0.2%	100%
Cachée, Rivière	32	13	0.2%	42%
Grand Fossé, Le	6	6	0.1%	100%
Tranchemontagne, Ruisseau	5	5	0.1%	100%
Grand Pré, Ruisseau	5	5	0.1%	100%
Chaput, Cours d'eau	4	4	0.1%	100%
Grande Ligne, Ruisseau	5	3	<0.1%	50%
Saint-Charles, Ruisseau	19	1	<0.1%	6%
Bois Blanc, Rivière du	29	0	<0.1%	0%

5.1.3 Climat

La température moyenne annuelle sur l'ensemble du territoire est estimée à 4.3°C (tableau 5-5). La précipitation est l'un des principaux paramètres du cycle de l'eau ; elle est composée de pluie, de neige ou de glace. Les précipitations peuvent ruisseler en surface et en subsurface, ou bien s'infiltrer et recharger les aquifères. Le ruissellement et l'infiltration des précipitations dépendent notamment du type, de l'intensité et de la distribution spatiale et temporelle des précipitations, ainsi que de l'antécédent des précipitations et de l'humidité du sol. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 825 mm/année (tableau 5-5).

La localisation des stations de mesures météorologiques selon leur activité en 2018 est indiquée sur la **carte #27 : Stations météorologiques, stations hydrométriques et de suivi de la nappe d'eau souterraine**.

Tableau 5-5 : Normales climatiques des stations du territoire municipalisé de Lanaudière (1981-2010)⁶.

Nom de la station	Numéro de station	Température			Précipitation			Altitude de la station (m)
		Moyenne des max. mensuels (°C)	Moyenne des min. mensuels (°C)	Moyennes annuelles (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Précipitation totale (mm)	
Berthierville	inactive	-	-	-	-	-	-	12
Joliette-Ville	inactive	11,2 ^A	0,8 ^A	6,0 ^A	806,9 ^C	203,0 ^C	1 015,1 ^D	55
Saint-Côme	7017080	9,9 ^A	-3,2 ^A	3,3 ^A	835,8 ^A	272,9 ^A	1 110,3 ^A	284
Sainte-Béatrix	7016902	10,1 ^A	-1,6 ^A	4,2 ^A	867,8 ^A	221,8 ^A	1 093,2 ^A	198
Saint-Donat	inactive	9,3 ^C	-2,3 ^C	3,5 ^C	861,2 ^D	276,3 ^D	1 143,2 ^D	390
Saint-Jacques	7017380	11,2 ^D	0,1 ^D	5,6 ^D	-	163,3 ^D	-	52
Saint-Michel-des-Saints	7077570	9,3 ^A	-3,0 ^A	3,1 ^A	722,4 ^C	209,9 ^C	932,6 ^D	373
Saint-Charles-de-Mandeville	7016960	10,4 ^A	-1,4 ^A	4,5 ^A	856,3 ^A	213,7 ^A	1 076,3 ^A	170

Code de statut

A : Au moins 25 ans de données et au plus 3 années manquantes consécutives

B : Au moins 25 ans de données

C : Au moins 20 ans de données

D : Au moins 15 ans de données

*Les normales climatiques du MELCC au niveau de la station de Saint-Jacques semblent aberrantes par rapport aux données des stations aux alentours.

5.1.4 Pédologie

La **carte #11 : Pédologie** présente les sols classifiés selon l’Institut de recherche et de développement agroalimentaire (IRDA). Les catégories de sols présentées dans la légende sont classifiées selon la capacité drainante du sol, allant de très drainant (ex. : sols sableux) à très peu perméable (ex. : affleurement rocheux). La carte pédologique a été créée à partir de la banque de données pédologiques produite par le ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation du Québec (MAPAQ) et l’Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) à l’échelle 1: 20 000.

5.1.5 Couverture végétale et milieux humides

La **carte #8 : Couverture végétale** présente la couverture végétale issue des cartes écoforestières du Système d’inventaire écoforestier (SIEF). Le territoire de Lanaudière comprend :

- 56 % de feuillus;
- 33 % de forêt mélangée;
- 11 % de résineux.

La **carte #9 : Milieux humides** présente les résultats de la cartographie détaillée des milieux humides réalisée par Canards Illimités (version d’avril 2018) et la cartographie des milieux humides potentiels du Québec réalisée

⁶ Source : ministère de l’Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/normales/index.asp>.

par le MELCC. Les milieux humides cartographiés par *Canards illimités* sont classifiés en 7 catégories : les eaux peu profondes, les marais, les marécages, les prairies humides, les tourbières bog, les tourbières fen et les tourbières boisées. Une cartographie détaillée des milieux humides a été réalisée seulement dans la partie sud du territoire de Lanaudière. Le fait de n'observer aucune de ces sept catégories au nord du territoire ne signifie donc pas qu'il n'y en a pas. Certaines tourbières ont également été localisées et inventoriées dans l'Atlas méridional des tourbières du Québec (Buteau, 1989).

Une importante zone de tourbière boisée a été cartographiée sur une trentaine de kilomètres au sud de Saint-Thomas. Selon la **carte #7 : Occupation du sol** (provenant de la compilation réalisée par le MDDELCC en novembre 2016) les milieux humides représentent 4% du territoire d'étude. Avec une superficie de 67 km², la tourbière de Lanoraie constitue l'un des milieux humides les plus importants du territoire. Selon la caractérisation hydrogéologique du complexe tourbeux de Lanoraie réalisée dans le cadre des travaux de maîtrise de Rosa (2007), cette tourbière repose sur les couches imperméables des silts associés à la mer de Champlain et au lac Lampsilis qui permettent le maintien des conditions humides superficielles. Le contact périphérique de la tourbière avec l'aquifère superficiel régional situé au sein des sables des hautes et basses terrasses permet un échange hydrogéologique de l'aquifère granulaire vers le complexe tourbeux. Des analyses par géoradar ont montré que le fond du bassin tourbeux a une morphologie très irrégulière due aux paléochenaux du Saint-Laurent (Rosa, 2007). Ces paléochenaux ont été incisés dans les sables des terrasses jusqu'aux argiles marines par endroit.

5.2 Aspect humain

Les caractéristiques du milieu humain ont un impact sur les eaux souterraines, notamment par l'exploitation de cette ressource et les dangers de contamination. La description du milieu humain inclut le territoire municipalisé et le réseau routier, les grandes affectations du territoire, l'occupation du sol et les activités potentiellement polluantes pour la nappe d'eau souterraine.

5.2.1 Superficies et découpages administratifs

Le territoire municipalisé de Lanaudière est l'un des plus densément peuplés du Québec avec une population de 337 601 habitants répartie sur un territoire d'une superficie 5 962 km² s'étendant sur une largeur d'environ 65 km du NE au SO et sur une longueur d'environ 100 km du NO au SE. La figure 5-3 présente la délimitation du territoire en Municipalités régionales de comté (MRC).

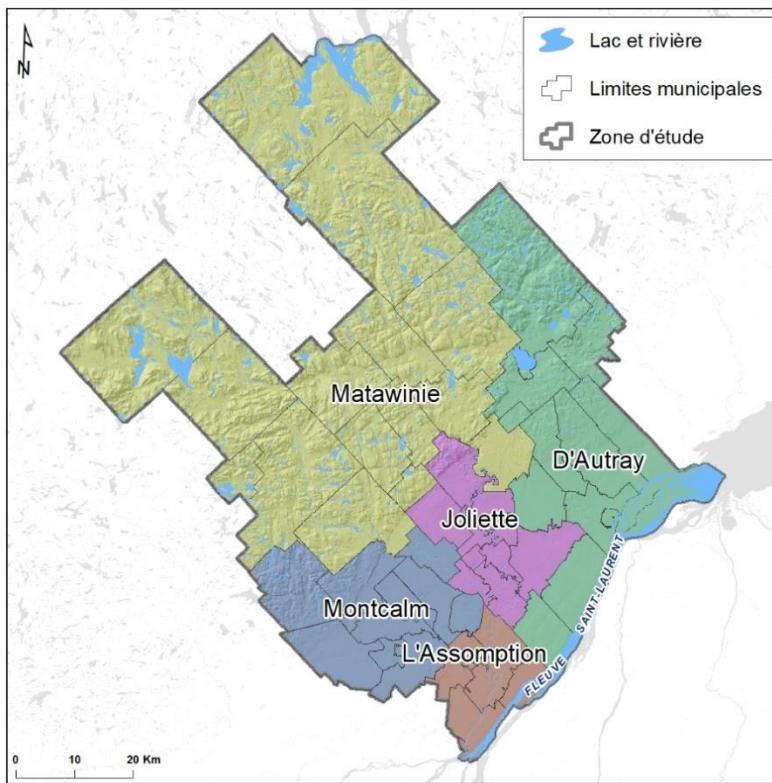


Figure 5-3 : MRC de la région de Lanaudière (sauf la MRC des Moulins)

Les Basses-Terres du Saint-Laurent couvrent la portion sud des territoires où se concentre la majorité des terres cultivables et du territoire municipalisé. Le tableau 5-6 présente le nombre d'habitants et la superficie de chacune des municipalités sur le territoire. Le tableau 5-7 présente les mêmes informations rapportées par les MRC.

La **carte #2 : Routes, limites municipales et toponymie** présente le réseau routier provenant de la base de données d'Adresses Québec ainsi que le découpage municipal provenant du Système de découpage administratif du Québec au 1:20 000 (SDA). Le territoire est composé de 5 Municipalités régionales de comté (MRC) : D'Autray, Joliette, L'Assomption, Matawinie et Montcalm. Respectivement, chacune d'entre elles occupe 21%, 7%, 4%, 54% et 12% du territoire municipalisé de Lanaudière (tableau 5-7). Notons que la MRC des Moulins a été soustraite du territoire considéré, car elle fait partie du PACES proposé par l'UQAM.

Tableau 5-6 : Superficies municipales et nombre d'habitants par municipalité sur le territoire de Lanaudière.

Municipalités	Superficie (km ²)	Pourcentage par rapport au territoire	Population (2021) ¹
MRC D'Autray			
Mandeville	339	5.6%	2 286
Saint-Didace	103	1.7%	686
Saint-Gabriel-de-Brandon	100	1.7%	2 673
Saint-Gabriel	13	0.2%	2 693
Saint-Barthélemy	106	1.7%	2 069
Saint-Cuthbert	132	2.2%	1 840
Saint-Norbert	74	1.2%	1 051
Saint-Cléophas-de-Brandon	15	0.3%	224

<i>Municipalités</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Pourcentage par rapport au territoire</i>	<i>Population (2021)¹</i>
Sainte-Élisabeth	83	1.4%	1 472
Saint-Ignace-de-Loyola	38	0.6%	2 101
La Visitation-de-l'Île-Dupas	29	0.5%	643
Sainte-Geneviève-de-Berthier	68	1.1%	2 348
Berthierville	7	0.1%	4 348
Lanorarie	103	1.7%	5 239
Lavaltrie	69	1.1%	14 495
MRC de Joliette			
Sainte-Mélanie	78	1.3%	3 208
Saint-Ambroise-de-Kildare	68	1.1%	4 072
Notre-Dame-de-Lourdes	36	0.6%	2 969
Saint-Charles-Borromée	19	0.3%	14 683
Saint-Thomas	95	1.6%	3 495
Notre-Dame-des-Prairies	19	0.3%	9 496
Joliette	24	0.4%	21 571
Saint-Pierre	10	0.2%	301
Saint-Paul	50	0.8%	6 477
Crabtree	26	0.4%	4 104
MRC de L'Assomption			
L'Assomption	101	1.7%	23 623
L'Épiphanie	58	1.0%	8 920
Saint-Sulpice	36	0.6%	3 395
Repentigny	62	1.0%	86 419
Charlemagne	2	0.0%	6 175
MRC de Matawinie			
Saint-Michel-des-Saints	568	9.4%	2 418
Saint-Zénon	492	8.1%	1 181
Saint-Damien	269	4.4%	2 190
Saint-Donat	388	6.4%	4 159
Sainte-Émélie-de-l'Énergie	156	2.6%	1 703
Notre-Dame-de-la-Merci	262	4.3%	973
Saint-Côme	169	2.8%	2 358
Saint-Jean-de-Matha	113	1.9%	4 601
Sainte-Béatrix	84	1.4%	2 194
Saint-Alphonse-Rodriguez	105	1.7%	3 280
Chertsey	302	5.0%	4 926
Saint-Félix-de-Valois	90	1.5%	6 799
Entrelacs	56	0.9%	967
Sainte-Marcelline-de-Kildare	36	0.6%	1 745
Rawdon	193	3.2%	11 748
MRC de Montcalm			
Saint-Liguori	52	0.9%	2 040
Sainte-Julienne	100	1.7%	11 086
Saint-Calixte	147	2.4%	6 629
Saint-Jacques	67	1.1%	4 280
Saint-Alexis	43	0.7%	1 382
Sainte-Marie-Salomé	34	0.6%	1 200
Saint-Esprit	55	0.9%	2 033
Saint-Lin - Laurentides	119	2.0%	23 299
Saint-Roch-de-l'Achigan	80	1.3%	5 492
Saint-Roch-Ouest	20	0.3%	282

¹Population des municipalités, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.

Tableau 5-7 : Superficie et population des Municipalités régionales de comté (MRC) sur le territoire de Lanaudière (sauf la MRC des Moulins).

	<i>Superficie (km²)</i>	<i>% de la superficie du territoire</i>	<i>Population (2017)</i>	<i>% de la population du territoire</i>
<i>MRC D'Autray</i>	1280	21%	42 006	12%
<i>MRC de Joliette</i>	424	7%	66 971	20%
<i>MRC de L'Assomption</i>	259	4%	124 990	37%
<i>MRC de Matawinie</i>	3283	54%	49 968	15%
<i>MRC de Montcalm</i>	716	12%	53 666	16%

5.2.2 Voies de communication

En plus des limites municipales, la **carte #2 : Routes, limites municipales et toponymie** illustre le réseau routier selon les classes de route ainsi que les voies ferrées présentes sur le territoire. Au total, 3 autoroutes et 2 routes nationales donnent accès au territoire (tableau 5-8). L'une des voies ferrées longe le fleuve Saint-Laurent à partir de Repentigny jusqu'à Saint-Barthélemy alors que les autres bifurquent vers le nord pour passer à Joliette jusqu'à Saint-Félix-de-Valois.

Tableau 5-8 : Routes nationales présentes sur le territoire.

<i>Autoroute/Route</i>	<i>Relie</i>	<i>À</i>
40	Repentigny	Saint-Barthélemy
31	Lavaltrie	Joliette
25	Saint-Roch-de-l'Achigan	Saint-Esprit
138	Repentigny	Saint-Barthélemy
158	Saint-Lin - Laurentides	Berthierville

5.2.3 Activités humaines

Les activités humaines sur le territoire se développent en fonction de l'affectation du territoire et des schémas d'aménagement des MRC. En plus des activités résidentielles et commerciales, les activités industrielles, agricoles et touristiques sont importantes et elles constituent la diversité économique du territoire.

Industries

En raison de sa proximité avec la région de Montréal, le sud de la région de Lanaudière est caractérisé par un important développement commercial et industriel tel que des entreprises de fabrication de produits métalliques, de matériel de transport et d'agroalimentaire. Les industries retrouvées dans le nord sont principalement des entreprises de transformation des produits de la forêt. Parmi les activités industrielles, plusieurs carrières et sablières sont exploitées sur l'ensemble du territoire.

Agriculture

Le sud de la région de Lanaudière se caractérise par les cultures de céréales et de légumes ainsi que la production des oléagineux. Des fermes d'élevage sont également présentes sur le territoire principalement dans le piedmont.

Tourisme

Le territoire de Lanaudière connaît une industrie touristique importante dans le nord du territoire (Saint-Donat et Saint-Michel-des-Saints). La proximité de la région avec la métropole favorise cette industrie.

5.2.4 Affectations du territoire

L'affectation du territoire correspond à des zones de territoire pour lesquelles les MRC attribuent des affectations particulières. La **carte #10 : Affectation du territoire** présente les zones d'affectation du territoire à partir des 8 classes de vocation du territoire : agroforestière, forestière, agricole, résidentielle et commerciale, industrielle, conservation, récréatif et villégiature.

Le territoire de Lanaudière comprend principalement des affectations récréatives, résidentielles et commerciales au nord (MRC de Matawinie) et des zones agricoles et industrielles dans le sud (MRC d'Autray, de l'Assomption, de Joliette et de Montcalm).

5.2.5 Occupation du territoire

L'occupation du sol correspond à l'usage réel du territoire. La **carte #7 : Occupation du sol** présente six classes d'occupation, soit les zones urbaines, les zones agricoles, les zones forestières, les zones arbustives, les zones humides, les zones découvertes et les zones pour lesquelles aucune donnée n'est disponible. Le territoire municipalisé de Lanaudière est principalement occupé par :

- des zones forestières (61% de la zone d'étude) dans le nord ;
- des zones agricoles (20%) et d'occupation humaine (6%) dans le sud ;
- le milieu aquatique représente 7% du territoire d'étude avec une plus grande présence de lacs au nord du territoire.

Le reste du territoire est occupé par des milieux humides (4%), des sols dénudés (1%) et des coupes forestières ou des régénérations (1%).

5.2.6 Activités potentiellement polluantes

Le territoire municipalisé est l'hôte d'activités d'origine anthropique diversifiées dont certaines peuvent avoir un impact sur la qualité de l'eau souterraine. La localisation et la classification des activités selon leur niveau d'impact potentiel sur l'eau souterraine sont réalisées avec les codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF, édition 2018). Ainsi, à partir des informations disponibles, les activités jugées pertinentes (tableau 5-9) ont d'une part été identifiées et d'autre part leur impact potentiel a été pondéré suivant le protocole disponible à l'annexe numérique **AN 10**.

Tableau 5-9 : Activités anthropiques pouvant avoir un impact sur l'eau souterraine (CUBF, édition 2018).

CUBF	Description	Nombre d'entités dans la zone d'étude
Niveau d'impact TRÈS ÉLEVÉ		23
4853	Dépôt de matériaux secs	1
4854	Enfouissement sanitaire	8
4855	Dépotoir	5
4856	Dépotoir pour les rebuts industriels	1
4859	Autres installations inhérentes aux ordures	1
4874	Récupération et triage de métaux	7
Niveau d'impact ÉLEVÉ		169
3019	Autres activités d'impression commerciale	10
3113	Industrie de formes en acier laminé à froid, à partir d'acier acheté	1

CUBF	Description	Nombre d'entités dans la zone d'étude
3152	Laminage, étirage, extrusion et alliage de métaux non-ferreux (sauf le cuivre et l'aluminium)	2
3299	Autres industries de produits métalliques divers	7
3395	Industrie de la machinerie pour l'industrie de pâtes et de papiers	1
3399	Autres industries de la machinerie industrielle et de l'équipement industriel	7
3480	Industrie de la construction et de la réparation d'embarcations	2
3791	Industrie de la fabrication de mélanges d'asphaltage et de pavés d'asphalte	2
3821	Industrie d'engrais chimiques et d'engrais composés	3
3840	Industrie de produits pharmaceutiques et de médicaments	1
3850	Industrie de peinture, de teinture et de vernis	2
3883	Industrie de produits chimiques organiques d'usage industriel	1
	Industrie d'explosifs, de détonateurs pour explosifs et de dispositifs explosifs (sauf les munitions)	
3893		2
4112	Aiguillage et cours de triage de chemins de fer	1
4311	Aéroport et aérodrome	3
4316	Réparation et entretien des avions	1
4510	Autoroute	52
4823	Transport et gestion du gaz par canalisations	18
4824	Centre d'entreposage du gaz	2
4825	Distribution locale du gaz	3
4827	Distribution de produits pétroliers	1
4851	Incinérateur	1
4875	Récupération et triage de matières polluantes et toxiques	1
5982	Vente au détail du mazout (sauf les stations-service)	2
6242	Cimetière	36
8542	Extraction de la pierre pour le concassage et l'enrochement	5
	Autres activités minières et extraction de carrières de minerais non métalliques (sauf le pétrole)	
8549		2
Niveau d'impact MODÉRÉ		143 408
1000	Logement	124 308
1100	Chalet ou maison de villégiature	6 948
1211	Maison mobile	2 953
1212	Roulotte résidentielle	417
1511	Maison de chambres et pension	18
1512	Maison de chambres pour personnes ayant une déficience intellectuelle	18
1521	Local pour les associations fraternelles	5
1522	Maison des jeunes	10
1529	Autres maisons et locaux fraternels	2
1541	Maison pour personnes retraitées non autonomes (inclus les CHSLD)	59
1543	Maison pour personnes retraitées autonomes	72
1551	Couvent	6
1552	Monastère	6
1553	Presbytère	36

CUBF	Description	Nombre d'entités dans la zone d'étude
1559	Autres maisons d'institutions religieuses	5
1590	Autres locaux de groupes	4
1702	Parc de maisons mobiles (fonds de terre seulement)	1
1911	Pourvoirie avec droits exclusifs	11
1912	Pourvoirie sans droits exclusifs	1
1913	Camp de chasse et pêche	39
1914	Camp forestier	55
1990	Autres immeubles résidentiels	2 092
2213	Industrie de pneus et de chambres à air	3
2713	Industrie de produits de scierie et d'ateliers de rabotage	19
2793	Industrie de panneaux de particules et de fibres	1
2799	Autres industries du bois	8
2913	Industrie du papier journal et papier d'impression de pâte mécanique	2
2920	Industrie du papier asphalte pour couvertures	1
3222	Industrie de barres d'armatures	1
3229	Autres industries de la fabrication d'éléments de charpentes métalliques	5
3259	Autres industries de produits en fils métalliques	1
3264	Industrie de produits tournés, vises, écrous et de boulons	1
3270	Industrie du matériel de chauffage et du matériel de réfrigération commerciale	1
3430	Industrie de véhicules automobiles	1
3441	Industrie de carrosseries de camions et d'autobus	6
3861	Industrie de savons et de détachants pour le nettoyage	4
4842	Espace pour le séchage des boues provenant de l'usine d'épuration	2
4849	Autres systèmes d'égout	21
5531	Station-service avec réparation de véhicules automobiles	39
5532	Station libre-service, ou avec service sans réparation de véhicules automobiles	12
5533	Station libre-service, ou avec service et dépanneur sans réparation de véhicules automobiles	102
5593	Vente au détail de pièces de véhicules automobiles et d'accessoires usagés	25
6412	Service de lavage d'automobiles	12
6413	Service de débosselage et de peinture d'automobiles	54
6415	Service de remplacement de pièces et d'accessoires d'automobiles	11
6416	Service de traitement pour automobile (anti-rouille, etc.)	1
6417	Service de lavage de véhicules lourds (incluant les autobus)	1
7411	Terrain de golf (sans chalet et autres aménagements sportifs)	3
7412	Terrain de golf (avec chalet et autres aménagements sportifs)	15
8121	Élevage de bovins de boucherie	29
8122	Élevage de bovins laitiers	416
8123	Élevage de porcs	227
8124	Élevage d'ovins	8
8125	Élevage de volailles et production d'œufs	186
8126	Élevage d'équidés	54

CUBF	Description	Nombre d'entités dans la zone d'étude
8127	Élevage caprin	1
8129	Autres types de production animale	15
8132	Cultures de céréales, de plantes oléagineuses et de légumineuses	855
8133	Cultures de légumes	169
8134	Cultures de fruits ou de noix	17
8135	Horticulture ornementale	54
8139	Autres types de production végétale	47
8191	Terrain de pâture et de pacage (non intégré à une ferme ou à un ranch appartenant en général au domaine public)	23
8192	Ferme expérimentale	1
8199	Autres activités agricoles	3 880
8312	Pépinière forestière	7
8319	Autres productions ou récolte de produits forestiers	1
Niveau d'impact FAIBLE		1 084
2062	Industrie d'aliments pour autres animaux	2
2071	Industrie de biscuits, de craquelins et de biscuits	2
2081	Industrie de chocolat et de confiseries chocolatées	2
2093	Industrie de la bière	1
2095	Industrie de l'eau naturelle et gazéifiée	1
3620	Industrie du ciment	2
3641	Industrie de tuyaux, de briques et de blocs en béton	1
3642	Industrie de produits de construction en béton	1
3649	Autres industries de produits en béton	3
3650	Industrie du béton prépare	8
3670	Industrie de produits abrasifs	1
3680	Industrie de la chaux	1
3699	Industrie de tous les autres produits minéraux non métalliques	1
4811	Centrale hydraulique et hydroélectrique	31
4819	Autres activités de production d'énergie	11
4841	Usine de traitement des eaux usées	32
4879	Autres activités de récupération et de triage	16
5811	Restaurant et établissement avec service complet (sans terrasse)	157
5812	Restaurant et établissement avec service complet (avec terrasse)	104
5813	Restaurant et établissement avec service restreint	23
5814	Restaurant et établissement offrant des repas à libre service (cafétéria, cantine)	6
6411	Service de réparation d'automobiles (garage)	198
8128	Apiculture	2
8131	Acériculture	409
8421	Pisciculture	3
8543	Extraction du sable et du gravier	66
TOTAL		144 684

La pondération de l'impact potentiel est effectuée à partir de l'équation suivante :

$$IP = (TC + QC + ZIA) * RRC$$

Où

IP : Impact potentiel

TC : Toxicité des contaminants

QC : Quantité de contaminants

ZIA : Zone d'impact de l'activité

RRC : Récurrence des rejets de contaminants

Les quatre paramètres de l'équation précédente sont évalués de manière qualitative (voir protocole, AN8) et une cote est attribuée à chaque paramètre. Ainsi, l'impact potentiel présente une cote variant entre 4 et 48. Le tableau 5-10 permet d'identifier les niveaux d'impact qualitatif attribués à l'activité à partir du niveau d'impact quantitatif. Pour augmenter l'écart entre les niveaux d'impact (faible modéré, élevé et très élevé), un facteur 10 a été ajouté entre chaque niveau. Ainsi, une activité isolée classifiée comme ayant un impact potentiel très élevé sera visible sur la carte de densité puisqu'elle aura un poids mille fois plus élevé qu'une activité ayant un faible impact sur l'eau souterraine. Cette astuce évite que la carte de densité soit simplement une carte de densité des activités sans considérer leur impact potentiel sur l'eau souterraine. Les niveaux d'impact quantitatifs sont donc redistribués de façon linéaire entre les nouvelles bornes. Ces nouvelles valeurs sont celles utilisées comme poids dans le calcul de la densité des activités.

Tableau 5-10 : Niveaux d'impact qualitatif attribués à l'activité à partir de la cote d'impact potentiel.

<i>Cote d'impact potentiel</i>	<i>Niveau d'impact potentiel</i>	<i>Poids attribué par niveau d'impact potentiel pour le calcul de la densité des activités</i>
4-14	Faible	[0 – 10 [
15-17	Modéré	[10 – 100 [
18-29	Élevé	[100 – 1000 [
30-48	Très élevé	[1000 – 10 000]

À partir de la localisation des activités combinée au poids attribué à chacun des niveaux d'impact potentiel, un calcul de densité des impacts potentiels des activités anthropiques est réalisé. Les zones affichant les densités pondérées les plus élevées sont les zones urbaines. Plus précisément, ce sont celles situées à proximité des centres-villes ou d'un site d'enfouissement.

En plus de la densité des impacts potentiels des activités anthropiques, la **carte #23 : Activités potentiellement polluantes pour l'eau souterraine** permet de localiser les sites contaminés selon le ou les milieux récepteurs affectés (sol et/ou eau souterraine). Les sites contaminés réhabilités ou non proviennent du Répertoire des terrains contaminés du MELCC⁷ et les zones agricoles correspondent à celles indiquées sur la **carte #7 : Occupation du sol**.

La région affiche une importante densité d'activités potentiellement polluantes pour l'eau souterraine au sud du territoire. Les terrains contaminés affectant les eaux souterraines sont présents en plus grande quantité sur le territoire des municipalités affichant les plus fortes densités de population tels que Joliette, Repentigny, Charlemagne et Berthierville. Ces municipalités sont toutes situées au sud du territoire. Mis à part dans le

⁷ www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp

secteur de Saint-Grabriel, Saint-Jean-de-Mathas et Saint-Chéophas-de-Brandon, les activités agricoles sont aussi principalement concentrées dans les Basses-Terres, soit dans la partie sud du territoire.

Il est important de mentionner que la carte #23 présente le niveau d'impact potentiel des activités sur l'eau souterraine et non le niveau de risque. En effet, la notion de risque apparaît lorsqu'une activité est située dans une zone où l'aquifère est vulnérable. Or, une activité peut avoir un impact potentiel élevé sur l'eau souterraine, mais présenter un faible risque si elle ne se situe pas dans une zone vulnérable. Il demeure que les observations présentées ici démontrent bien que le développement urbain en général augmente le nombre d'activités potentiellement polluantes et que l'aménagement du territoire doit prendre en compte la présence d'activités potentiellement polluantes ainsi que la vulnérabilité des nappes à une éventuelle contamination. En plus d'avoir un impact sur la qualité de la ressource en eau souterraine, le développement urbain aura aussi un impact direct sur les quantités d'eau souterraine disponibles causé par l'imperméabilisation des surfaces réduisant ainsi la recharge des aquifères et sur les quantités d'eau souterraine exploitées en raison de l'augmentation de la demande en eau potable.

6 PORTRAIT GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

La caractérisation des eaux souterraines et des aquifères régionaux nécessite de bonnes connaissances géologiques, autant sur la géologie du roc et ses systèmes de fracturation que sur la géologie des dépôts meubles incluant l'architecture des dépôts et leur étendue. Les formations géologiques perméables constituent des réservoirs pour l'eau souterraine tandis que celles faiblement perméables peuvent constituer un obstacle à l'écoulement de contaminants de surface et ainsi protéger la qualité de l'eau souterraine contenue dans des réservoirs sous-jacents. La géologie du territoire de Lanaudière se caractérise d'une part par les formations rocheuses et d'autre part par une couverture de dépôts meubles d'âge quaternaire et de natures variées.

Ce chapitre présente plus en détail la géologie du roc pour la région de Lanaudière incluant de brèves descriptions lithologiques et structurales (section 6.1). Les principaux types de dépôts de surface (Quaternaire) cartographiés sur le territoire sont décrits à la section 6.2. Les coupes stratigraphiques réalisées sur le territoire sont présentées à la section 6.3 alors que la section 6.4 présente l'épaisseur des dépôts et la topographie du roc.

6.1 Géologie du socle rocheux

En contexte de socle rocheux, l'eau souterraine est contenue dans la porosité de matrice des roches et peut s'écouler à travers un réseau de fractures interconnectées. L'eau peut également ruisseler sur la surface topographique du socle rocheux. La topographie à la surface du socle rocheux, la stratigraphie, le réseau de fractures ainsi que leur répartition spatiale influencent et contrôlent les écoulements régionaux.

6.1.1 Répartition géographique des provinces géologiques

La région de Lanaudière comprend deux provinces géologiques : la province de Grenville et la province de la Plate-forme du Saint-Laurent. La province de Grenville s'étend sur environ 6 000 km², du Mexique au Labrador, jusqu'en Scandinavie. Dans les zones d'étude du présent rapport, **les roches grenvillienes** constituent la portion nord du territoire municipal et couvrent une superficie de 73% du territoire. Ces Hautes-Terres laurentiennes constituent un haut plateau escarpé.

Au Québec, la **Plate-forme du Saint-Laurent** se divise en deux secteurs : les Basses-Terres du Saint-Laurent et Mingan-Antiscoti. La figure 6-1 situe la zone d'étude par rapport aux grands ensembles géologiques du Canada. Sur le territoire de Lanaudière, seules les Basses-Terres du Saint-Laurent sont présentes et elles constituent une plaine de basse élévation dont la topographie est plane et légèrement inclinée vers le fleuve Saint-Laurent. Les roches sédimentaires de la Plate-forme des Basses-Terres occupent une superficie de 1 607 km² dans la zone d'étude ce qui représente une proportion de 27% et leur altitude moyenne est de 36 m.

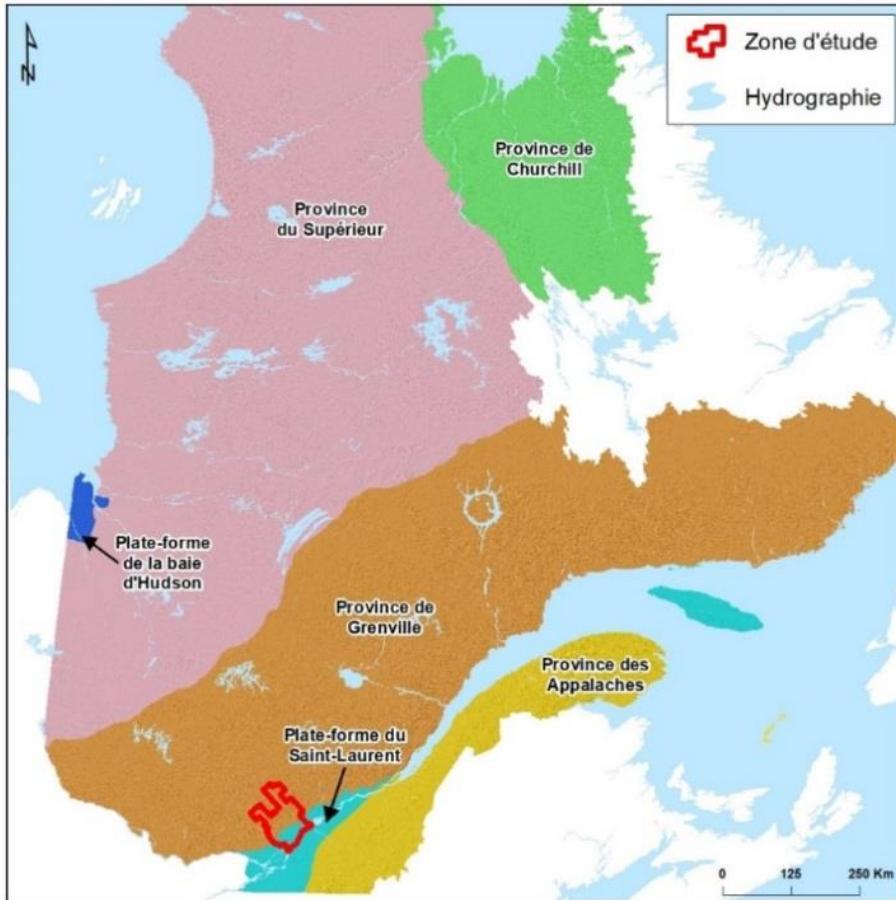


Figure 6-1 : Localisation de la zone d'étude par rapport aux provinces géologiques du Québec.

6.1.2 Stratigraphie et géologie du socle rocheux

Province de Grenville

La province de Grenville est composée de roches datées de l'Archéen au Mesoproterozoic (2 700 à 600 millions d'années). Dans les territoires de Lanaudière les roches grenvillienes ont des âges variant de 1 070 à 1 400 millions d'années (tableau 6-1).

La province grenvillienne correspond à la racine profonde d'une ancienne chaîne de montagnes comparable à l'actuelle chaîne de l'Himalaya. La chaîne du Grenville s'étendait sur plusieurs milliers de kilomètres selon une orientation NE-SO et avait une largeur de quelques centaines de kilomètres. La figure 6-2 montre l'étendue exposée et présumée de la province de Grenville. Cette surrection montagneuse est le résultat de la collision entre deux blocs continentaux, le bouclier nord-américain et le bouclier sud-américain lors de la formation du grand continent Rodina (Hocq et ministère des Ressources naturelles, 1994). Cette ancienne chaîne montagneuse a ensuite été érodée.

Tableau 6-1 : Stratigraphie des roches du socle rocheux de la province de Grenville et de la Plate-forme du Saint-Laurent sur le territoire de Lanaudière.

Ère	Age (Ka)	Groupe - formation	Lithologie
Paléozoïque	de 438 à 500	Groupe de Lorraine – Formation de Nicolet	Shale gris et grès
		Groupe d'Utica	Shale
		Groupe de Trenton – Formation de Neuville	Calcaire cristallin micritique et nodulaire (Membre de St-Casimir) et calcaire argileux et shale (Membre de Grondines)
		Groupe de Trenton – Formation de Deschambeault	Calcaire cristallin à fossiles
		Groupe de Trenton – Formation de Fontaine	Calcaire cristallin
		Groupe Blake River –Formation Leray	Calcaire plus ou moins gréseux
		Groupe Blake River –Formation de La Gabelle	Grès
		Groupe Chazy	Grès et Calcaire
		Groupe Beekmanton	Dolomie
		Groupe Postdam	Conglomérat de grès
Précambrien	1070	Gabbroïte de Shawinigan	Gabbroïte et anorthosite gabbroïque
	1080	Monzonite de St-Didace	Monzonite et mozogranite porphyrique
	1160	Terrane de Morin – Complexe de Saint-Paulin	Gneiss non subdivisé
		Terrane de Morin – Complexe de Jésuite	Roches ignée
	1180	Terrane de Morin – Paragneiss de Saint-Boniface	Métasédiments détritique ou carbonaté et roches volcaniques
	1370	Domaine Mékinac Taureau – Complexe de Taureau	Gneiss non subdivisé
		Domaine Mékinac Taureau – Complexe de Mékinac	Orthogneiss granitique à monzonitique
	1400	Domaine Portneuf-Mauricie – Complexe de la Bostonnais	Orthogneiss gris tonalitique, granodioritique et dioritique

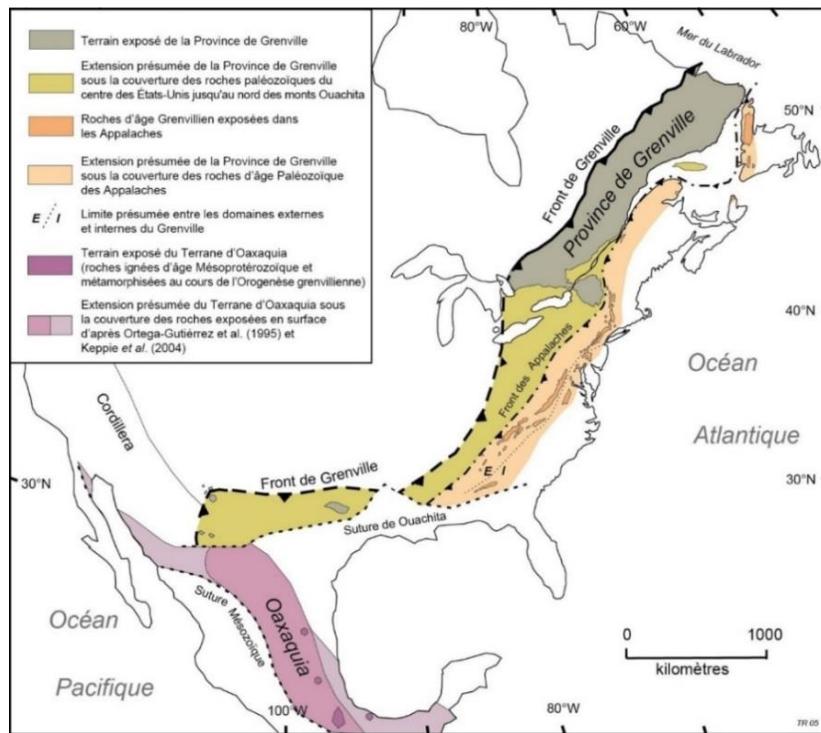


Figure 6-2 : Tracé exposé et présumé de la province de Grenville⁸.

⁸ Source : modifié de Rivers et al. (2012) par le MERN <http://gq.mines.gouv.qc.ca>

Plusieurs cartes géologiques sont proposées sur le site du SIGEOM pour la région de Lanaudière, à savoir :

- la carte de Béland (1958) dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon,
- la carte de Béland (1959) dans la région de Rawdon,
- la carte de Bédard (1971) dans la région de Cartier-Tracy,
- la carte de Globensky (1985) dans la région des Basses-Terres du Saint-Laurent ainsi que le rapport associé (Globensky, 1987),
- la carte géologique et structurale de Nadeau et Brouillette (1995) qui couvre quasiment tout le territoire de Lanaudière.

Selon les cartes de Rivers et al. (1989) et de Rivers (2009), la province de Grenville est composée de trois grandes entités lithotectoniques : le parautochtone, l'allochtone monocyclique et l'allochtone polycyclique. Les roches précambriniennes observées sur le territoire de Lanaudière appartiennent à la ceinture allochtone monocyclique et polycyclique (Rivers et al., 1989). Le socle précamalien est composé des roches de la série de Grenville et celles de la série Morin.

Plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent

Les roches sédimentaires de la Plate-forme du Saint-Laurent sont des formations du Cambrien et de l'Ordovicien qui reposent en discordance angulaire ou en contact de faille normale sur le socle précamalien (Nadeau et Brouillette, 1995). Ces formations ont été déposées en strates horizontales puis ont été légèrement plissées lors de la compression Appalachiennes durant l'Ordovicien (Globensky, 1987). Ces strates forment un grand synclinal, le synclinal Chambly-Fortierville, qui est allongé selon un axe NE-SO. En suivant une ligne perpendiculaire au fleuve Saint-Laurent, les roches sont de plus en plus vieilles en remontant vers les Laurentides. Ces roches forment une séquence sédimentaire complète qui représente un cycle de transgression-régression entier d'une épaisseur de 1 500 à 3 000 m (Globensky, 1987). La stratigraphie est composée, en commençant par les plus anciennes unités :

- de conglomérats de grès du Groupe Postdam (Cambrien supérieur),
- de dolomies du Groupe Beekmenton (Ordovicien inférieur),
- des grès et des calcaires du Groupe Chazy,
- des dolomies et des calcaires du Groupe Black River,
- des calcaires du Groupe Trenton,
- du shale d'Utica,
- des ardoises et des silstones du Groupe de Sainte-Rosalie (Ordovicien moyen),
- des shales, des grès et calcaires du Groupe de Lorraine
- des shales rouges et grès du Queenston (Ordovicien supérieur)

L'ensemble de ces formations sédimentaires est montré sur la figure 6-3 et dans le tableau 6-1. Des cartes des roches sédimentaires de la Plate-forme du Saint-Laurent ont été proposées par Clark et Globensky (1976) et Globensky (1987) dans la région des Basses-Terres du Saint-Laurent. Plus récemment, dans le cadre d'une étude de terrain pour la séquestration du CO₂, Comeau et al. (2013) et Konstantinovskaya et Malo (2010a) ont réalisé une compilation des données disponibles et une caractérisation des Basses-Terres. Basé sur des observations de terrain, Konstantinovskaya et Malo (2010) ont décrit le contexte lithostratigraphique et la structure des Basses-Terres dans les régions de Joliette, de Trois-Rivières et de Nicolet. Basé sur l'étude des diagrphies, des retailles de forage et les carottes de 270 anciens puits d'exploration pétrolière et gazière (disponibles au ministère des Ressources naturelles du Québec) ainsi que la réinterprétation et l'uniformisation de 79 diagrphies, Comeau et al. (2013) ont réalisé une caractérisation uniformisée des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Le calcaire gris est exploité dans le secteur de Joliette pour le dallage, les pavés et les murs de soutènement (figure 6-4).

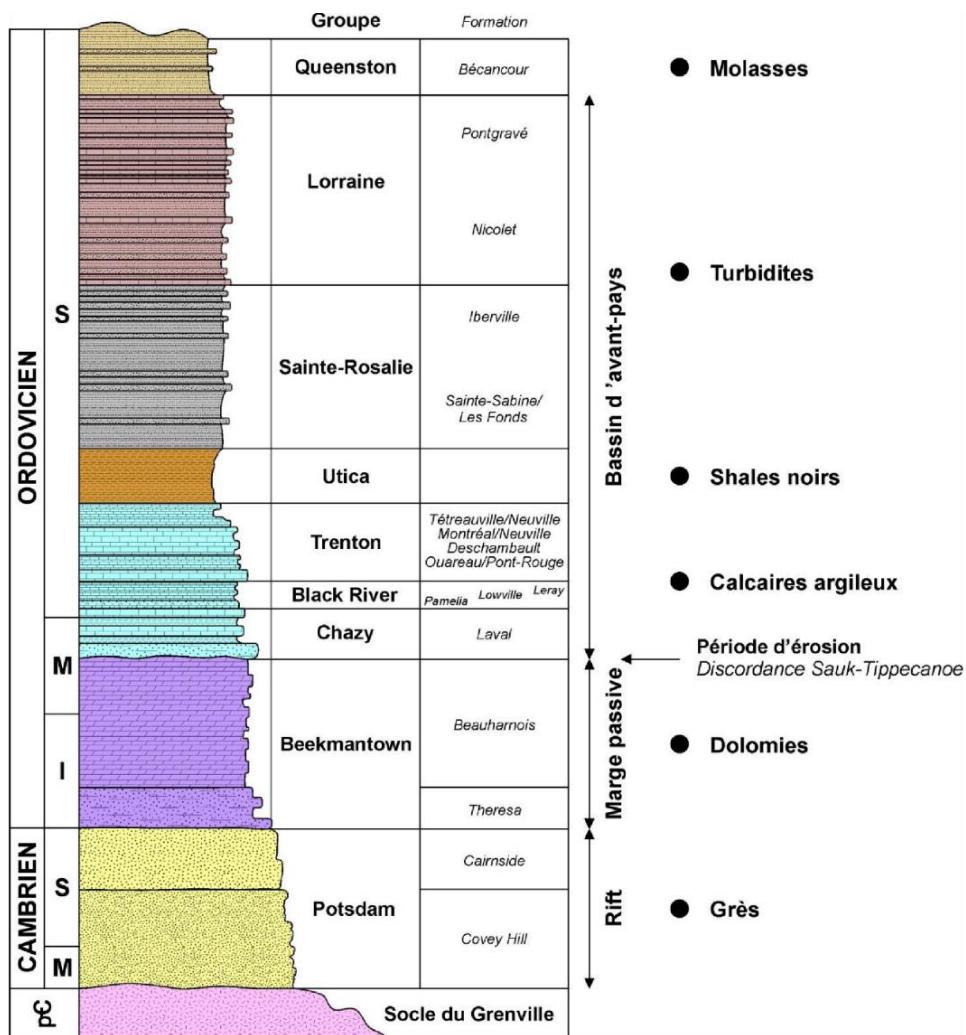


Figure 6-3 : Colonne stratigraphique de la Plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent (Comeau et al., 2013).

La **carte #13 : Géologie du roc** présente la géologie du territoire de Lanaudière à l'échelle 1 : 150 000 et résulte de l'intégration par le CERM de l'information disponible sur le SIGÉOM (MRN, 2018). Les unités lithologiques ont été regroupées dans certains cas afin de simplifier la représentation et de permettre la fusion de polygones contigus présents dans le SIGEOM. Lors des regroupements, les éléments descriptifs (codes lithologiques) ont ainsi été réunis pour constituer des unités cohérentes. La géologie grenvillienne du territoire de Lanaudière comprend plusieurs ensembles lithologiques variés, mais dont les principaux sont présentés ci-dessous par ordre stratigraphique, du plus vieux au plus récent :

- 1) Un complexe gneissique constitué des roches les plus anciennes de la région et composé de roches métamorphiques de type migmatite, paragneiss et gneiss.
- 2) Des unités de roches métasédimentaires et métavolcaniques composées d'amphibolite, de quartzite, de marbres et de roches calco-silicatées
- 3) Des unités d'intrusions mafiques et ultramafiques mises en place profondément dans la croûte; elles sont composées de leucotroctolite, de gabro et d'anorthosite

- 4) Des unités d'intrusions felsiques de type syénite, monzonite, granite et mangérite
- 5) Et finalement des roches sédimentaires stratifiées correspondant à des unités de grès, de shale et de calcaire micritiques et silicoclastiques en alternance sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Ces unités sont principalement retrouvées dans les Basses-Terres du Saint-Laurent.

Quelques carrières exploitent les roches du Bouclier canadien sur le territoire de Lanaudière (figure 6-4). Les couleurs mauves et bleues sur la figure 6-4 représentent respectivement les roches de la province de Grenville et de la Plate-forme du Saint-Laurent. Entre autres, le gneiss rose est exploité pour la pierre d'aménagement paysager à Saint-Donat-de-Montcalm. Notons la présence d'un récent projet d'exploitation minière à Saint-Michel-des-Saints, à savoir l'exploitation de graphite. Cette exploitation devrait débuter dans le courant de l'année 2023 et devrait durer au moins 25 ans.

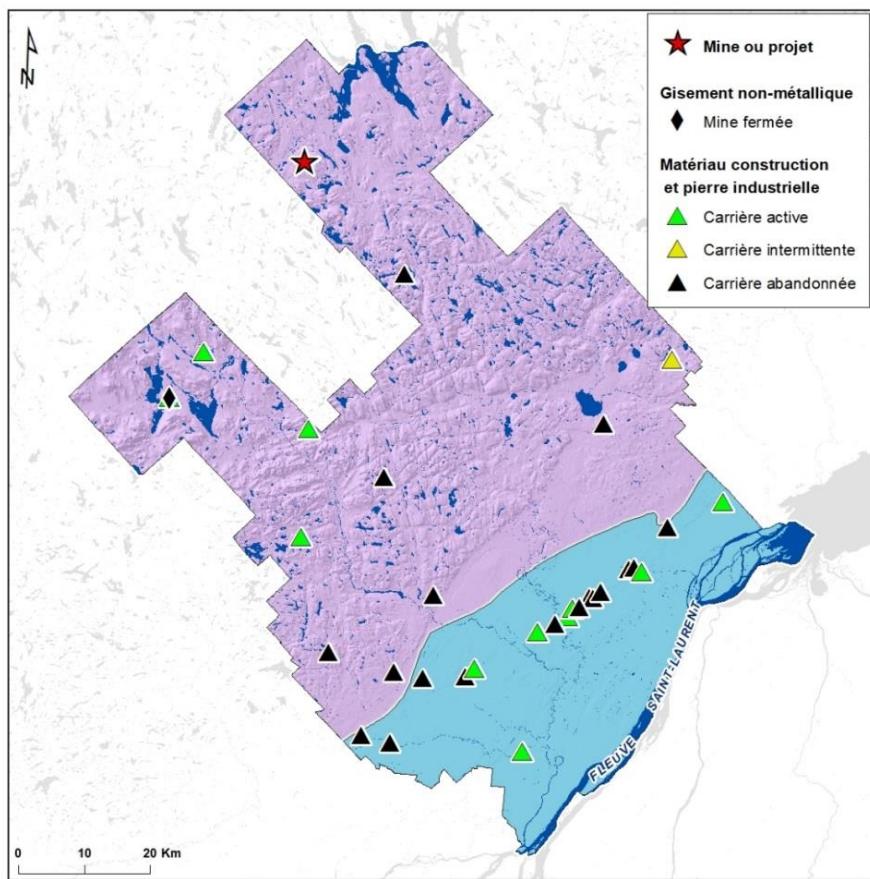
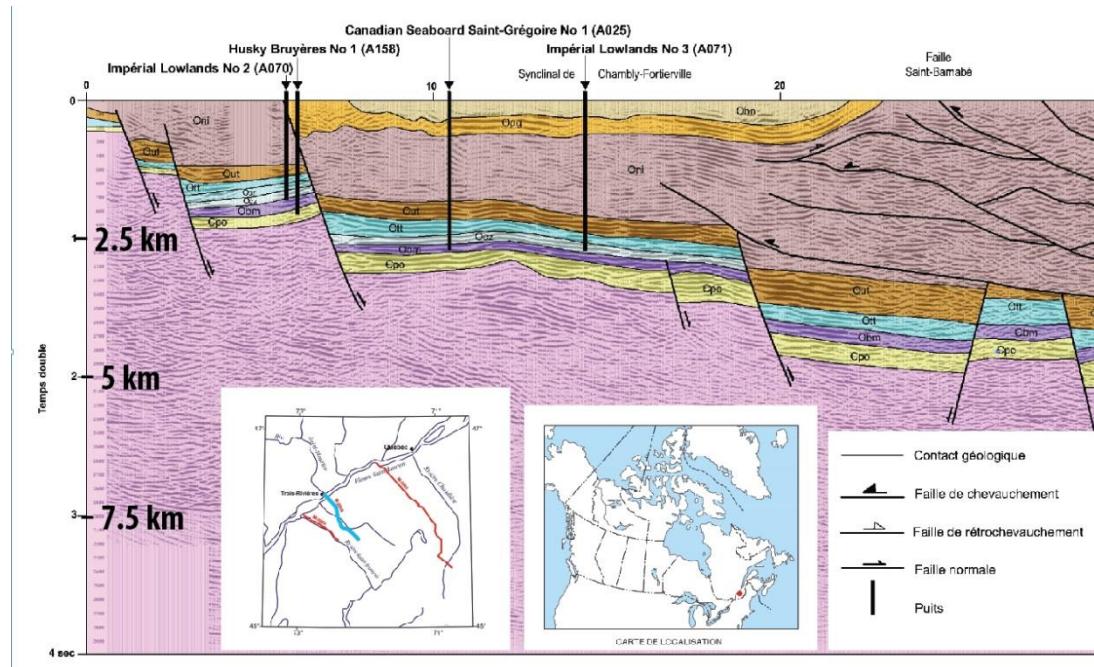


Figure 6-4 : Carte de la localisation des carrières et des mines. Source SIGÉOM 2018, MERN.

Caractérisation structurale des failles de la région

D'un point de vue structural, les roches précambriques et sédimentaires au sein du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent sont affectées par une série de failles normales orientées selon un axe NE-SO et inclinées vers le SE, ou selon un réseau secondaire orienté le long d'un axe E-O. L'interprétation structurale réalisée dans le cadre du PACES a aussi permis de mettre en évidence des familles de linéaments ondulants interprétés comme des structures ductiles. Ces structures ductiles marquent généralement le contact entre des masses plutoniques qui constituent le Bouclier canadien (roches ignées et métamorphiques grenvilliennes des Hautes-Terres) ou encore certains couloirs de déformation très anciens. Les roches de la province de Grenville sont soit en contact

de faille normale, soit en discordance angulaire sous les roches paléozoïques de la Plate-forme du Saint-Laurent (Globensky, 1987). Un exemple de relation entre les roches du socle précamalien et les roches sédimentaires de la Plate-forme du Saint-Laurent est montré à la figure 6-5 tirée de Castonguay et al. (2006) et par un bloc-diagramme présenté à la figure 6-6. Ces failles normales sont associées à l'ouverture du rift continental et à l'ouverture de l'océan Iapetus qui s'est étendu du Néoproterozoic tardif au Cambrian inférieur selon St-Julien et Hubert (1975) ou, il y a 613-614 Ma selon O'Brien et van der Pluijm (2012). Ces failles sont restées actives pendant l'ouverture de l'océan puis ont été réactivées lors de deux événements géologiques majeurs : l'orogenèse appalachienne, il y a environ 120 Ma (Globensky, 1987 ; Lemieux et al., 2003 ; Tremblay et al., 2003) et l'ouverture de l'océan Atlantique (Lemieux et al., 2003 ; Tremblay et al., 2003). Ces failles démarrent dans le socle précamalien et affectent les roches sédimentaires (figure 6-8).



Légende

PROVINCE DE GRENVILLE (Archéen à Protérozoïque) :

Aeav Gneiss; amphibolite; mangérite

PLATE-FORME DU SAINT-LAURENT

Groupe de Queenston

Obn Formation de Bécancour (Ordovicien supérieur) : Grès et shale rouge; grès vert

Groupe de Lorraine

Opg Formation de Pontgravé (Ordovicien supérieur) : Calcaire; shale, grès gris-vert.

Oni Formation de Nicolet (Ordovicien supérieur) : Sable; grès; calcaire gréseux

Otf Formation de Les Fondes (Ordovicien supérieur) : Ardoise; ardoise dolomitique

Out Shale d'Utica (Ordovicien supérieur) : Shale; shale calcareux

Ott Groupe de Trenton (Ordovicien supérieur) : Calcaire; shale calcareux (quand non-différencié peut inclure le Chazy et/ou le Black River)

Obr Groupe de Black River (Ordovicien supérieur) : Calcaire; dolomite; grès

Ocz Group de Chazy (Ordovicien moyen) : Calcaire; shale; grès

Obm Groupe de Beekmantown (Ordovicien inférieur à moyen) : Dolomie; Grès

Cpo Groupe de Potsdam (Cambrien moyen à supérieur) : Grès; Conglomérat

ZONE DE HUMBER

Omre

Mélange de la Rivière Etchemin (Ordovicien moyen à supérieur) : Mélange tectonique et sédimentaire (olistostrome); shale et mudstone à blocs polygéniques

Odru

Mélange de Drummondville (Ordovicien moyen) : Mélange tectonique et sédimentaire (olistostrome); shale et mudstone à blocs polygéniques

Obs

Formation de Bullstrode (Ordovicien moyen) : Mudstone vert, gris et rouge; grès dolomitique

Obt

Formation de Bourret (Ordovicien moyen) : Schiste argileux; ardoise; calcaire argileux; grès; conglomerat

Old

Formation de La Citadelle (Ordovicien inférieur à moyen) : Calcaire argileux; shale calcareux; shale; conglomerat polymictique

Esi

Groupe de Sillery (Cambrien inférieur à moyen) : Schiste argileux; grès; conglomerat

Cfv

Volcanites de St-Flavien (Cambrien) : Basalte et gabbro

Figure 6-5 : Profil de sismique réflexion dans les Basses-Terres du Saint-Laurent montrant la configuration des failles normales et la séquence stratigraphique des roches sédimentaires, le long du tracé de la coupe en bleu. Source : modifié de Castonguay et al. (2006).

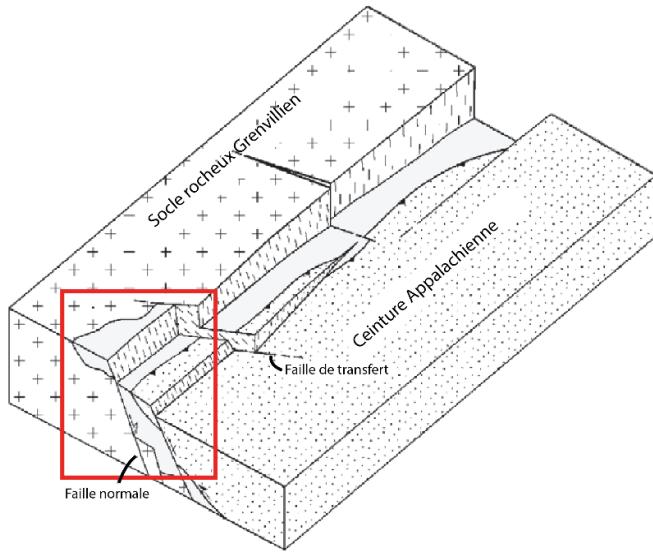


Figure 6-6 : Bloc diagramme 3D du système de rift du Saint-Laurent entre Québec et l'estuaire du Saint-Laurent, modifié de Tremblay et al. (2003). L'encadré rouge cible la région du rift qui est assimilable aux conditions rencontrées sur le territoire de Lanaudière au niveau de la faille de Saint-Cuthbert.

Dans la région de Lanaudière, les principales failles normales sont :

- la faille de New-Glasgow ;
- la faille de Sainte-Julienne (aussi appelée faille de Rawdon ou faille de Saint-Maurice) ;
- la faille de Joliette ;
- la faille de Saint-Cuthbert (figure 6-7, figure 6-8, figure 6-6).

La faille de Sainte-Julienne est bien connue à l'est de la région de Lanaudière où elle est marquée par un escarpement bien visible orienté environ N25-E et qui traverse Saint-Julienne et Bissonnette. À l'ouest du territoire de Lanaudière, cette faille marque le contact entre les roches précambriques et les roches ordoviciennes (Clark 1954 cité par Osborne et Clark 1960).

À l'est du territoire, la zone de contact entre le socle précambrien et les roches sédimentaires de l'Ordovicien se situe à l'est de la faille de Saint-Cuthbert (Nadeau et Brouillet, 1995). Ce contact de faille normale est schématisé sur la figure 6-8 et la figure 6-6.

La réactivation inverse des failles normales orientées vers le sud-est a été associée au raccourcissement taconien, la première phase de la formation des Appalaches (Faure et al., 2004 ; Konstantinovskaya et al., 2009).

La campagne de terrain de Clark et Globensky (1976a, 1976b) a permis de suivre les indices du prolongement de la faille de Saint-Cuthbert dans le SE du territoire de Lanaudière (notamment grâce aux affleurements observés dans les rivières du Chicot, Bayonne, la Chaloupe, l'Assomption le long de la crête de Joliette et dans les carrières. Au sud-ouest de Joliette, la faille de Saint-Cuthbert est située dans les calcaires du Trenton avec un déplacement estimé à 131 m (Clark et Globensky, 1976b). Selon la campagne de terrain de Konstantinovskaya et Malo (2010), le jeu inverse à cet endroit de la faille a induit un redressement des couches du Tétrauville avec un pendage de 20° vers le SE sur le flanc SE de la faille. Le pendage des strates de la région étant de 0° à 5° vers le SE. Au niveau du centre du segment de la faille, celle-ci sépare les couches gréseuses des couches calcareuses avec un déplacement estimé à 147 m au niveau de la rivière Bayonne et 298 m au niveau de la rivière Chicot (Clark et Globensky, 1976b). Au NE, au niveau des chutes de la rivière Maskinongé, la faille de Saint-Cuthbert

sépare le socle précamalien (composé de gneiss et de quartzites) et les roches ordoviciennes composées des grès dolomitiques du Beekmantown. À cet endroit, le déplacement le long de la faille est estimé à 367 m (Clark et Globensky, 1976b).

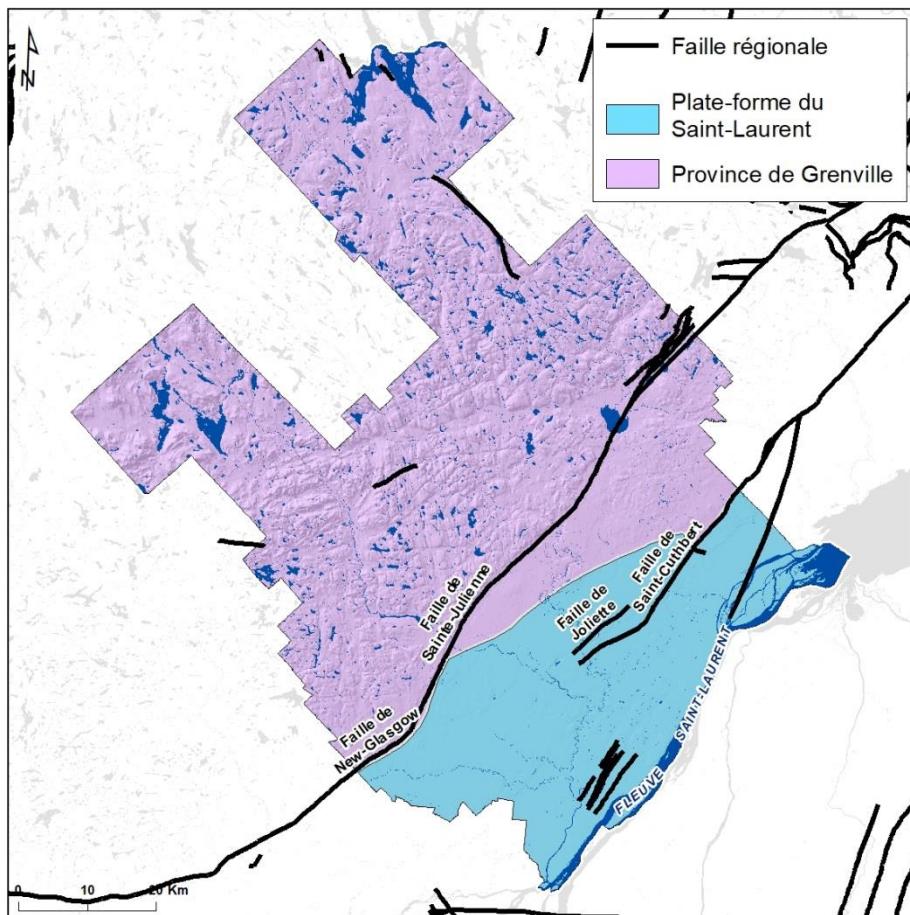


Figure 6-7 : Carte de localisation des principales failles de la région.

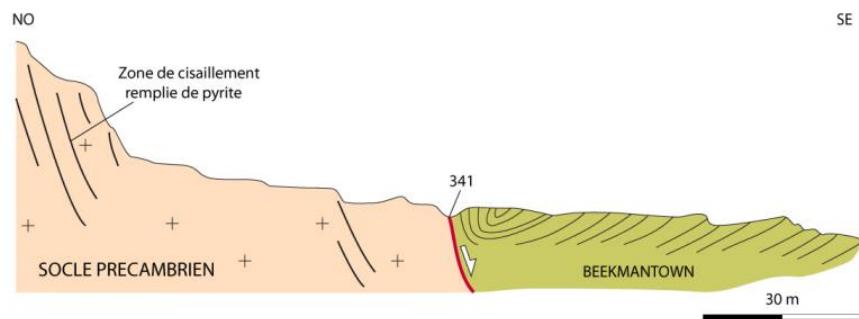


Figure 6-8 : Coupe schématique de la faille de Saint-Cuthbert, au niveau des chutes de Sainte-Ursule, modifié de Clark et Globensky (1976a) par Konstantinovskaya et Malo (2010). Le numéro 341 indique la localisation de quartzites mylonitiques.

Ressources gazières

Le Shale d'Utica constitue une formation composée de shales calcaieux avec de minces inter-lits de calcaire. Cette formation est particulièrement riche en gaz naturel et elle s'étend sur près de 10 000 km² (Thériault, 2012). Les matériaux glaciaires recouvrant la roche de fond sont également riches en gaz naturel (Clark et

Globensky, 1976a). Ce gaz dans les dépôts quaternaires est cependant très peu exploité actuellement. Une exploitation commerciale du gaz naturel a eu lieu en 1905 à Louiseville par la compagnie Canadian Gas and Oil Co. Durant les années 1960, environ 80 puits d'exploration ont été forés dans la région de Trois-Rivières permettant de découvrir un petit gisement près de Pointe-du-Lac. La carte présentée par Simard (1959) ainsi que le rapport de Deblois (1959) recueillent la plupart des informations (nom, log stratigraphique, position, date de création, etc.) des puits forés pour l'exploitation du gaz et du pétrole jusqu'à la fin de l'année 1958 dans la région des Basses-Terres du Saint-Laurent.

6.2 Géologie du Quaternaire

La compréhension de l'hydrogéologie à l'échelle régionale requiert une bonne compréhension de la configuration stratigraphique des dépôts meubles, que ce soit en surface ou en profondeur. La **carte #12 : Géologie du Quaternaire** présente la répartition en surface des différents types de dépôts meubles. Cette carte a été établie suite à la combinaison des cartes à l'échelle 1 : 50 000 créées dans le cadre des travaux de cartographie de l'UQAM (Hardy *et al.*, 2018). Une revue de littérature sur la stratigraphie des dépôts quaternaires a été réalisée par LaSalle (1985). Une cartographie des dépôts quaternaires a été proposée par Tremblay (1957, 1977) dans la région de Rawdon et de Sainte-Agathe-des-Monts. Enfin, Fleury (2008) a réalisé une étude de la géomorphologie glaciaire et de la paléogéographie quaternaire dans la région de Saint-Michel-des-Saints. Son étude comprend entre autres une cartographie des marques d'érosion et d'accumulation glaciaire, une analyse de la stratigraphie et de la sédimentologie des dépôts meubles quaternaires (ex. dépôts fluvioglaciaires, paléo-deltas, rythmites, varves, etc.). La figure 6-9 montre la répartition des stations d'observation de la géologie du quaternaire visitées par l'équipe de cartographie de l'UQAM entre 2017 et 2019.

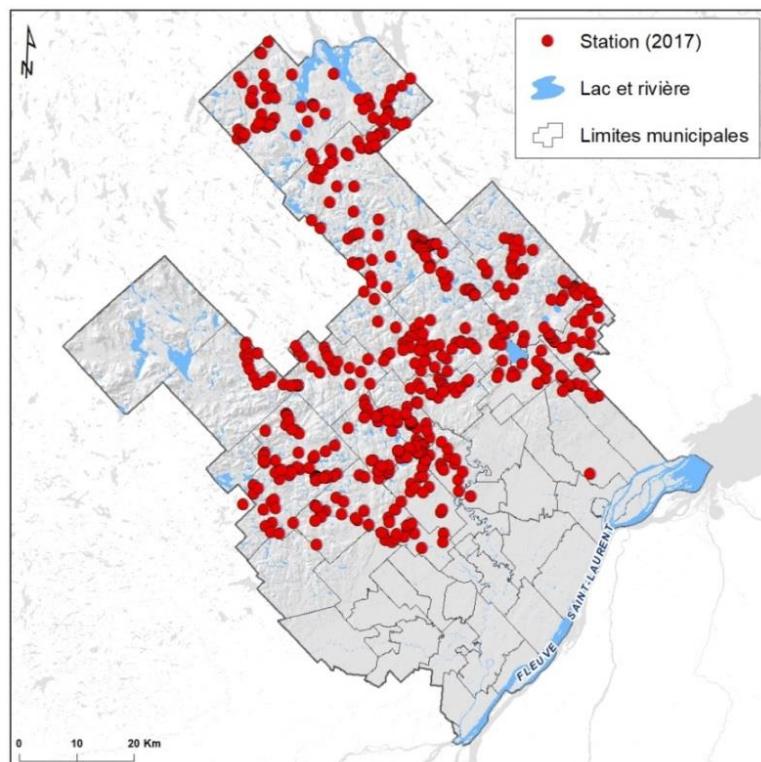


Figure 6-9 : Stations visitées par l'équipe de l'UQAM à l'été 2017 dans le cadre du projet de cartographie des dépôts de surface.

Les principaux types de sédiments de la carte #12 sont détaillés ci-dessous en situant les unités sédimentaires par rapport aux grands événements géologiques du Quaternaire (englaciation/déglaçation, invasion marine).

Au Québec, la plupart des dépôts de surface sont hérités de la dernière phase de glaciation, celle du Wisconsinien, qui a eu lieu entre 80 000 et 10 000 ans. Durant cette période, un glacier continental, dont l'épaisseur pouvait atteindre 2 km, recouvrait la majeure partie du Canada. Une carte glaciaire du Canada à l'échelle 1/5 000 000 a été proposée par Prest et al. (1970). Associé à ce dernier épisode glaciaire, une grande variété de dépôts meubles façonne le paysage quaternaire avec des natures, des origines, des tailles et des compositions différentes. Lors de son avancée glaciaire, l'inlandsis a déposé un till de fond et d'ablation sur la roche en place. On retrouve également des dépôts glaciaires, fluvioglaciaires et glaciolacustres.

En plus d'avoir mis en place la majeure partie des dépôts meubles, les glaciers ont fortement modelé le relief du Bouclier canadien et des Basses-Terres du Saint-Laurent, érodant les montagnes anciennement présentes et laissant derrière eux des traces de leur passage telles que des roches moutonnées, drumlins, des stries glaciaires, des vallées glaciaires et des creusements plus prononcés au niveau des zones plus intensément fracturées. Pour plus de détails et des photos des différentes unités de dépôts de surface d'âge Quaternaire rencontrées sur le territoire de Lanaudière, les lecteurs sont invités à consulter le rapport du MERN disponible sur la plate-forme SIGEOM du ministère⁹. La suite du texte présente les principales caractéristiques de ces unités quaternaires, et les grandes lignes des processus à l'origine de leur mise en place.

6.2.1 Les sédiments glaciaires (Tc, Tm)

Bien que paraissant inertes, les glaciers sont des masses de glace en mouvement. Lors de ces mouvements, les glaciers broient, arrachent et transportent la roche. Les dépôts glaciaires sont constitués de sédiments non stratifiés et de granulométrie généralement très hétérogène. Lors de son retrait définitif, le glacier continental a laissé sur place une moraine de fond, également nommée till. Ces sédiments qui se sont accumulés sous le glacier actif sont très compacts, ce qui en fait de mauvais aquifères. Le till d'ablation provient d'une couche de débris qui s'est accumulée à la surface du glacier et qui a ensuite été déposée à la surface du sol à la fonte du glacier. D'après la carte #12, le till est observé sur la majeure partie du territoire. Il constitue la sous-couche des formations meubles et apparaît en couverture discontinue sur le roc affleurant. Notons la présence de plusieurs buttons de tills dans le secteur des Basses-Terres. Ces buttons émergent de la plaine argileuse et ont selon toutes vraisemblances été préservés depuis la disparition des glaciers, il y a environ 10 000 ans.

6.2.2 Les sédiments fluvioglaciaires (Gx, GxT, Go)

Les dépôts fluvioglaciaires font partie des meilleurs aquifères granulaires. Ces sédiments ont été déposés par des eaux de fonte glaciaires, sont généralement stratifiés et sont constitués de matériaux grossiers (sable, graviers, galets et blocs) et peu compacts, les particules fines ayant été emportées par les eaux de fonte. Comme montré sur la carte #12 les dépôts fluvioglaciaires apparaissent localement en surface. On les retrouve, entre autres, le long des vallées empruntées par les rivières par exemple dans le fond de la vallée de l'Assomption et de la Ouareau. Le long de ces rivières, il existe un lien hydraulique entre les eaux de surface et d'excellents aquifères dans les dépôts fluvioglaciaires.

Parmi les sédiments juxtaglaciaires (Gx), on retrouve les **eskers** qui sont des crêtes étroites et allongées composées de sable et gravier stratifiés. La crête peut être sinuose ou rectiligne et elle peut être observée sur

⁹ <https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/>

quelques mètres à quelques kilomètres de long (Levasseur, 1995). Les eskers ont été mis en place par l'eau de fonte le long de tunnels intra-glaciaires. Ils constituent d'excellents aquifères et sont une source importante de granulats. Lors de son relevé cartographique des sédiments meubles de la région de Joliette-Sorel, LaSalle (1973) n'avait pas observé d'esker. Il affirme cependant que des eskers peuvent être présents sous les argiles marines. En revanche, Tremblay (1977) a observé quelques eskers (pouvant atteindre 1 à 2 km de long) par photo-interprétation dans la région de Sainte-Agathe-des-Monts. Fleury (2008) a également cartographié des drumlins et des eskers dans la région de Saint-Michel-des-Saints. La figure 6-10 présente un bloc-diagramme de ces formations géologiques.

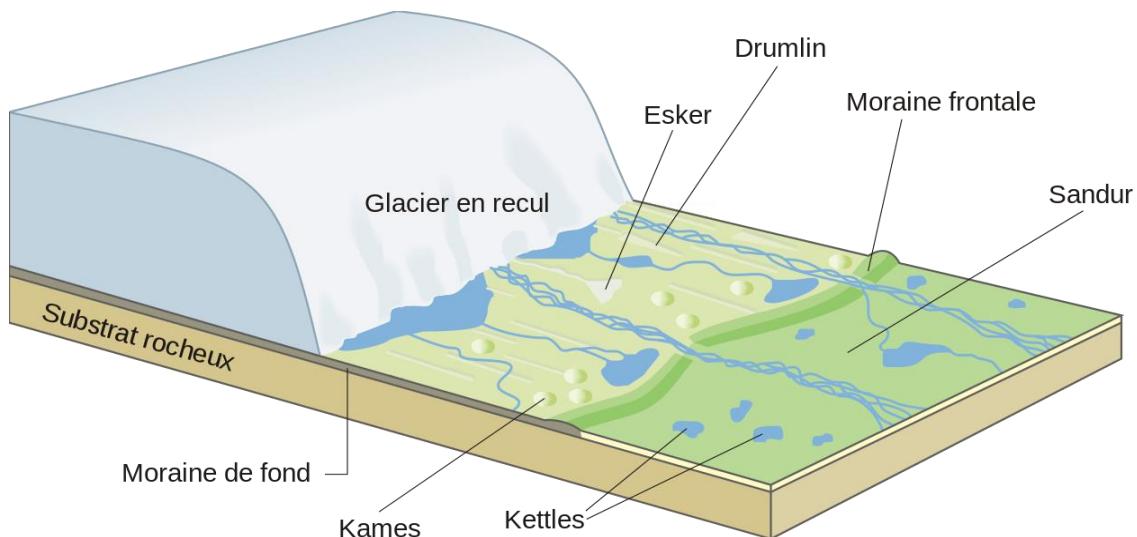


Figure 6-10 : Bloc diagramme des différentes formations glaciaires (Benítez, 2005).

Sur le territoire de Lanaudière, les sédiments de moraine frontale (GxT) sont notamment associés à la **moraine de Saint-Narcisse**. Cette moraine est une formation majeure qui s'étend sur plus de 500 km et dont l'âge se situe entre 10 700 et 10 500 BP (12,7-12,4 ka cal.) (Daigneault et Occhietti, 2006). Cette moraine frontale est un cordon composé de sédiments non stratifiés et très hétérogènes qui se sont formés à l'avant du glacier. Elle traduit le retrait de l'inlandsis (glacier continental) après une réavancée ou une stabilisation glaciaire sur les sédiments marins (Béland, 1953). Dans la région de Lanaudière, elle a été cartographiée notamment par Denis (1976a) qui a fait une cartographie de la géologie du quaternaire dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon. La moraine de Saint-Narcisse peut constituer un aquifère intéressant.

Le complexe morainique de Saint-Narcisse a fait l'objet de nombreux travaux. Denis (1976b, 1976a) a réalisé une coupe (basée sur 7 forages) et une cartographie de la moraine de Saint-Narcisse dans la région de Saint-Gabriel-de-Brandon. Selon les observations cartographiques de Grenier et Denis (1974), la moraine de Saint-Narcisse atteint une hauteur moyenne de 15 m et une largeur de 250 m tel que présenté dans leur étude hydrogéomorphologique de la région du lac Maskinongé. Elle forme un arc de cercle entre Saint-Didace et Saint-Damien et s'exprime par endroit par un bourrelet morainique plus ou moins continu ou de buttes morainiques. Enfin, en se basant sur la synthèse de données collectées sur la moraine de Saint-Narcisse sur une quarantaine d'années dans diverses régions du Québec (vallée de Saint-Maurice, bassin du lac Simon, Saguenay, Charlevoix, Outaouais) et dans d'Ontario (parc national Algonquin), Occhietti (1990) propose un tracé de la moraine de

Saint-Narcisse. Girard (2001) a réalisé une campagne de forages afin de déterminer l'extension souterraine de la moraine de Saint-Narcisse dans la région de Saint-Raymond de Portneuf.

6.2.3 Les sédiments glaciolacustres (LGb) et lacustres

Les sédiments glaciolacustres sont l'héritage d'anciens lacs proglaciaires produits par la fonte de la glace. Certains lacs ont pu se former sur le glacier ou être mis en place par des barrières de glace.

Les sédiments lacustres ont un faciès qui ressemble à ceux des sédiments glaciolacustres et marins. Ces formations sont composées de sédiments fins et compacts mis en place dans des eaux calmes. Ces formations sont donc peu perméables et constituent généralement de mauvais aquifères.

Suite au retrait de la mer de Champlain forcé par la remontée isostatique de la croûte terrestre, un lac distal d'eau douce (lac Lampsilis) alimenté par les eaux de fonte de la marge glaciaire plus au nord, s'est étendu le long du fleuve Saint-Laurent (MacPherson, 1967 ; Parent et Occhietti, 1999). Le lac Lampsilis couvrait, à son apogée, une superficie équivalente à celle du lac Huron et s'étendait de Kingston (en Ontario) jusqu'à Québec. Sur le territoire d'étude, la présence de ce lac Lampsilis se traduit par divers niveaux de terrasses associés à un ralentissement du relèvement isostatique. Ce lac aurait subi trois phases de régression avant de devenir le fleuve Saint-Laurent tel qu'il est observé aujourd'hui : le stade Rigaud il y a 11 000 ans (60 m d'altitude), le stade de Montréal, il y a 8 800 ans (30 m d'altitude) et le stade de Saint-Barthélemy, il y a 8 400 ans (15 m d'altitude) (Bellavance, 2012 ; Pagé, 1999). Postérieurement au stade de Saint-Barthélemy, des terrasses inférieures à 15 m d'altitude ont été déposées.

6.2.4 Les sédiments glaciomarins (MGa, MGb, MGd)

Étant donné que l'invasion marine dans les terres a commencé lors de la fonte du glacier, des complexes deltaïques, composés principalement de sable et gravier, ont été mis en place entre le glacier et la mer de Champlain. Ces formations sont perméables et peuvent constituer des aquifères intéressants.

6.2.5 Les sédiments marins (Ma, Mb)

Les sédiments marins sont composés de dépôts s'accumulant dans une eau profonde et calme : les silts et les argiles (très peu perméables voire quasi-imperméables) ainsi que des dépôts associés à des plages de sable et de galets. La localisation de ces argiles est pertinente en hydrogéologie, car, lorsqu'elles forment un horizon suffisamment épais, elles constituent une couche imperméable ou quasi-imperméable empêchant la recharge ou l'infiltration d'éventuelles contaminations de surface vers les aquifères sous-jacents. Les aquifères sous-jacents à cette couche sont des aquifères à nappe captive ou semi-captive (Chapuis et Saucier, 2013).

Tel qu'expliqué précédemment, le retrait glaciaire a permis une invasion marine de la mer de Champlain jusqu'à la hauteur de Québec et de Montréal. Dans le secteur de Saint-Gabriel-de-Brandon, Denis (1972) a cartographié des argiles grises interstratifiées de limon formant une épaisse formation imperméable. Selon ses observations, les argiles de la mer de Champlain seraient déposées dans les vallées de Maskinongé et du Loup jusqu'à une altitude d'environ 168 mètres. Prichonnet (1977) observe que dans les Laurentides au nord de Montréal, l'altitude maximale où on retrouve des argiles marines atteint 228 m et elle atteint 251 m dans certains sites des Laurentides au nord de Montréal. Les dépôts marins se retrouvent plus profondément à l'intérieur des vallées des rivières qui confluent dans le fleuve Saint-Laurent. Prichonnet (1977) affirme que des formations

silteuses rythmiques se retrouvent à une altitude atteignant 231 m dans la vallée de la rivière Ouareau et que des sables rythmiques se retrouvent à une altitude de 228 m dans la région du lac Noir.

6.2.6 Les sédiments alluviaux (Ax, Ap)

Les sédiments alluviaux ont été mis en place par les cours d'eau actuels. Ils constituent des formations perméables, mais souvent de faible épaisseur.

6.3 Coupes stratigraphiques

Sur le territoire municipalisé de Lanaudière, **43** coupes stratigraphiques (figure 6-11) ont été interprétées. La **carte #14 : Localisation des coupes stratigraphiques** présente la localisation de chacune des 43 coupes stratigraphiques alors que les interprétations en coupe sont disponibles à l'annexe numérique AN 2.

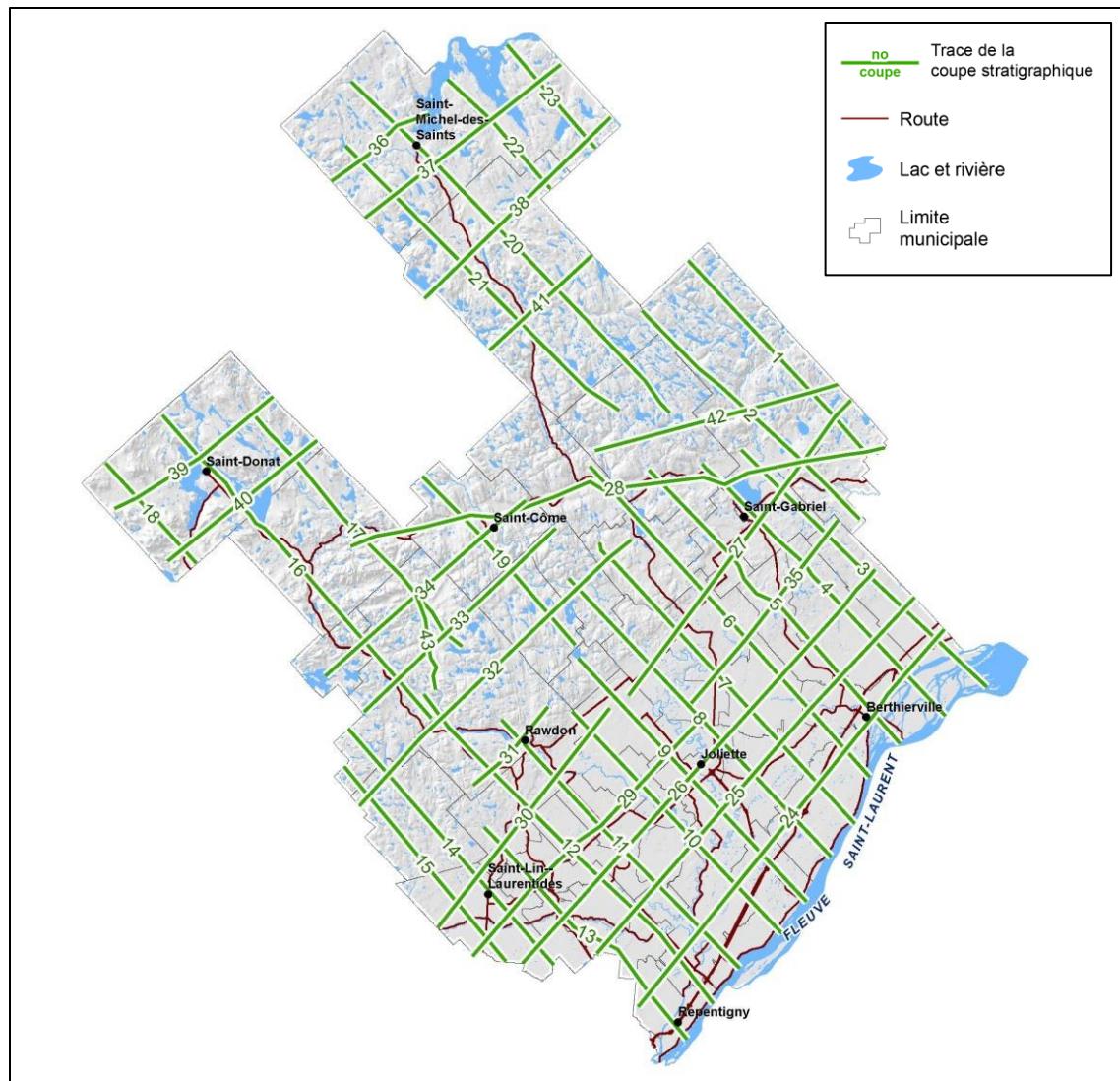


Figure 6-11 : Localisation des 43 coupes stratigraphiques interprétées sur l'ensemble du territoire d'étude.

Deux objectifs sont visés et expliquent cette production importante de coupes stratigraphiques au cours du projet PACES:

1. Mieux définir les limites et l'épaisseur des aquifères granulaires non visibles en surface et devant figurer sur la **carte #18b – Limites régionales des milieux aquifères des dépôts meubles**.
2. Améliorer le jeu de données sources nécessaire à la création de la **carte #15 : Épaisseur des dépôts meubles** et de la **carte #16 : Topographie du roc**, en augmentant la quantité de données sources et en améliorant leur distribution spatiale.

En effet, la principale source d'information indiquant l'épaisseur des dépôts est une donnée ponctuelle correspondant soit à des puits ou des forages. Ces données sont présentes en grande quantité sur le territoire à l'étude, mais elles affichent une mauvaise distribution spatiale puisqu'elles sont regroupées en grappe près des agglomérations. Or, la qualité de l'interpolation, et par le fait même le résultat de la modélisation, est directement dépendante de la quantité de données sources et de leur distribution spatiale (McCormack *et al.*, 2011). Un jeu de données affichant une distribution spatiale régulière permet d'obtenir un résultat plus précis qu'un jeu affichant une distribution en grappe. La quantité et la distribution spatiale des données deviennent deux éléments encore plus importants lorsque le phénomène à modéliser est accidenté, c'est-à-dire qu'il varie de façon abrupte et imprévisible comme pour la topographie du roc.

La méthodologie suivie pour générer les 43 coupes stratigraphiques compte six étapes :

1. Simplification de l'information;
2. Identification des données sources;
3. Projection des stations sélectionnées dans une vue en coupe;
4. Interprétation des unités géologiques dans les coupes;
5. Mise en forme finale de la coupe stratigraphique et;
6. Création des diagrammes barrières.

Chacune de ces étapes fait ici l'objet d'une sous-section.

6.3.1 Simplification de l'information stratigraphique

La *carte #13 : Géologie du roc* comprend une quinzaine de lithologies. Ces lithologies sont regroupées en deux grands groupes pour faciliter l'interprétation des coupes stratigraphiques : les roches cristallines et les roches sédimentaires ordoviciennes de la Plate-Forme du Saint-Laurent.

La *carte #12 : Géologie du Quaternaire* présente les dépôts de surface sur la base de leur genèse telle que proposée par la légende de la Commission géologique du Canada (Parent *et al.*, 2010). Ainsi, les sédiments cartographiés proviennent de différentes origines de dépôts, notamment les sédiments glaciaires, fluvioglaciaires, marins, alluviaux et organiques pour en nommer quelques-uns. La composition granulométrique de ces dépôts passe des sédiments fins (argile et silt) à des sables et graviers; c'est sur la base de la granulométrie observée que la simplification des dépôts s'effectue. La simplification des dépôts a été répartie en six catégories distinctes :

- le **till** inclut les tills continus et les tills minces associés à des sédiments glaciaires;
- les **graviers** et sables incluent principalement les sédiments fluvioglaciaires, notamment ceux des moraines de Saint-Narcisse, des dépôts d'épandage et de petits eskers;
- l'**argile** et le **silt** inclut les sédiments fins tels que glaciomarins, marins et lacustres déposés en eau profonde;

- les **sables** et graviers **indifférenciés** incluent les sédiments glaciolacustres, glaciomarins et marins déposés en eau peu profonde et alluviaux;
- les dépôts du **Quaternaire ancien** sont présents dans les régions annexes et utilisés localement dans Lanaudière pour expliquer des incongruités stratigraphiques locales;
- les **sédiments organiques** sont présents en couches minces à la surface.

6.3.2 Identification des données sources

Les données utilisées pour créer les coupes stratigraphiques sont :

- les données stratigraphiques simplifiées obtenues pour les stations (puits, forages, levés géophysiques, etc.);
- les affleurements rocheux;
- la géologie du roc et les failles régionales (*carte #13 : Géologie du roc*);
- les dépôts de surface (*carte #12 : Géologie du Quaternaire*);
- la topographie de la surface du terrain (*carte #3 : Modèle numérique de terrain*);
- le réseau hydrographique (*carte #5 : Hydrographie*);
- la topographie préliminaire¹⁰ du roc;
- la localisation de l'intersection avec des coupes stratigraphiques.

6.3.3 Projection des stations dans une vue en coupe

La sélection des points de contrôle (stations et affleurements) des coupes stratigraphiques s'effectue manuellement dans l'interface *ArcMap d'ArcGIS Desktop* de la compagnie *ESRI*. Le tableau 6-2 présente les proportions des stations projetées pour l'interprétation des coupes stratigraphiques selon leur source.

Tableau 6-2 : Proportion des stations projetées pour l'interprétation des coupes stratigraphiques selon leur source.

Sources de la station	Nb de stations projetées	% de stations utilisées
MTQ	17	2%
PACES-LAMEMCN (Forages)	3	<1%
Projet Quaternaire	47	5%
Rapport hydrogéologique	128	13%
SIGEOM (Forages)	5	<1%
SIGEOM (Affleurements)	81	8%
SIGPEG	14	1%
SIH	726	71%
TOTAL	1 021	

Les stations sont sélectionnées selon différents critères tels que leur proximité de la coupe, leur fiabilité principalement liée à leur source (consultant, PACES, MTQ, SIH, etc.), leur profondeur, l'indication du roc et leur cohérence avec les stations situées à proximité. Les forages réalisés dans le cadre du PACES ont bien entendu

¹⁰ La topographie préliminaire du roc est estimée à partir l'élévation indiquée par les stations, les affleurements et les dépôts minces de till.

été sélectionnés. Le forage LA-F01, par exemple, a été utile lors de l'interprétation puisqu'il indique la discordance entre les roches sédimentaires et le socle rocheux cristallin au niveau de la faille de Saint-Cuthbert.

Les points sélectionnés sont ensuite projetés dans une vue en coupe grâce aux fonctionnalités du module *Subsurface Analyst* du logiciel *Arc Hydro Groundwater* de la compagnie *Aquaveo*. Pour faciliter l'interprétation des unités géologiques dans la vue en coupe, un gabarit a été créé à partir du système d'information géographique (SIG) *ArcGIS 10.1 d'ESRI* (figure 6-12). Ce gabarit inclut :

- la localisation de la coupe sur les trois cartes suivantes :
 - le modèle numérique d'altitude (*carte #3 : Modèle numérique de terrain*);
 - la carte de la géologie du Quaternaire (*carte #12 : Géologie du Quaternaire*);
 - la carte de la géologie du roc avec les failles (*carte #13 : Géologie du roc*);
- la vue en coupe (exagération verticale variant entre 30 et 70 fois) dans laquelle apparaissent :
 - la surface topographique du terrain avec l'étendue des dépôts de surface;
 - les affleurements rocheux;
 - les stations sélectionnées avec leur stratigraphie simplifiée;
 - la topographie du roc préliminaire;
 - l'hydrographie principale;
 - le point d'intersection avec les autres coupes stratigraphiques;
- d'autres éléments d'information (légende, métadonnées, etc.).

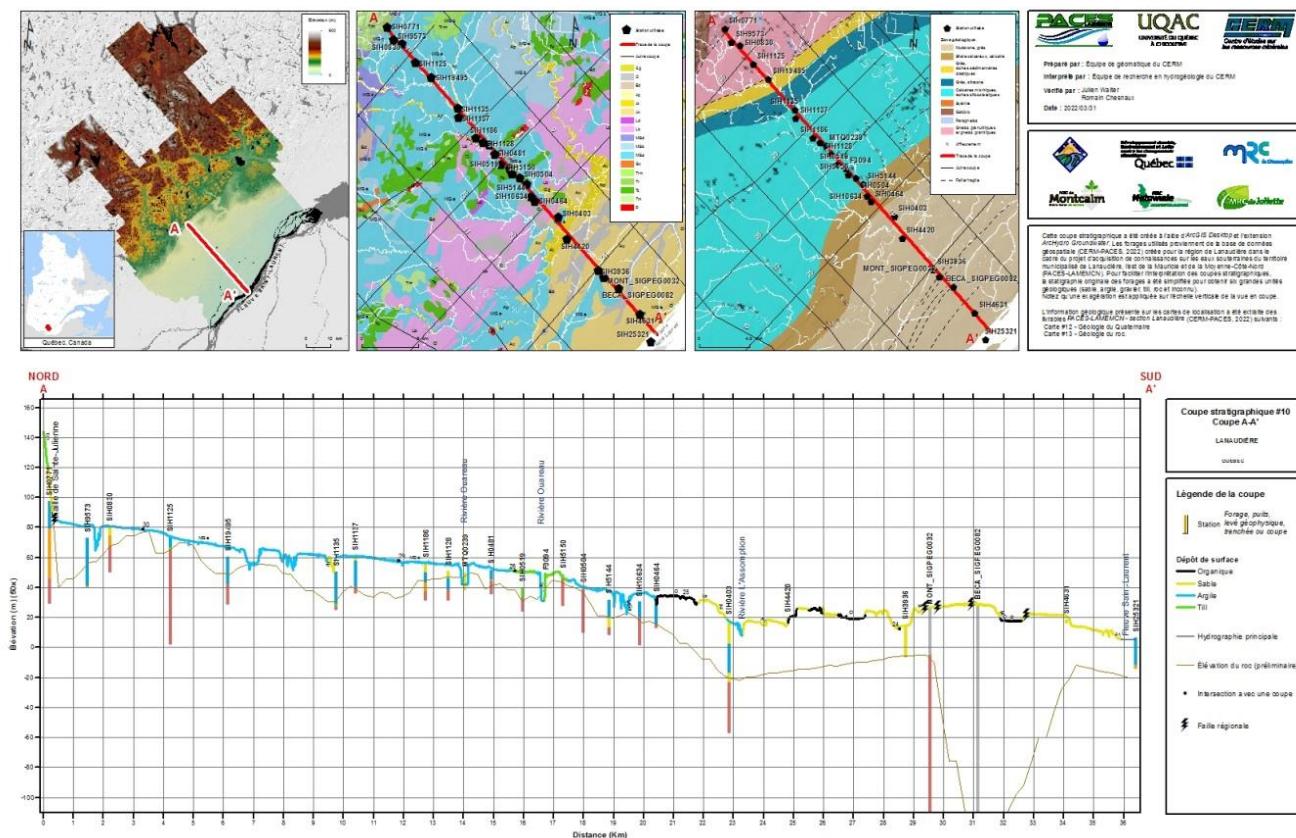


Figure 6-12 : Exemple de gabarit utilisé pour l'interprétation des coupes stratigraphiques.

6.3.4 Interprétation des coupes stratigraphiques

L'interprétation des unités stratigraphiques dans les coupes est obtenue à partir de la stratigraphie simplifiée des stations sélectionnées et projetées sur la coupe ainsi qu'à partir de l'ensemble des informations ponctuelles (stations) disponibles dans la base de données géospatiales. En effet, pour ne pas surcharger la vue en coupe, seulement certaines stations ont été projetées, mais toutes les stations situées à proximité de la coupe ont tout de même été consultées lors de l'interprétation puisque des informations stratigraphiques localisées à proximité peuvent être contradictoires. Par conséquent, l'interprétation peut être localement différente de l'information stratigraphique projetée.

Le socle rocheux est présent sur l'ensemble des coupes stratigraphiques bien que l'estimation préliminaire, basée sur une interpolation des profondeurs du roc atteintes aux forages, soit erronée, sur certaines coupes, notamment dans le creux des vallées non investiguées par des forages. Dans ces cas, l'interprétation est basée sur certaines hypothèses qui sont discutées dans les prochains paragraphes.

Roc cristallin

De façon générale, la profondeur du roc est interprétée à partir de l'information des stations atteignant le roc (forage, géophysique, affleurements). Lorsqu'aucune station n'atteint le roc, l'épaisseur des dépôts est estimée de façon conservatrice en plaçant la topographie du roc près de la fin du forage. Lorsque le roc de la Province de Grenville est affleurant ou sous une couche mince de till, la topographie accidentée suggère que le roc est également accidenté sous les dépôts.

Dans le secteur des Basses-Terres, la profondeur du roc cristallin est incertaine et n'a donc pas été interprétée dans les coupes stratigraphiques telles qu'illustrées à la figure 6-13 (unité rose). Les traces des failles majeures ont été intégrées dans les coupes stratigraphiques.

Roches sédimentaires ordoviciennes

Les roches sédimentaires ordoviciennes sont présentes au sud, et constituent la Plate-forme du Saint-Laurent (Basses-terres). Leur topographie est beaucoup plus plane et leur épaisseur est importante (jusqu'à 1 000 mètres), mais incertaine. L'épaisseur des roches sédimentaires n'a donc pas été interprétée dans les coupes stratigraphiques. Les traces des failles majeures ont aussi été intégrées dans les roches sédimentaires.

Till

Le till est présent en couche mince sur l'ensemble du territoire sauf dans les endroits où la carte #12 montre le roc affleurant.

Quaternaire ancien

Les dépôts de Quaternaire ancien sont présents dans les régions annexes et utilisés localement dans Lanaudière pour expliquer des incongruités stratigraphiques locales, notamment des affleurements de till dans la municipalité de Saint-Roch-de-l'Achigan.

Gravier, sable d'origine fluvioglaciaire

Le gravier fluvioglaciaire affleure dans les Hautes-Terres de la région, mais très peu de stations permettent d'en connaître l'épaisseur. Puisqu'il remplit généralement les vallées, l'épaisseur dépend directement de la topographie du roc. Localement, des stations indiquent la présence de gravier confiné par des couches d'argile.

Dans les Basses-Terres, le gravier fluvioglaciaire est enfoui sous une épaisse couche composée des sédiments fins d'eau profonde de l'ancienne mer de Champlain. La délimitation de ces milieux aquifères enfouis est donc basée sur l'information stratigraphique de l'ensemble des forages et l'interprétation du géologue qui a interprété les coupes stratigraphiques.

Argile et silt

Les argiles de la mer de Champlain sont omniprésentes dans les Basses-Terres. Elles affleurent sur une partie des Basses-Terres et sont en grande partie recouvertes d'une couche de sable de quelques mètres d'épaisseur (généralement entre 2 et 10 mètres) correspondant à des sédiments littoraux et pré littoraux glaciomarins, des sédiments deltaïques glaciomarins, et des dépôts lacustres. Dans le piedmont, l'argile remplit certaines vallées et est recouverte par des sédiments sableux qui sont principalement d'origine deltaïque.

Sable, gravier indifférencié

Les couches superficielles de sable recouvrent presque entièrement les couches d'argile dans les Basses-Terres. Elles ont généralement une épaisseur inférieure à 10 mètres et sont latéralement continues. Cet ensemble de sédiments regroupe les dépôts fluviaux, deltaïques, littoraux et lacustres.

Une fois les interprétations terminées, une comparaison avec les coupes stratigraphiques numérisées et extraites des rapports de consultant (section 4.1.2) a été réalisée. Entre autres, des coupes stratigraphiques régionales ont déjà été produites sur le territoire des MRC de Joliette, d'Autray et Montcalm dans le cadre de deux projets de cartographie hydrogéologique axés sur la production maraîchère et horticole (TechnoRem, 2008 ; Technorem, 2009). Les coupes PACES se sont avérées cohérentes avec les interprétations retrouvées dans les rapports de consultant ainsi que les contextes géologiques interceptés par les puits municipaux.

6.3.5 Mise en forme finale des coupes stratigraphiques

Les coupes stratigraphiques interprétées sont numérisées à l'aide des outils d'édition de l'application *ArcMap* d'*ArcGIS Desktop 10.7.1*. La figure 6-13 montre le résultat final de l'interprétation et de la numérisation d'une coupe stratigraphique. Les 43 coupes stratigraphiques sont disponibles dans ce format à l'annexe numérique AN 2 et constituent le livrable #14 du projet PACES.

Les mêmes cartes de localisation utilisées lors de l'interprétation des coupes et présentées à la section 6.3.4 se retrouvent dans le format final. Les éléments affichés sur la vue en coupe diffèrent quelque peu et visent plutôt à présenter le contenu de la coupe stratigraphique. Les éléments s'y retrouvant sont les suivants :

- les stations projetées avec leur stratigraphie simplifiée;
- les unités géologiques interprétées;
- les principales failles interprétées;
- la surface topographique du terrain avec l'étendue des dépôts organiques seulement;
- l'hydrographie principale avec le nom des cours d'eau;
- le point d'intersection avec les autres coupes stratigraphiques.

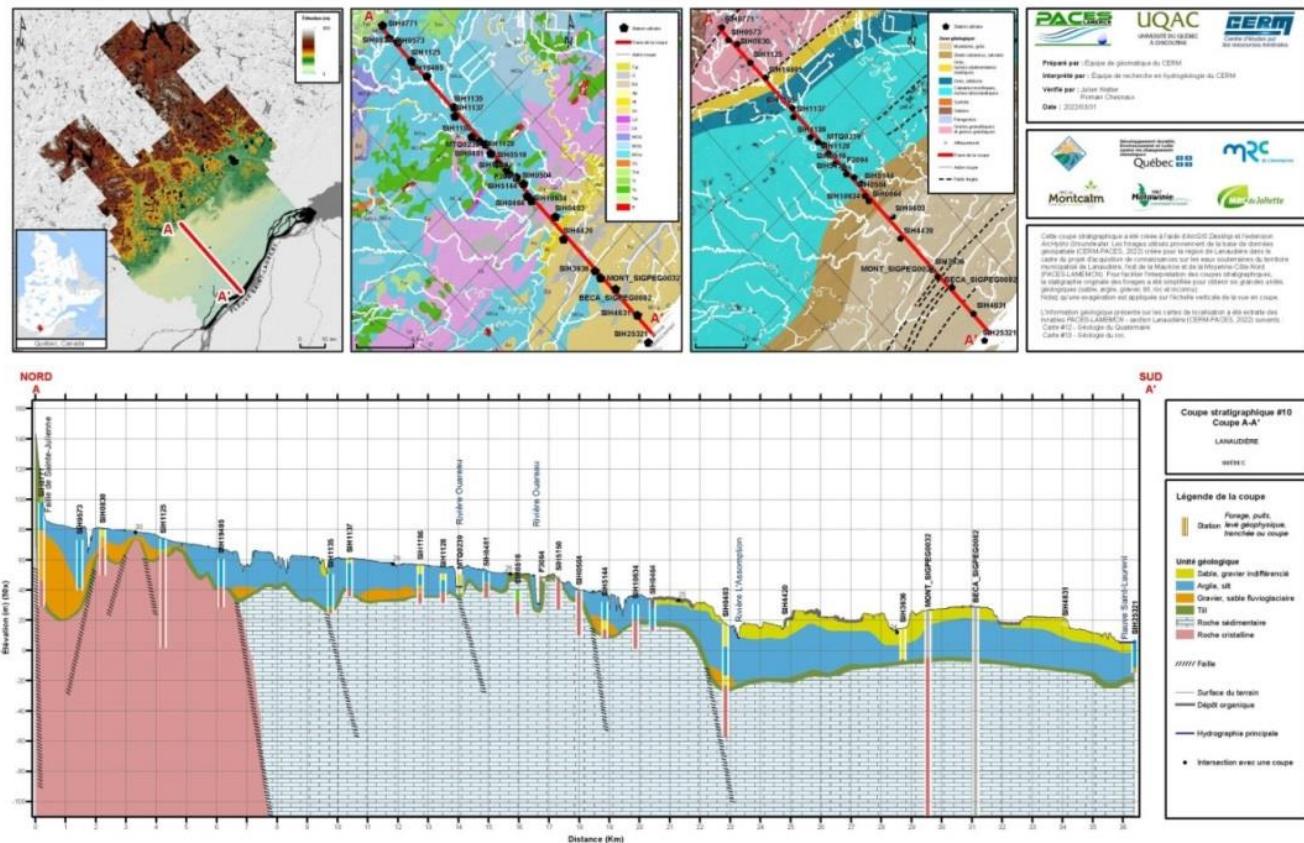


Figure 6-13 : Coupes stratigraphiques #10.

6.3.6 Création des diagrammes barrières

Une fois l'ensemble des coupes stratigraphiques numérisées, elles sont disposées dans un environnement tridimensionnel grâce au module *Subsurface Analyst* du logiciel *Arc Hydro Groundwater* pour ainsi créer des diagrammes barrières (figure 6-14). Ces diagrammes barrières suggèrent la continuité ou discontinuité des couches sur l'ensemble du territoire, ce qui permet d'apprécier les principaux contextes stratigraphiques régionaux. Un autre avantage de la représentation des coupes stratigraphiques sous forme de diagrammes barrières consiste à vérifier la cohérence de l'interprétation aux intersections de coupes. Par conséquent, cette représentation tridimensionnelle est utilisée pour le contrôle de la qualité de l'interprétation stratigraphique.

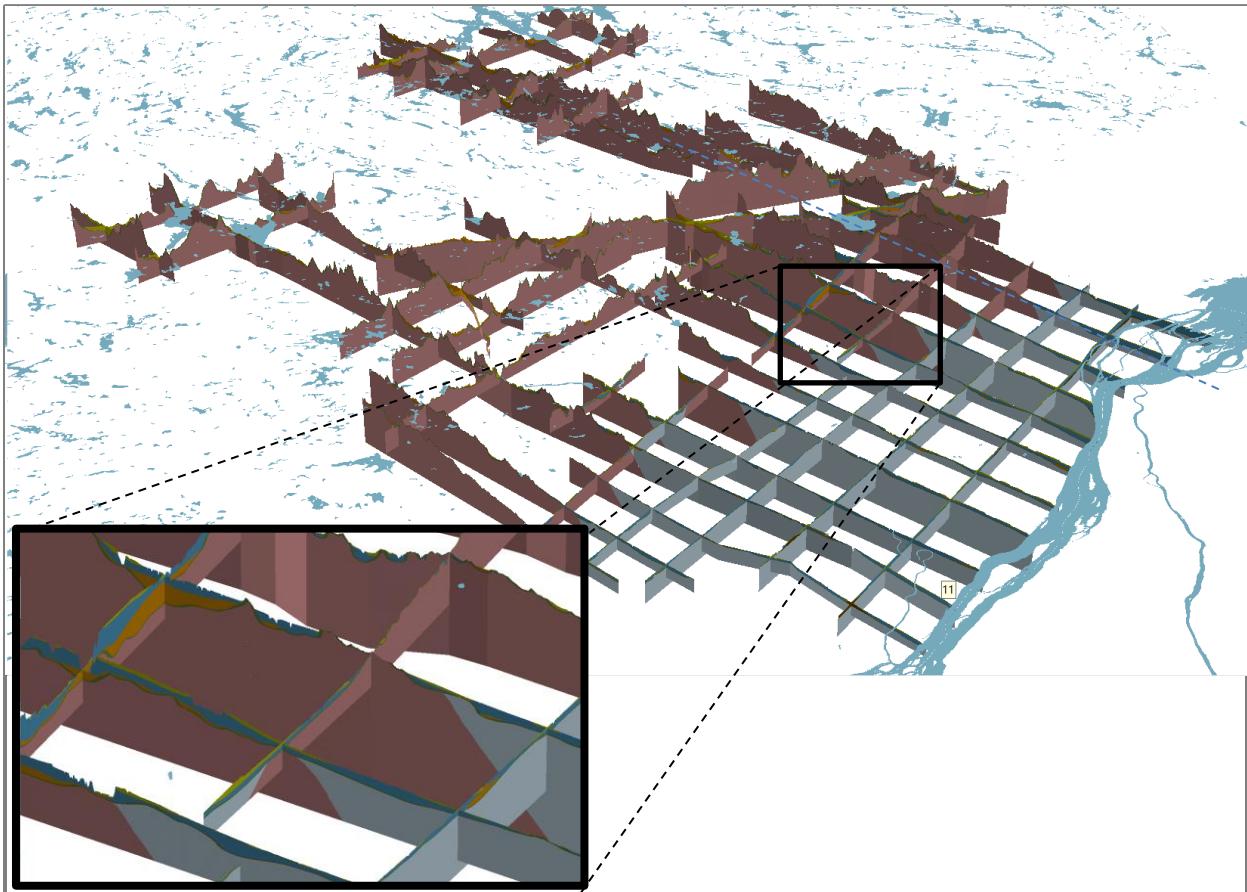


Figure 6-14 : Représentation des 43 coupes stratigraphiques sous forme de diagrammes barrières.

6.4 Épaisseur des dépôts et topographie du roc

Les dépôts meubles constituent des milieux physiques à l'intérieur de laquelle les unités stratigraphiques s'enchaînent. Il est donc opportun d'estimer l'épaisseur des dépôts ou encore estimer l'élévation du toit du socle rocheux (topographie du roc). La méthodologie suivie pour obtenir l'épaisseur des dépôts et la topographie du socle rocheux à fait l'objet d'une publication scientifique (Chesnaux *et al.* (2017)). Les grandes lignes sont reprises ici.

6.4.1 Épaisseur estimée des dépôts meubles

Les données sources, la méthodologie et les résultats de la **carte #15 : Épaisseur des dépôts meubles** sont discutés dans cette section.

Données sources

À l'échelle du territoire, les données sur l'épaisseur des dépôts meubles proviennent :

- des stations indiquant une profondeur au roc (forages, puits, sondages, etc.);
- des affleurements rocheux;
- des données interprétées à partir des coupes stratigraphiques (forages virtuels);
- des points dérivés de la **carte #12 : Géologie du Quaternaire** et indiquant un dépôt mince ou nul;

- des stations et des forages virtuels indiquant une épaisseur minimale de dépôts meubles.
- La suite de cette section décrite chacune des données sources.

Les stations

Les stations correspondent à des données ponctuelles de stratigraphie issues de la base de données géospatiales du projet PACES. Ces stations représentent un forage, un puits, un piézomètre ou un levé géophysique.

Dans la base à référence spatiale du projet PACES, 24 655 stations possèdent une valeur d'épaisseur de dépôts. Plus précisément, sur le territoire à l'étude et en périphérie (inférieur à 1 km de la limite extérieure), **15 922 stations** indiquent une profondeur au roc dont 8 348 stations sont situées dans les Hautes-Terres, 2 584 dans le piedmont et 5 052 dans les Basses-Terres. La figure 6-15 illustre la répartition des données et leur densité sur le territoire. Elle met en évidence notamment la répartition spatiale des données et le regroupement en grappes localisées majoritairement à proximité des principales zones urbaines et des étendues d'eau.

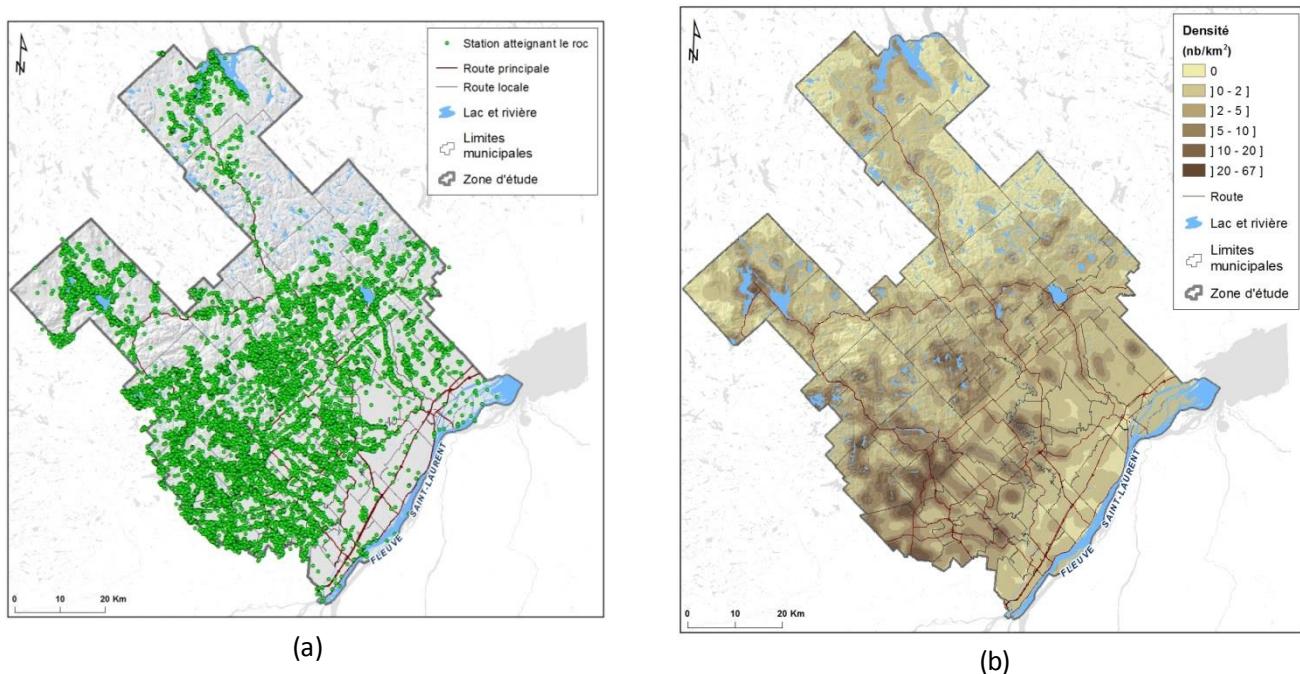


Figure 6-15 : (a) Répartition des stations atteignant le roc et
(b) Densité des stations atteignant le roc.

Les affleurements rocheux

Les affleurements rocheux constituent une donnée importante puisqu'ils indiquent une valeur nulle d'épaisseur de dépôts. Un nombre assez important d'affleurements, soit **10 532**, sont localisés dans la base de données géospatiales PACES. Ces affleurements proviennent de sources diverses :

- **8 642** de la compilation géoscientifique du MERN (SIGEOM);
- **1 853** du projet de cartographie des dépôts quaternaires;
- **30** des travaux de terrain réalisés par le CERM dans le cadre du PACES.

La figure 6-16 illustre la localisation de ces affleurements.

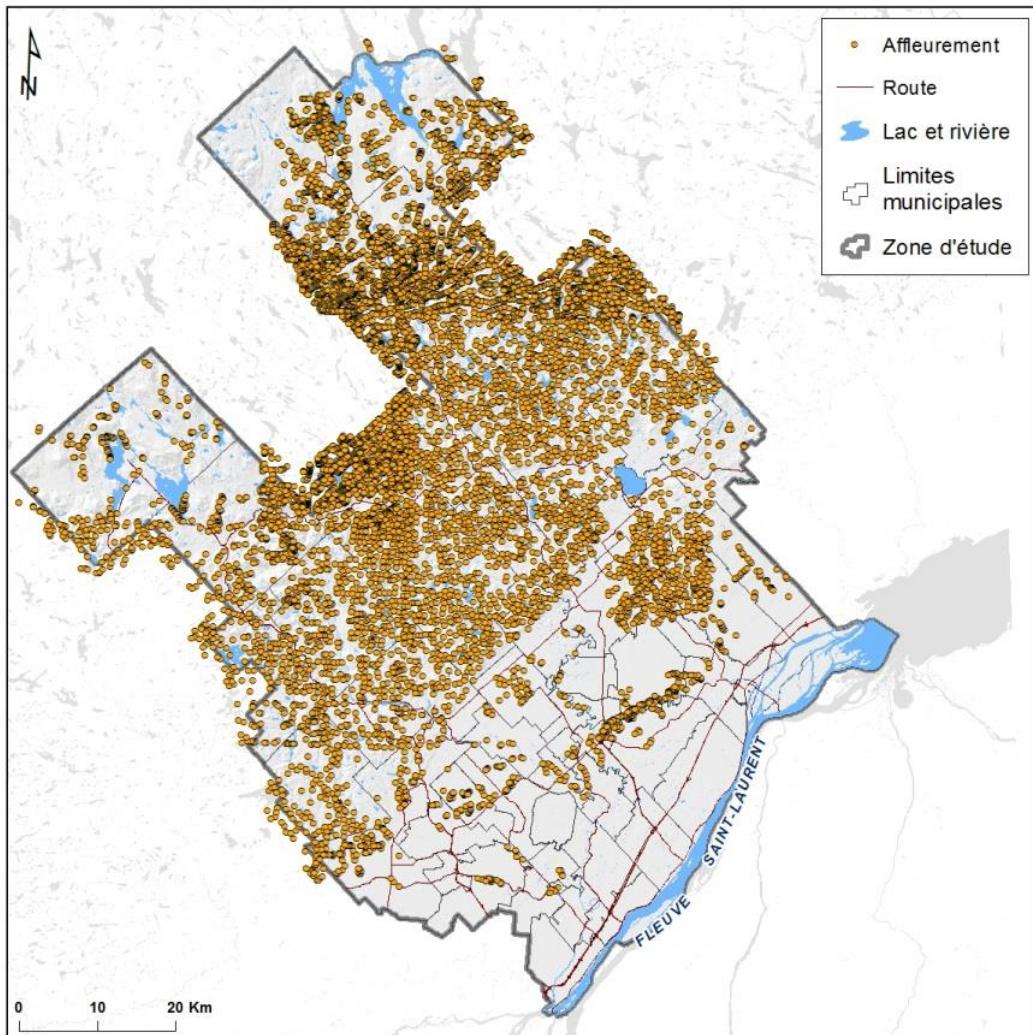


Figure 6-16 : Localisation des affleurements pour le territoire de Lanaudière.

Les forages virtuels

Les 43 coupes stratigraphiques élaborées sur le territoire à l'étude permettent d'augmenter la quantité de données et d'améliorer la distribution spatiale de l'information sur la profondeur du roc, et ce, même si cette dernière demeure une valeur estimée entre les stations. À l'aide d'un processus informatique, les coupes stratigraphiques sont discrétisées en nouveaux forages (d'où les forages virtuels) selon un pas de 500 mètres. Le détail de la méthode et les codes *Visual Basic for Applications* (VBA) sont présentés dans Chesnaux *et al.* (2017). La figure 6-17 illustre la création des forages virtuels le long d'une coupe stratigraphique. Cette coupe permet de générer 46 nouveaux forages sur la profondeur du roc. Ce processus a permis de générer **3 118 forages virtuels** sur le territoire à l'étude.

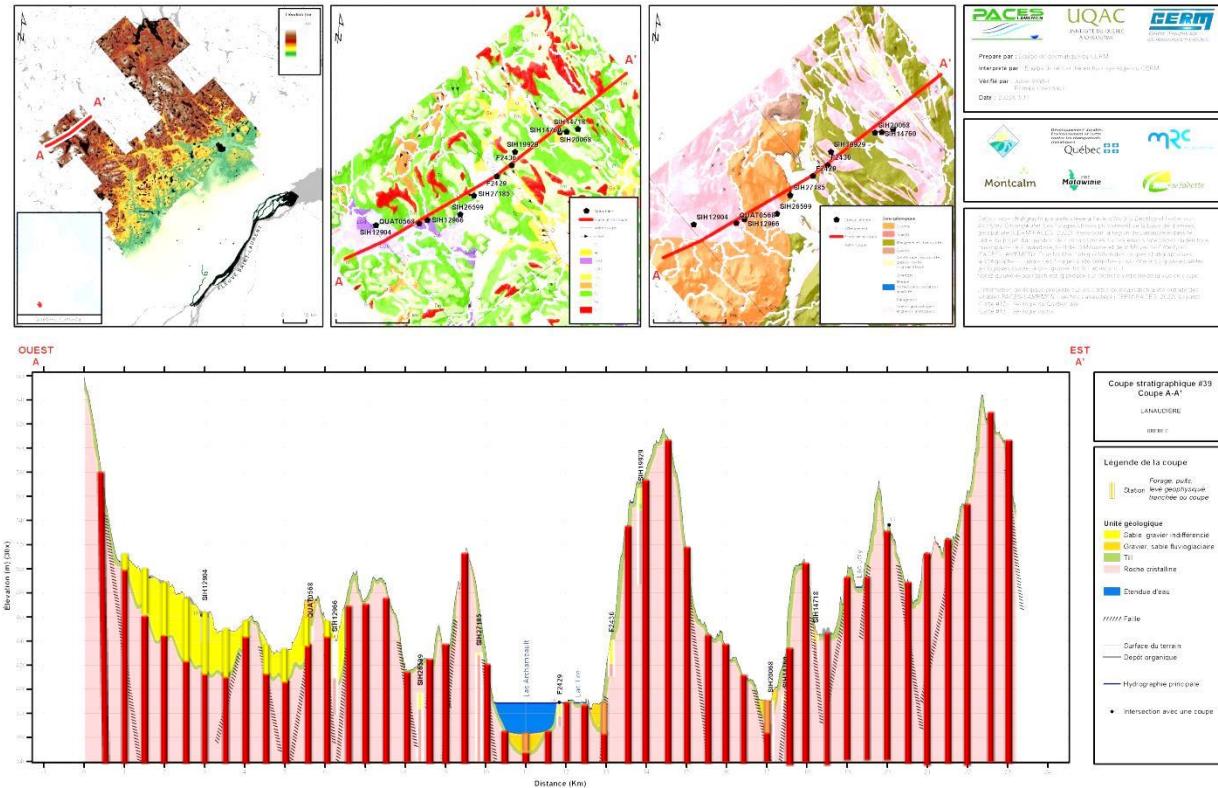


Figure 6-17 : Forages virtuels créés le long d'une coupe stratigraphique (exagération verticale de 30x).

Les dépôts minces et le roc

Selon la carte #12 : Géologie du Quaternaire, des dépôts de faible épaisseur (*égale ou inférieure à 1 mètre*) et le roc affleurant occupent une superficie importante du territoire de Lanaudière. Les dépôts minces correspondent au till mince (*Tm*) et le roc affleurant aux codes *R*, *Rm*, *Ri* et *Rs*. Afin d'utiliser cette information dans la modélisation de l'épaisseur des dépôts, les polygones de dépôts minces ou de roc affleurant sont convertis en un quadrillage de points de 100 mètres d'intervalle. La figure 6-18 illustre un exemple du quadrillage de points obtenus. Les points rouges indiquent les affleurements rocheux (épaisseur de dépôts nul) alors que les points verts les dépôts de till mince.

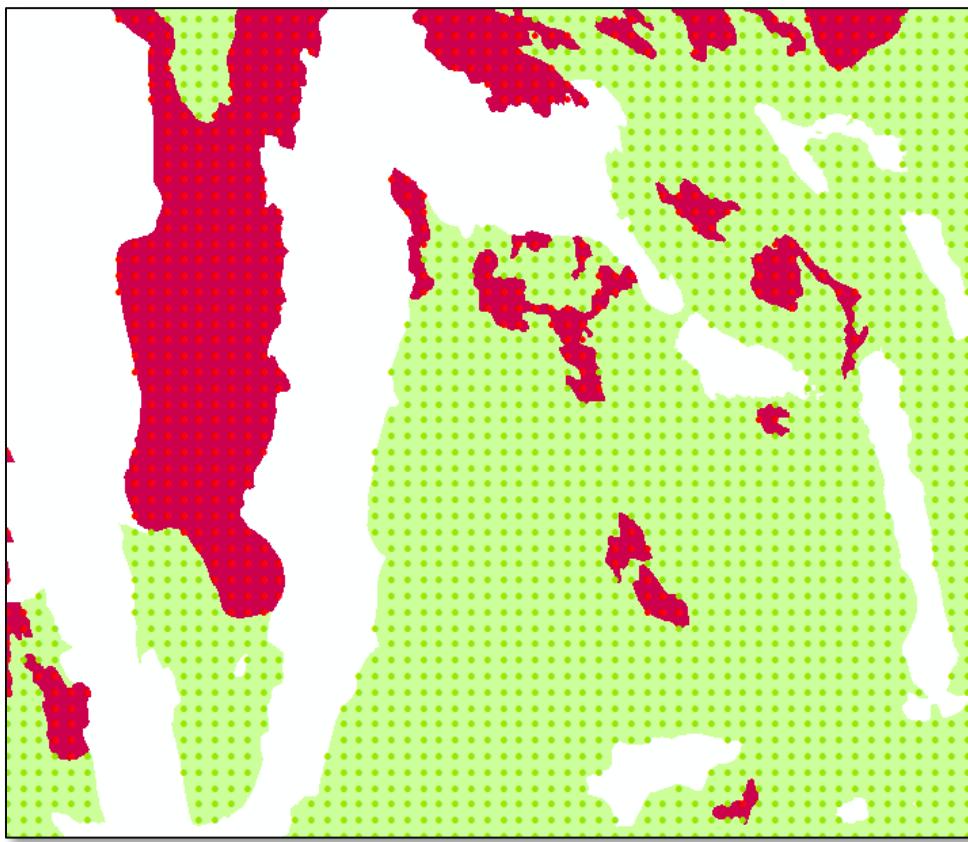


Figure 6-18 : Quadrillage de points créés sur les dépôts minces (points verts) ou nuls (points rouges).

Étant donné que le till mince a généralement une épaisseur inférieure à 1 mètre, tous les points du quadrillage correspondant à ce type de dépôts affichent une épaisseur estimée à 1 mètre (en vert sur la figure 6-18). Tous les autres points correspondent à des zones d'affleurements rocheux et affichent une épaisseur nulle (en rouge sur la figure 6-18). Ce quadrillage permet d'obtenir **224 126 points** d'information supplémentaire sur la profondeur du roc.

Stations et forages virtuels indiquant une épaisseur minimale de dépôt

Certaines stations présentes dans la base de données géospatiales du projet PACES n'atteignent pas le socle rocheux. Ces stations indiquent une épaisseur minimale de dépôts meubles.

Méthodologie

La méthodologie suivie pour la modélisation de l'épaisseur des dépôts compte quatre grandes étapes :

- Étape 1 : Division de la zone d'étude;
- Étape 2 : Modélisation sans les stations indiquant une épaisseur minimale de dépôts;
- Étape 3 : Comparaison et modélisation avec les stations indiquant une épaisseur minimale de dépôts;
- Étape 4 : Création d'une mosaïque et application d'un filtre matriciel de lissage;
- Étape 5 : Validation et erreur sur l'épaisseur des dépôts obtenue.

Ces étapes sont présentées en détail dans la suite de cette section.

Étape 1 – Division de la zone d'étude

La variabilité au niveau des contextes géologiques a nécessité la division de la zone d'étude en trois secteurs qui correspondent aux subdivisions topographiques (figure 5-1) :

- secteur des Hautes-Terres;
- secteur du Piedmont;
- secteur des Basses-Terres;

Les données sources utilisées pour l'interpolation sont sélectionnées dans chacune des zones. Un corridor de 100 mètres est appliqué lors de la sélection des données situées à l'intérieur d'une zone caractérisée par un sous-domaine de dépôts importants pour ainsi ajouter les données ponctuelles indiquant de faibles épaisseurs de dépôts en périphérie. Les données sélectionnées sont les stations et les forages virtuels indiquant une profondeur au roc, les affleurements rocheux et les points du quadrillage indiquant un dépôt mince ou nul.

Le tableau 6-3 contient le nombre exact de données pour chaque type et pour chacune des zones d'interpolation.

Tableau 6-3 : La quantité de données sources présentes dans chacune des zones et utilisées pour la première interpolation.

Secteurs	Station avec profondeur au roc	Forage virtuel	Affleurement	Dépôts minces
Hautes-Terres	7 350	1 565	9 258	140 874
Piedmont	2 338	481	740	10 399
Basses-Terres	4 721	2 086	509	1 844

Étape 2 – Première modélisation sans les stations indiquant une épaisseur minimale de dépôts

Pour chacune des zones, la méthode d'interpolation choisie est le krigeage ordinaire (Dugrain, 2011). Le tableau 6-4 présente les paramètres du semi-variogramme dans chacune des zones pour la première interpolation.

Tableau 6-4 : Paramètres des semi-variogrammes théoriques pour chacune des zones.

Secteur	Modèle	Pépite	Portée	Palier	Anisotropie
Hautes-Terres	Sphérique	0	2 000	9	aucune
Piedmont	Sphérique	0	4 000	62	0.5 (135°)*
Basses-Terres	Sphérique	0	5 000	90	0.5 (135°)*

*Anisotropie détectée et appliquée dans l'axe SO-NE (sud-ouest – nord-est)

Étape 3 – Comparaison et deuxième modélisation avec les stations indiquant une épaisseur minimale de dépôts

L'épaisseur des stations n'atteignant pas le roc est comparée avec le résultat de la première modélisation. Bien que ces stations n'atteignent pas le roc, ils indiquent tout de même une épaisseur minimale de dépôts qui doit être considérée dans la modélisation. Ils sont alors ajoutés au jeu de données sources, mais seulement s'ils indiquent une épaisseur minimale supérieure à l'épaisseur estimée sur le résultat de la première modélisation. La profondeur du roc pour ces stations est alors fixée à leur profondeur totale.

La figure 6-19 illustre l'effet de l'ajout des stations n'atteignant pas le roc sur la modélisation de l'épaisseur des dépôts. Les forages B et C n'atteignent pas le roc, mais seulement le forage B indique une épaisseur de dépôts supérieure à la première modélisation (trait bleu sur la figure 6-19). L'ajout du forage B au jeu de données de la

deuxième modélisation (trait vert sur la figure 6-19) permet d'augmenter l'épaisseur des dépôts dans cette région.

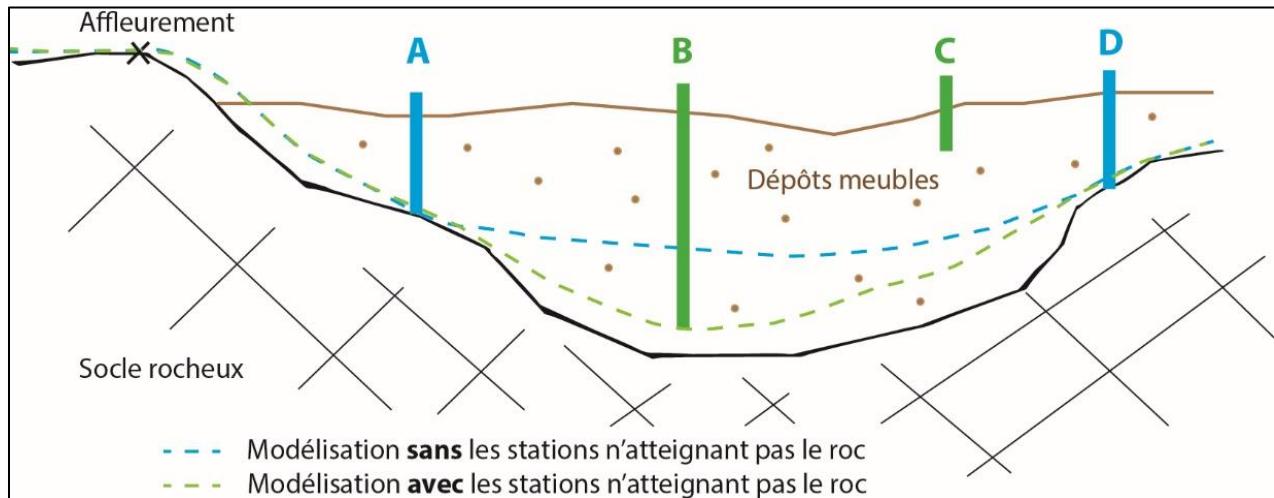


Figure 6-19 : Effet de l'ajout des forages n'atteignant pas le roc sur la modélisation de l'épaisseur des dépôts.
Modifié de Dugrain (2011).

Dans la zone d'étude, **2 373 stations** indiquent une épaisseur supérieure à la première modélisation. Ces données sont donc ajoutées au jeu de données sources pour la deuxième modélisation. Le tableau 6-5 indique le nombre de stations et forages virtuels n'atteignant pas le roc qui a été ajouté pour chaque zone d'interpolation.

Tableau 6-5 : Quantité de données sources ajoutées dans chacune des zones pour la deuxième interpolation.

Secteur	Station sans profondeur au roc
Hauts-Terres	1 014
Piedmont	448
Basses-Terres	911

Puisque de nouvelles données ont été ajoutées, les paramètres du semi-variogramme sont réévalués et fixés. Le tableau 6-6 présente les paramètres du semi-variogramme utilisés dans chacune des zones pour la deuxième modélisation.

Tableau 6-6 : Paramètres des semi-variogrammes théoriques pour chacune des zones.

Secteur	Modèle	Pépite	Portée	Palier	Anisotropie
Hauts-Terres	Sphérique	0	2 600	22	aucune
Piedmont	Sphérique	5	3 800	100	0.5 (135°)*
Basses-Terres	Sphérique	30	4 000	95	0.5 (135°)*

*Anisotropie détectée et appliquée dans l'axe SO-NE (sud-ouest – nord-est)

Étape 4 – Création d'une mosaïque et application d'un filtre matriciel de lissage

Une fois les résultats d'interpolation obtenus pour chaque zone, une mosaïque est créée pour obtenir une seule matrice. Pour atténuer les différences aux limites des zones ou encore pour assigner une valeur à une cellule

affichant une valeur nulle dans la mosaïque, un filtre matriciel de lissage est appliqué. Ce filtre consiste en une matrice de 3 pixels par 3 pixels se déplaçant sur la mosaïque et qui réévalue la valeur du pixel central en calculant la moyenne des huit cellules voisines. Les valeurs nulles (notée *NoData*) obtiennent ainsi une valeur par lissage, mais sont ignorées dans le calcul des valeurs des cellules adjacentes.

Étape 5 – Validation et erreur sur l'épaisseur des dépôts

Pour évaluer la validité des interpolations par krigeage, la méthode de validation croisée est utilisée. Cette méthode réévalue par krigeage les pixels qui possèdent une valeur connue en omettant d'inclure cette valeur dans le système de krigeage. La moyenne quadratique (*root mean square*) est ensuite calculée (tableau 6-7).

Tableau 6-7 : Moyenne quadratique obtenue des modèles de l'épaisseur des dépôts meubles.

Secteur	Moyenne quadratique (rms)
Hautes-Terres	4,2
Piedmont	7,1
Basses-Terres	7,1

Ces statistiques reflètent l'incertitude des modèles de dépôts; les modèles d'interpolation utilisés sont donc considérés comme valides à l'intérieur de cette incertitude.

Résultats

Selon la **carte #15 : Épaisseur des dépôts meubles**, sur le territoire de Lanaudière, l'épaisseur des dépôts peut atteindre 112 m. Des épaisseurs importantes sont notées dans les Basses-Terres alors que, mis à part dans les vallées et le long des rivières Saint-Maurice et Croche, elles sont généralement faibles, voire nulles dans les Hautes-Terres.

Dans les Hautes-Terres, les vallées montrent des épaisseurs plus significatives de dépôts entre 20 et 50 m et pouvant atteindre localement plus de 75 m particulièrement dans le secteur de Mandeville et de Saint-Émeline-de-l'Énergie. Les secteurs de Saint-Donat et de Saint-Michel-des-Saints montrent également quelques zones de dépôts relativement épais (50 – 60 m).

Dans les Basses-Terres, les épaisseurs de dépôts les plus importantes se situent en bordure du fleuve, avec des épaisseurs atteignant 90 m dans les municipalités de Saint-Geneviève-de-Berthier, de La Visitation-de-l'Île-Dupas et de Saint-Ignace-de-Loyola, près du lac Saint-Pierre.

Dans le piedmont, des épaisseurs relativement importantes (atteignant 85 m) se retrouvent également au pied du grand corridor, notamment dans les municipalités de Rawdon, Sainte-Mélanie, Saint-Félix-de-Valois et Saint-Gabriel-de-Brandon. Les dépôts sont composés de sédiments fluvioglaciaires (par endroit), surmontés d'une épaisse couche d'argile recouvrant l'ensemble des Basses-Terres (d'une épaisseur moyenne de 20 m et maximale de 90 m) affleurante ou enfouie sous des sables indifférenciés de surface (par endroit).

6.4.2 Topographie du roc

La topographie du roc est présentée sur deux cartes différentes, puisque deux méthodes distinctes ont été appliquées dans leur élaboration:

- Méthode 1 : Épaisseur des dépôts par krigeage soustrait du modèle numérique de terrain (MNA) de laquelle résulte la carte #16a – *Topographie du roc*;

- Méthode 2 : Réseau triangulaire irrégulier (*Triangulated Irregular Network*, TIN) de laquelle résulte la carte #16b – *Topographie du roc TIN*.

Méthode 1 : Épaisseur des dépôts par krigage soustrait du modèle numérique de terrain (MNA)

Les données sources, la méthodologie appliquée et les résultats obtenus pour l'estimation de l'élévation du toit du roc (topographie du roc) en soustrayant l'épaisseur des dépôts à la l'élévation du terrain *carte #3 : Modèle numérique de terrain* sont présentés dans cette section.

Données sources

Les différentes données utilisées pour estimer la topographie du socle rocheux sont :

- l'élévation de la surface du terrain telle que présentée par la *carte #3 : Modèle numérique de terrain*;
- l'épaisseur des dépôts meubles (*carte #15 : Épaisseur des dépôts meubles*).

Méthodologie

La méthodologie appliquée pour la première approche se base sur la connaissance de l'épaisseur des dépôts de surface établie par une interpolation utilisant le krigage. La soustraction de l'épaisseur des dépôts meubles à l'élévation de la surface du terrain donne en principe une indication de la topographie du socle.

Résultats

La première approche permet d'obtenir la **carte #16a : Topographie du roc**. Cette carte présente l'élévation du toit du roc avec un dégradé de couleur. Les failles fragiles, les failles ductiles, les linéaments sont aussi localisés sur cette carte.

Cette carte permet d'avoir une estimation de l'élévation du toit du roc si l'estimation de l'épaisseur des dépôts est bien contrôlée. Dans les zones ayant moins de points de contrôle, l'imprécision de la surface interpolée de l'épaisseur additionnée à l'erreur du MNA (+/-10 m), peut localement générer des aberrations.

Le résultat obtenu par la première méthode reflète des variations retrouvées à la surface du terrain, c'est-à-dire des variations présentes sur le modèle numérique d'altitude (carte #3). Lorsque l'épaisseur des dépôts est mince ou nulle, ces variations correspondent souvent à celles du socle rocheux. Cependant, lorsque d'importantes épaisseurs de dépôts recouvrent le roc, les variations s'apparentent à celles retrouvées dans les dépôts plutôt qu'à celles caractérisant le roc. En effet, dans bien des cas, la surface topographique du roc est indépendante de la topographie des dépôts de surface. Un exemple est donné le long de la rivière l'Assomption dans le secteur de Sainte-Mélanie où le modèle obtenu exprime des variations appartenant aux dépôts meubles.

Méthode #2 : Réseau triangulaire irrégulier (TIN)

Données sources

Les données sources utilisées pour la deuxième méthode sont identiques à celles présentées pour la modélisation de l'épaisseur des dépôts meubles (cf. section 6.4.1). Les forages indiquant une profondeur minimale de dépôts font aussi partie du jeu de données sources pour la modélisation de la topographie du roc. Enfin, pour convertir les profondeurs en élévation, le modèle numérique de terrain (résolution de 1 mètre) généré à partir de données Lidar du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) fait également partie des données utilisées.

Méthodologie

La deuxième approche modélise la topographie du roc à l'aide d'un réseau de triangles irréguliers (TIN) en respectant les conditions de Delaunay. La taille des triangles est fonction de la quantité et de la proximité des données à relier. Plus les triangles sont petits, plus la modélisation est précise. Cette méthode permet aussi d'interdire la création de triangles nécessitant un segment de triangle trop long. La valeur maximale a été fixée à 6 000 mètres à l'intérieur de la zone d'étude.

Une autre particularité de la méthode TIN est qu'elle conserve la valeur de l'élévation aux points d'observation. Elle n'est alors pas dépendante de la résolution de la matrice résultante choisie, en l'occurrence 250 par 250 mètres (taille du pixel), et offre donc une modélisation qui passe directement par les points d'élévation. Cependant, cette méthode génère des artefacts triangulaires qui nuisent à l'esthétique du résultat. Une version en format matriciel a donc été produite ce qui a permis de réaliser une opération de lissage (filtre passe-bas) et ainsi atténuer les artefacts de triangle typique de la méthode TIN.

Résultats

Cette approche permet de créer la **carte #16b – Topographie du roc TIN** qui présente l'élévation du toit du roc avec un dégradé de couleur. Les failles fragiles, les failles ductiles, les linéaments sont aussi localisés sur cette carte. Tout comme la carte **#16a – Topographie du roc** obtenue par l'application de la méthode 1, la topographie du roc TIN (carte **#16b – Topographie du roc TIN**) épouse le relief de surface où l'épaisseur des dépôts est inférieure à 1 m et nulle.

Sur l'ensemble du territoire, l'élévation du roc varie entre -100 et 883 mètres par rapport au niveau moyen des mers. Les élévations les plus grandes du toit du roc se trouvent dans le secteur des Hautes-Terres tandis que les élévations inférieures au niveau de la mer se localisent principalement dans les Basses-Terres.

7 LES MILIEUX AQUIFÈRES DE LANAUDIÈRE

La première partie de ce chapitre présente d'abord les unités géologiques régionales sous l'angle de leur potentiel aquifère (notamment leur perméabilité) (sections 7.1 et 7.2). Ensuite, une représentation conceptuelle simplifiée de l'assemblage vertical et latérale des unités hydrogéologiques est présentée (section 7.3), suivie de la description des contextes hydrogéologiques caractérisant la région et déterminés notamment à l'aide des coupes stratigraphiques réalisées sur le territoire (section 7.4).

La deuxième partie de ce chapitre caractérise le territoire en termes quantitatifs en fonction des propriétés hydrauliques des milieux aquifères (section 7.5), des écoulements régionaux des eaux souterraines (section 7.6) et des zones de recharge préférentielle et de résurgences (section 7.7).

Le chapitre se termine avec l'évaluation de la vulnérabilité des milieux aquifères régionaux (section 7.8)

7.1 Les milieux aquifères constitués de roches fracturées

Les *limites régionales des milieux aquifères dans le roc fracturé (carte #18b)* sont obtenues à partir des unités retrouvées sur la carte de la géologie du roc (carte #13) et présentées à la section 6.1. Les polygones lithologiques ont été regroupés selon leur porosité et leur potentiel aquifère (fracturation) pour former deux grandes catégories de milieux aquifères fracturés : les roches sédimentaires et les roches cristallines. La **carte #18b** permet de localiser les failles fragiles et ductiles ainsi que les linéaments interprétés sur le territoire. Tel qu'illustré sur la figure 7-1, le mode de représentation utilisé sur la carte permet de différencier les unités de socle rocheux affleurantes des unités sous-couverture. Les unités de till représentent généralement de faibles épaisseurs et ne sont pas considérées. Les unités rocheuses recouvertes d'une couverture de till uniquement apparaissent comme des unités de roc affleurantes sur la carte #18b.

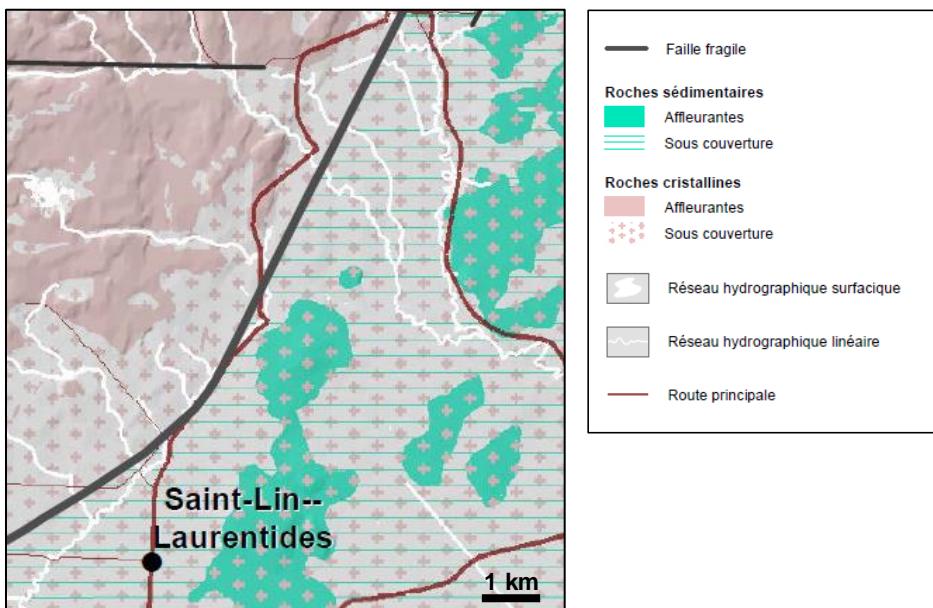


Figure 7-1 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères de roc fracturé.

De manière générale, on distingue la porosité de matrice de la porosité de fracture. Le potentiel aquifère des roches fracturées est principalement dicté par la densité de fracturation et la connectivité des fractures et des

failles, contrairement aux milieux granulaires dont le potentiel aquifère est dominé par la porosité de la matrice. Dans certains cas, les roches telles que le grès présentent une porosité de matrice suffisamment importante pour permettre une perméabilité intéressante.

7.1.1 Les roches précambriques cristallines

Les formations de roche cristalline sur ce territoire font partie du socle rocheux du Bouclier canadien et d'âge précambrien. L'ouverture du rift continental, il y a 500 millions d'années, a permis la mise en place d'un demi-graben (ou fossé d'effondrement) localisé près du fleuve du Saint-Laurent. Il en résulte un jeu de failles normales orientées NE-SO telles que la faille de Sainte-Julienne qui traverse le territoire et la faille de Saint-Cuthbert qui marque le contact entre les roches cristallines et les roches sédimentaires (figure 6-7). Ces failles normales pourraient constituer des zones intéressantes pour l'exploitation de l'eau souterraine dans le sens où elles recouperaient un nombre important de fractures.

La fracturation du socle rocheux cristallin peut être très hétérogène et variable. La perméabilité des aquifères de roches cristallines est donc très variable allant de quasi imperméables à très perméables. Une zone très fracturée a été détectée grâce à des études géophysiques (tir sismique) dans la municipalité de Saint-Barthélemy. Les puits interceptant la zone très fracturée (manifestée par une dépression importante dans le socle rocheux) sont très productifs. Selon le rapport de consultant responsable de l'étude, l'un des puits peut être exploité avec un débit de 68 m³/h (300 GUSPM) sur du long terme (au moins 30 jours). C'est aussi non loin de là (Saint Cuthbert) que se trouve localisée l'entreprise d'embouteillage d'eau Amaro, qui soutire l'eau du socle rocheux cristallin. D'autres municipalités, telles que Saint-Ambroise-De-Kildare et Saint-Jean-de-Matha, puisent aussi leur eau dans le roc cristallin pour l'alimentation en eau potable des citoyens (section 8.1). L'exploitation de volume d'eau dépassant 75 m³/j (seuil pour être considéré un « grand préteur ») dans le socle rocheux cristallin suggère que localement en Lanaudière, le roc cristallin présente une perméabilité importante, probablement causée par une intensification de la fracturation le long des corridors de déformations associés à la faille de Sainte-Julienne et/ou la faille de Saint-Cuthbert (figure 6-7).

7.1.2 Les roches sédimentaires carbonatées – calcaires

Les **roches sédimentaires** (carbonatées) de la Plate-forme du Saint-Laurent reposent sur le socle rocheux cristallin du Bouclier Canadien. Sur le territoire, les roches sédimentaires regroupent différents types de milieux géologiques :

- des mudstones qui constituent des roches sédimentaires avec une granulométrie très fine, étant composées à l'origine d'argile ou de boue. Ces roches présentent une faible perméabilité.
- des shales (shales d'Utica), également nommés schistes, schistes argileux ou argile litée; les shales constituent des roches sédimentaires d'aspect feuilletté ou lité, composées à l'origine de boue et d'argile. Les shales présentent une faible perméabilité à travers les feuillets de la roche. L'eau présente dans les shales est généralement de mauvaise qualité, car les shales peuvent contenir du gaz naturel et du pétrole. Ils se retrouvent sur le côté nord du fleuve Saint-Laurent.
- des calcaires qui présentent une perméabilité variable selon la fracturation ou la karstification de la roche. Il n'existe que peu de karstification sur le territoire de Lanaudière, mis à part au sud-ouest de Joliette (8 km) où l'on peut trouver la grotte du Pont-des-Dalles, nommée « Trou de la Fée ». Cette grotte constitue un réseau de 200 m de galeries développées horizontalement à travers les joints de stratification. Les roches calcaires présentent généralement une fracturation principale horizontale

recoupée par une fracturation verticale ce qui en fait des aquifères relativement perméables selon la densité et la connectivité des fractures.

- du grès qui constitue des roches composées majoritairement de grains de quartz. Ils reposent en discordance sur le socle précambrien. Ils présentent généralement une bonne perméabilité à travers la porosité primaire de la roche, qui s'ajoute à la perméabilité du réseau de fractures.

De plus amples détails sur les roches sédimentaires du territoire (turbidites de Lorraine, shales d'Utica, dolomie de la formation de Theresa, grès de Postdam) sont donnés dans le rapport cartographique de Konstantinovskaya et Malo (2010).

Les roches sédimentaires sont présentes dans les Basses-Terres et sont principalement enfouies sous les sédiments de surface et les argiles de la mer de Champlain. Quelques buttons de roche sédimentaire affleurent dans les Basses-Terres et présentent une morphologie de cuesta (figure 7-2).

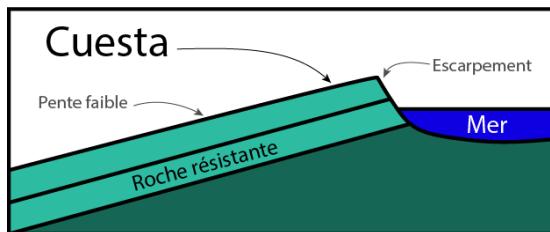


Figure 7-2 : Modèle conceptuel d'une cuesta qui illustre la présence des affleurements de roches sédimentaires dans les Basses-Terres du territoire.

Les milieux aquifères constitués de roches sédimentaires sont exploités par au moins deux municipalités situées sur le territoire de Lanaudière soit la municipalité de Saint-Roch-de-l'Achigan qui possède un puits situé dans le shale (schiste noir) et la municipalité Saint-Charles-Borromée qui capte l'eau souterraine à partir de fractures situées dans le calcaire (section 8.1).

7.2 Les milieux aquifères de type granulaire

La **carte #18a : Limites régionales des milieux aquifères des dépôts meubles** présente les limites régionales des milieux aquifères des dépôts meubles. Les limites régionales des milieux aquifères dans les dépôts meubles ont été localisées en deux étapes distinctes :

Étape #1 : Les polygones délimitant les milieux aquifères affleurants ont d'abord été créés à partir des unités de dépôts de surface (carte #12) selon leur granulométrie et leur potentiel aquifère (sédiments fins, sables ou graviers d'origine fluvioglaciaire).

Étape #2 : Les polygones des milieux aquifères enfouis ont ensuite été interprétés à partir des 44 coupes stratigraphiques produites pour le territoire à l'étude (carte #14). L'interprétation en coupe des données stratigraphiques issues des stations représentant un forage, un puits, un piézomètre ou un point de levée géophysique permet d'évaluer l'étendue verticale et horizontale des milieux aquifères enfouis.

Tel qu'illustrée sur la figure 7-3, le mode de représentation utilisé sur la carte #18 met en évidence la superposition ou le confinement des unités perméables avec les unités imperméables, mais sans identifier l'ordre de superposition des unités.

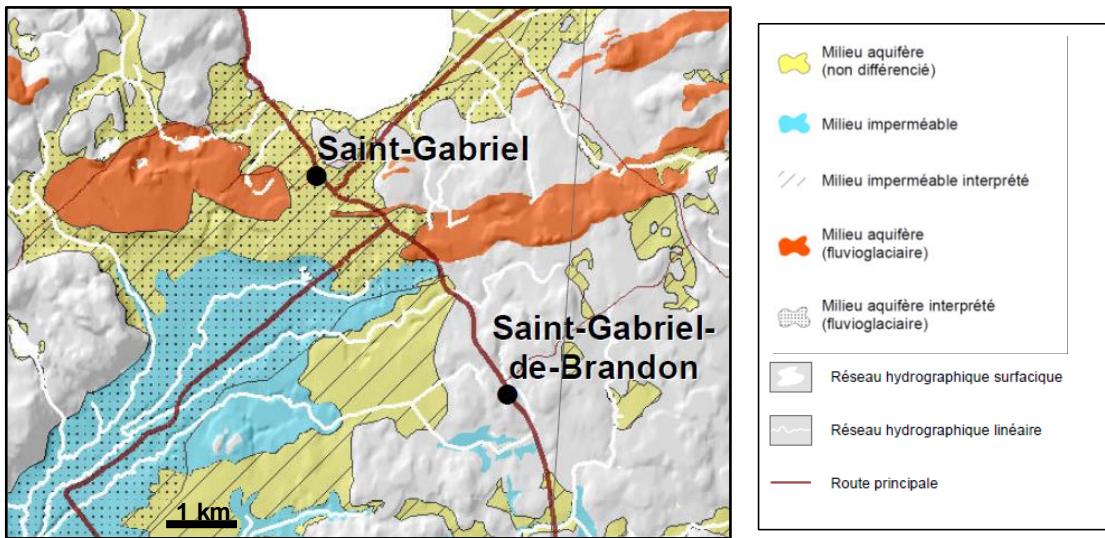


Figure 7-3 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères granulaires.

Les événements de la dernière ère glaciaire et des dernières transgressions et régressions marines ont permis de déposer sur le socle rocheux une accumulation de différents types de formations granulaires, plus ou moins perméables. Il en résulte une accumulation de dépôts granulaires dont les dépôts les plus récents se retrouvent en surface et les dépôts les plus anciens sont situés plus en profondeur. La simplification géologique régionale réalisée dans le cadre du PACES a permis de définir l'empilement d'unités simplifiées suivant :

- En surface, on retrouve tous les sédiments éoliens, alluviaux (mis en place le long d'un système fluvial), lacustres (mis en place notamment dans le lac Lampsilis qui s'est formé au moment où la mer de Champlain s'est retirée) et littoraux. Ces sédiments sont regroupés sous la catégorie des **sédiments granulaires non différenciés de surface** et sont principalement composés de sable et de sable graveleux. Ces formations granulaires sont **perméables** et constituent donc un **bon potentiel aquifère à nappe libre**. Ils sont décrits plus bas dans la section 7.2.1.
- En dessous des sables de surface, on retrouve les **sédiments fins de la mer de Champlain**. Ces sédiments sont principalement constitués d'argile et de silt et sont considérés comme beaucoup **moins perméables que les unités granulaires**. Ils constituent donc une **couche de confinement**. Dans le cas des sédiments marins profonds, cette unité joue le rôle de marqueur chronostratigraphique qui permet, pour toutes les élévations inférieures à 200 m par rapport au niveau moyen des mers (élévation actuelle maximale approximative où on retrouve des dépôts de l'invasion marine), de distinguer les aquifères supérieurs (contenant généralement une nappe libre), et les aquifères inférieurs, dits confinés par la couche d'argile.
- En dessous des argiles de la mer de Champlain, on retrouve des **sédiments fluvioglaciaires et glaciolacustres** qui ont été déposés lors de l'avancée ou du retrait glaciaire. Ces sédiments d'origine glaciaire peuvent être affleurants en surface ou recouverts par des argiles et/ou des sables de surface. Les sédiments fluvioglaciaires regroupent les sédiments proglaciaires, juxtapaglaciaires et les sédiments de la moraine frontale de Saint-Narcisse. Ils sont composés de gravier, de sable, et de blocs dans des proportions variables. Ces sédiments sont généralement **très perméables** et présentent donc de **très bons potentiels aquifères** lorsqu'on retrouve ces dépôts avec une épaisseur suffisante sur des superficies suffisamment grandes. Ils sont décrits plus bas dans la section 7.2.2.

- En profondeur, on retrouve du till. Selon l'interprétation régionale réalisée dans le cadre du PACES, une mince couche de till continu est présumée sur la quasi-totalité du socle rocheux du territoire. Cette couche est principalement composée de diamicton (sédiment composé de particules allant de l'argile aux blocs de roche dans une matrice de boue ou de sable) et est considérée comme étant très peu perméable, c'est-à-dire que des écoulements peuvent avoir lieu entre deux aquifères à travers cette couche, mais elle ne présente pas un potentiel aquifère¹¹.

7.2.1 Milieux aquifères de sable indifférencié de surface

Les sables indifférenciés de surface regroupent tous les types de dépôts, majoritairement composés de sable et pouvant contenir du silt sableux et du gravier ayant été déposés au-dessus des sédiments fins d'eau profonde de la mer de Champlain dans les Basses-Terres et au-dessus des sédiments fluvioglaciaires dans les Hautes-Terres. Les principales formations meubles qui ont été rassemblées sont décrites ci-dessous.

Les sédiments alluviaux sont composés de silts, de sables, de graviers et sont mis en place par les cours d'eau. Ils se retrouvent déposés le long des fleuves et rivières du territoire. On les retrouve notamment dans le creux des vallées dans les Hautes-Terres, au-dessus des sédiments fluvioglaciaires et dans les Basses-Terres, au-dessus des sédiments littoraux, lacustres ou deltaïques glaciomarins et des argiles de la mer de Champlain.

Les principaux sédiments lacustres qu'on retrouve sur le territoire sont des dépôts littoraux et prélittoraux lacustres du lac Lampsilis et sont composés de sable, sable graveleux et gravier stratifiés. Ils sont situés dans les pourtours du lac Saint-Pierre, dans les Basses-Terres et sont présents dans des municipalités telles que Saint-Barthélemy, Saint-Cuthbert, Sainte-Geneviève-de-Berthier, Saint-Thomas, Lanoraie, L'Assomption, Saint-Sulpice, Repentigny, Sainte-Salomés, Sainte-Marie-Salomé, Saint-Paul.

Les sédiments deltaïques glaciomarins se situent majoritairement dans le piedmont et le sud des Hautes-Terres. De grands paléodeltas se retrouvent à l'embouchure des vallées traversées par les grandes rivières, telles que la rivière Ouareau, la rivière Noire et la rivière Mastigouche, dans la vallée élargie à l'est du lac Maskinongé.

Les sédiments littoraux sont principalement composés de sable et se retrouvent sur de petites superficies dans les Basses-Terres.

Les sédiments organiques, notamment le complexe tourbeux de Lanoraie, se situent principalement au-dessus des milieux sableux lacustres et alluvionnaires au niveau des Basses-Terres. Les municipalités avec la plus grande proportion de milieux humides sont Lanoraie, Saint-Thomas, Saint-Paul, Lavaltrie, L'Assomption. Les milieux humides peuvent constituer des zones de recharge ou de décharge de l'eau souterraine dépendamment de leur position géographique. L'hydroconnectivité des milieux humides et des eaux souterraines est variable et doit être investiguée localement.

Sur le territoire de Lanaudière, les municipalités de Saint-Sulpice et de Lanoraie captent l'aquifère de sable de surface pour alimenter leur réseau d'aqueduc municipal (section 8.1). La municipalité de Saint-Sulpice exploite cet aquifère via des drains horizontaux alors que la municipalité de Lanoraie capte l'eau souterraine grâce à une vingtaine de pointes.

¹¹ Dans les Basses-Terres, la mer a pu nettoyer le till des particules fines le rendant perméable. Certaines municipalités telles que Rawdon (Monière) ou l'Épiphanie ont un puits qui intercepte la couche de till. Le till n'a pas été représenté sur la carte des contextes hydrogéologiques.

7.2.2 Milieux aquifères d'origine fluvioglaciaire

L'ensemble des dépôts fluvioglaciaires comprend les sédiments d'épandage proglaciaires subaériens, les sédiments juxtaglaciaires, les sédiments de la moraine frontale de Saint-Narcisse et les sédiments proglaciaires non différenciés. Les sédiments fluvioglaciaires prennent généralement la forme de zone d'épandage, d'eskers (avec des formes longitudinales), de terrasses de kame, de deltas et de moraines. Quelques eskers sont répertoriés sur le territoire et sont visibles sur la carte #12.

Le retrait glaciaire a été influencé par le relief de la région. La topographie est marquée par des linéaments composés de crêtes et de dépressions orientées principalement NNE-SSO, NE-SO, NO-SE, ENE-OSO et E-O (voir **carte #1 : Topographie**). Les dépôts fluvioglaciaires ont été déposés dans les vallées, les talwegs et sur les pentes (Prichonnet et al., 1982). Dans les Hautes-Terres, ces dépôts sont affleurants et comblient les vallées.

En revanche, dans le piedmont et les Basses-Terres, ces dépôts ont été recouverts par les sédiments argileux de la mer de Champlain puis par des sédiments deltaïques, lacustres, alluviaux et éoliens. L'interprétation géologique des limites des dépôts fluvioglaciaires enfouis a été réalisée à partir des coupes stratigraphiques réalisées dans le cadre du PACES, des informations stratigraphiques des forages récoltés dans la base de données du PACES, la topographie et l'épaisseur des dépôts. Ces sédiments sont donc interprétés avec une forme allongée dont l'orientation est cohérente aux linéaments observés dans les Hautes-Terres. Des sédiments de moraine frontale ont également pu être déposés à l'avant du glacier lors de son retrait, parallèlement à la marge glaciaire, laquelle est approximativement parallèle à la moraine de Saint-Narcisse. Quelques sédiments fluvioglaciaires de forme allongée et orientée E-O ont donc été interprétés à partir des coupes stratigraphiques. De plus, l'analyse de la stratigraphie des forages a mis en évidence d'importantes épaisseurs de sédiments fluvioglaciaires/juxtaglaciaires déposées dans le piedmont. Ces dépôts se retrouvent notamment dans les municipalités de Rawdon, de Saint-Félix-de-Valois ainsi que de Sainte-Julienne et Sainte-Mélanie, où les épaisseurs peuvent dépasser 40 m à certains endroits.

La moraine de Saint-Narcisse constitue un cordon morainique majeur affleurant et plongeant localement sous les unités stratigraphiques plus récentes (sédiments de la mer de Champlain et sables indifférenciés postérieurs), qui traverse le territoire d'est en ouest. Cette moraine traverse les Hautes-Terres à l'ouest du territoire et se prolonge dans le piedmont à l'est de Lanaudière.

Plusieurs municipalités sur le territoire de Lanaudière captent un aquifère de sable et gravier d'origine fluvioglaciaire telles que les municipalités de Rawdon, Sainte-Mélanie, Saint-Gabriel, Mandeville, Saint-Damien, Saint-Côme, Saint-Donat, Saint-Zénon et Saint-Michel-des-Saints (section 8.1).

7.3 Modèle conceptuel des contextes stratigraphiques régionaux

Le diagramme barrière (section 6.3.6) permet d'apprécier les séquences stratigraphiques les plus représentatives du territoire. Quatre grands contextes principaux dominants caractérisent l'ensemble du territoire et sont présentés à la section 7.3.1. Cette section-ci représente et décrit ces mêmes contextes régionaux, mais en utilisant des coupes conceptuelles.

7.3.1 Contextes stratigraphiques régionaux

Quatre modèles conceptuels des contextes hydrogéologiques régionaux ont été identifiés et sont présentés sur la figure 7-4.

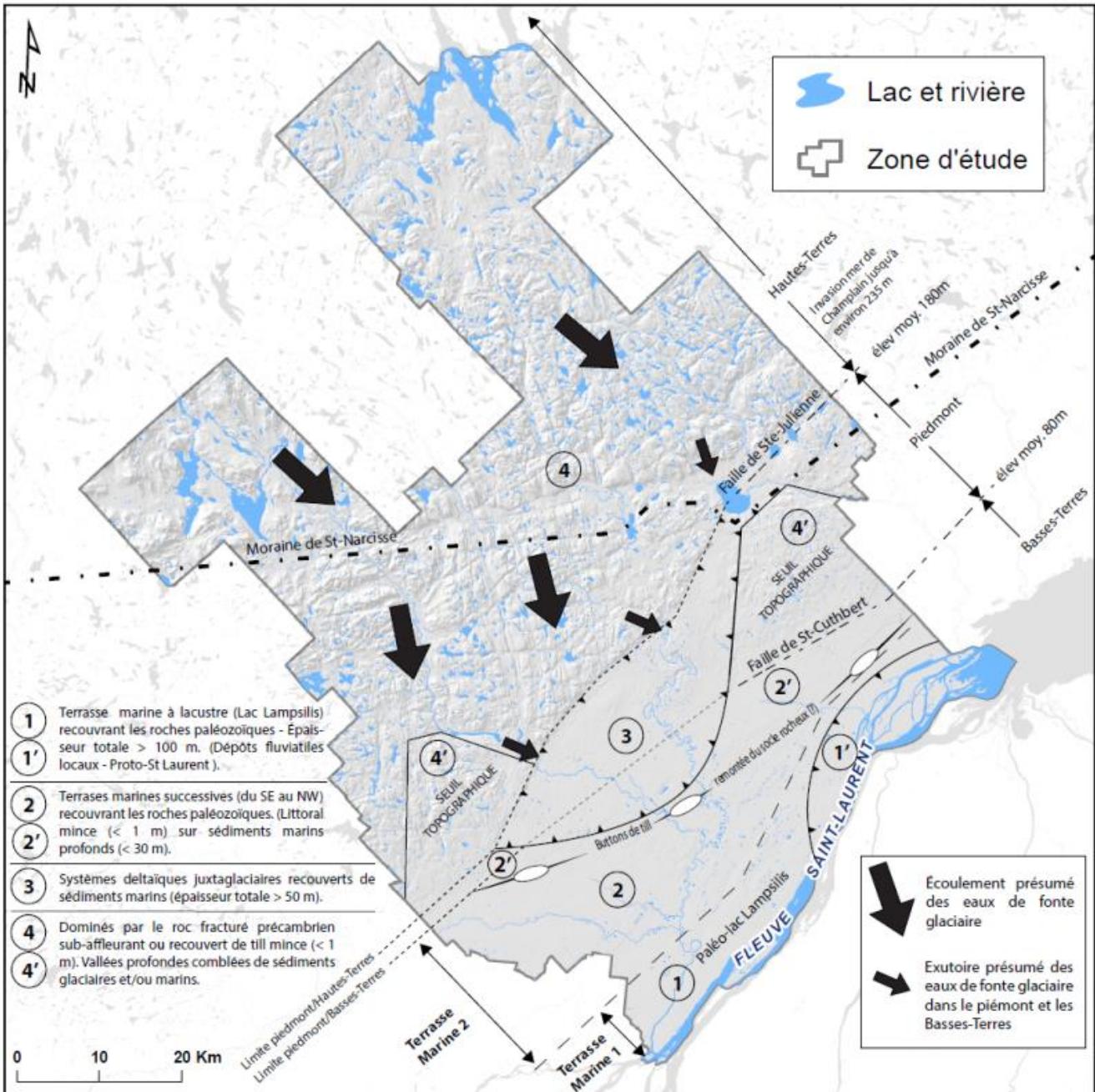


Figure 7-4 : Découpage et interprétation des grands ensembles géomorphologiques et géologiques (modèles conceptuels préliminaires) de Lanaudière.

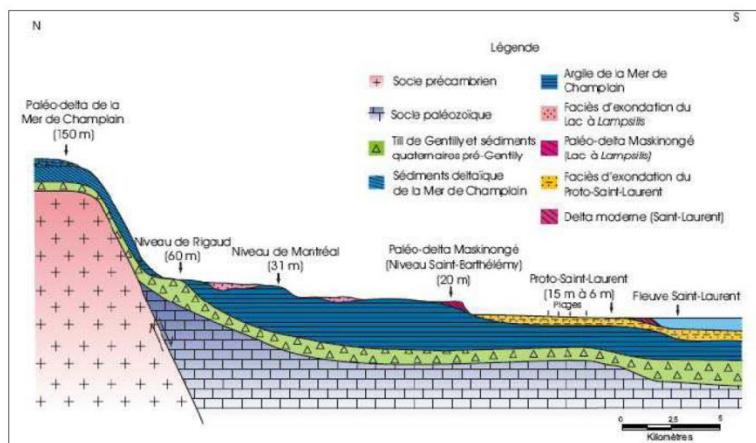
Contexte #1

Le premier contexte est localisé dans la portion sud-est du territoire et s'étire le long du fleuve Saint-Laurent. En surface, ce contexte est caractérisé par les dépôts du proto-fleuve-Saint-Laurent (dépôts fluviaux) dans le coin nord-est et par des dépôts du paléo-lac-Lampsilis dans le coin sud-ouest (dépôts lacustres). Le tout se superpose à d'épais sédiments marins profonds (argile marine) de la mer de Champlain. L'épaisseur totale des dépôts peut atteindre localement plus de 100 m (carte #15 : Épaisseur des dépôts meubles). À cet endroit, la couche d'argile atteint 75 m d'épaisseur (forage de BD géospatiale). Sous les dépôts marins profonds, il est possible de retrouver

des dépôts glaciaires, comme du till, ou éventuellement des dépôts fluvioglaciaires quaternaires, superposés aux roches sédimentaires paléozoïques.

Contexte #2

Le second contexte correspond à une succession de terrasses marines dont les limites sont formées par des petits talus en surface. Ces talus tirent leur origine du retrait progressif de la Mer de Champlain. Les talus successifs sont montrés à la figure 7-5 tirée de Bellavance (2012). La limite entre le socle rocheux précambrien et les roches sédimentaires paléozoïques correspond approximativement à la position de la faille de Saint-Cuthbert présentée à la figure 6-7.



Source : Lamarche, L et al. 2006

Figure 7-5 : Coupe stratigraphique conceptuelle d'orientation nord – Sud réalisé à la hauteur de la rivière Maskinongé (tirée de Lamarche et al. (2006).

Des buttons de till (affleurements de sédiments glaciaires à travers les sédiments marins postérieurs) ont été observés sur le terrain et peuvent être reliés entre eux à partir de la carte des dépôts meubles (carte #12 : Géologie du Quaternaire). Leur origine n'est pas encore clairement comprise.

Contexte #3

Le troisième contexte hydrogéologique régional correspond à un système complexe de dépôts deltaïques juxtaglaciaires. Ils ont été interprétés à partir de la carte d'épaisseur des dépôts meubles (carte #15 : Épaisseur des dépôts meubles). L'épaisseur totale du système est généralement supérieure à 50 m et peut atteindre 100 m localement. Il s'agit d'un contexte très favorable à la présence d'importants aquifères. À l'image de la coupe stratigraphique PACES #11 (figure 7-6), des unités graveleuses épaisses peuvent être trouvées sous d'importantes épaisseurs d'argile. Ce même type d'architecture de dépôt a été observé dans les environs de Sainte-Mélanie (figure 7-7). Dans les environs du lac Maskinongé (limite nord-est du 3^e grand ensemble), la superposition de la moraine de saint-Narcisse et des sédiments juxtaglaciaires peut occasionner de très fortes épaisseurs de dépôts perméables. Le système tire son origine de l'accumulation de sédiments déplacés avec les eaux de fonte glaciaires drainées des Hautes-Terres vers le piedmont alors que la marge glaciaire devait être plus haute vers le nord. La rupture de pente entre les Hautes-Terres et le piedmont a pu favoriser l'épanchement de ces sédiments sous la forme de delta.

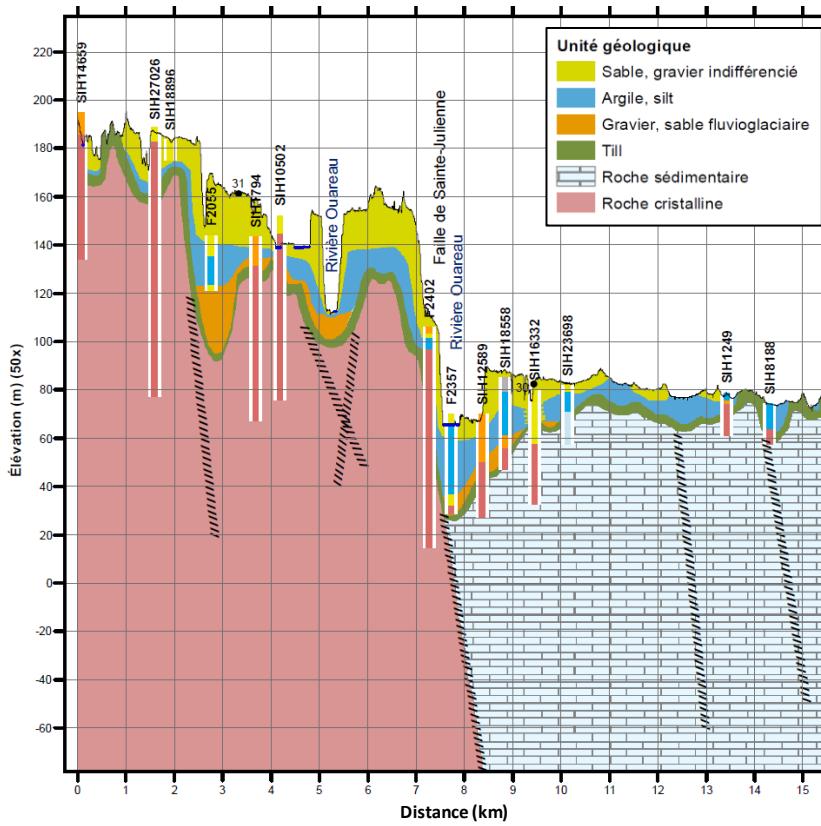


Figure 7-6 : Partie nord de la coupe stratigraphique #11 (figure 6-11) dans les environs de Rawdon et de la rivière Ouareau montrant d'importantes épaisseurs d'unités graveleuses (en orange) sous un dépôt d'argile (en bleu).

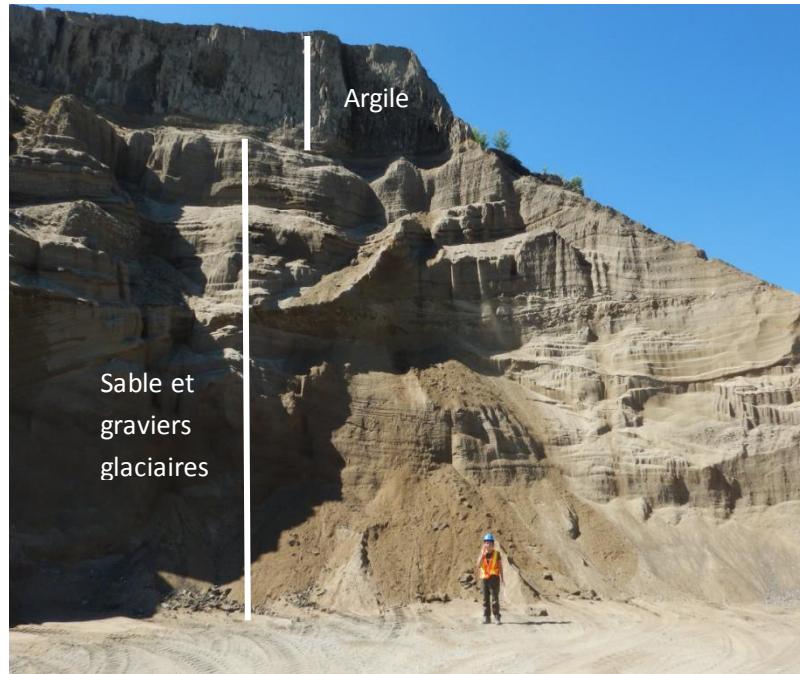


Figure 7-7 : Coupe stratigraphique fraîche observée dans une sablière en activité dans les environs de Sainte-Mélanie (Station 011 observée à l'été 2018 et localisée sur la figure 3-1).

Contexte #4

Le quatrième contexte est constitué des Hautes-Terres dont la limite avec le piedmont est placée à environ 180 m d'élévation. Ce contexte est dominé par la présence des roches précambriques du Bouclier canadien qui affleurent sur les plus hauts sommets et qui sont généralement couvertes d'une mince couche de till discontinue. On y trouve des vallées incisées profondes qui peuvent être enfouies comprenant des sédiments fluvioglaciaires pouvant atteindre d'importantes épaisseurs (> 30 m). Plusieurs familles de linéaments sont observées. Elles correspondent aux grandes orientations des structures géologiques du territoire (voir section 6.1). En général, les orientations nord/nord-ouest – sud/sud-est à nord-ouest / sud-est dominant, et sont présumées avoir contrôlé la direction d'écoulement des eaux de fonte glaciaires tel que montré à la figure 7-4. Deux seuils topographiques sont identifiés à partir du modèle numérique d'élévation (*Carte #3*). Le seuil topographique localisé à l'est de la zone d'étude (figure 7-4) présente un intérêt particulier pour l'étude de l'écoulement de l'eau souterraine en milieu fracturé. Il est bordé au nord et au sud par des failles d'importance régionale associées au graben du fleuve Saint-Laurent, et son fort potentiel aquifère est présumé par la présence de l'entreprise d'embouteillage Amaro Inc. qui embouteille plus de 4 millions de bouteilles de 18,9 L par année d'eau prélevée dans le socle rocheux.

7.3.2 Coupe conceptuelle

La carte des grands contextes stratigraphiques régionaux (figure 7-4) a permis de créer une coupe conceptuelle illustrant la séquence de déposition des différentes unités géologiques. Cette coupe conceptuelle (figure 7-8) illustre l'ordre d'empilement des unités géologiques et ainsi les différents contextes hydrogéologiques retrouvés sur le territoire. Les contextes hydrogéologiques sont présentés à la prochaine section (section 7.4).

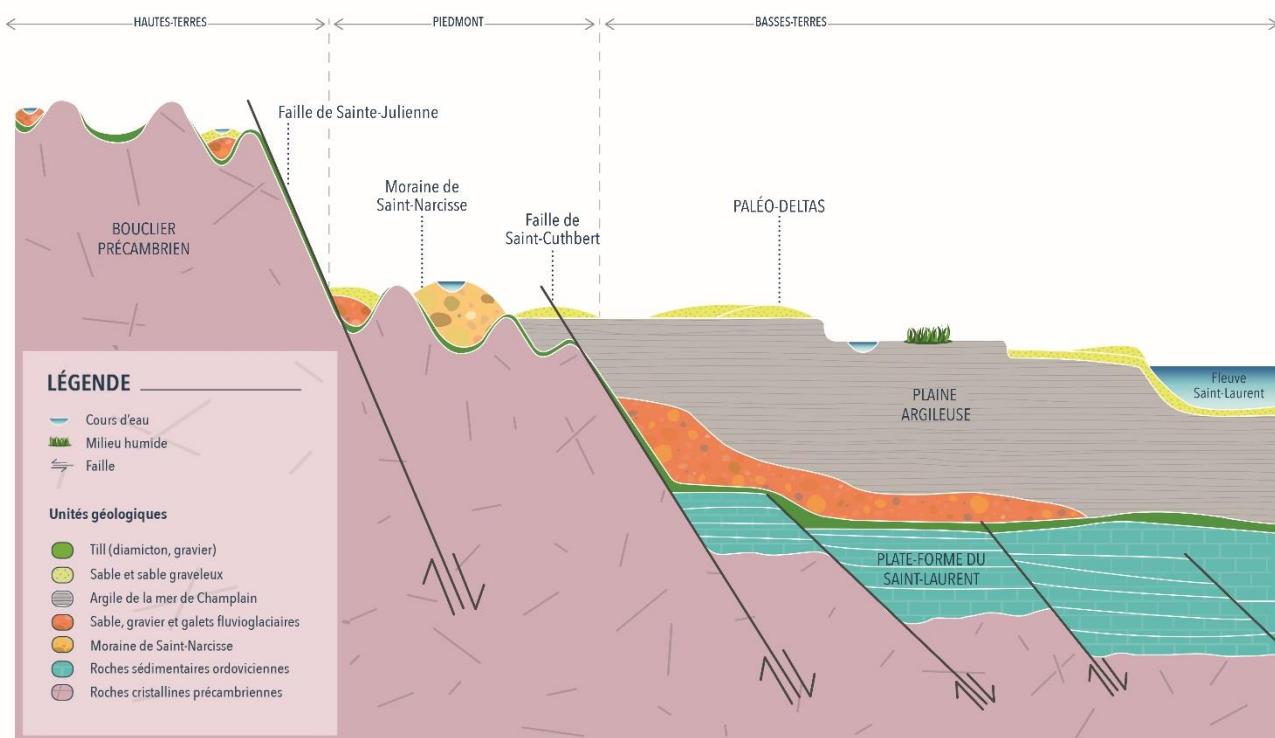


Figure 7-8 : Coupe conceptuelle des grands ensembles géomorphologiques et géologiques de Lanaudière.

7.4 Contextes hydrogéologiques

Un total de **9 contextes hydrogéologiques** sont interprétés pour le territoire municipalisé de Lanaudière et sont présentés sur la *carte #17 : Contextes hydrogéologiques*. La carte #17 combine en fait les informations de deux cartes : les limites régionales des milieux aquifères des dépôts meubles (carte #18a) et les limites des milieux aquifères de roc fracturé (carte #18b). Elle localise ainsi les **milieux aquifères affleurants** et **enfouis** tout en indiquant leur séquence d'empilement.

Le jeu de couleur de la carte des contextes hydrogéologiques fait référence aux empilements géologiques (informations stratigraphiques de la surface jusqu'au roc, figure 7-9) et permet d'intégrer la 3^e dimension à une carte en 2D.

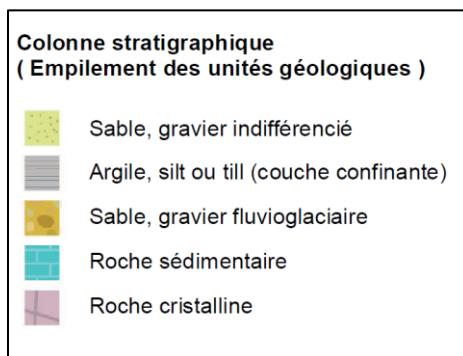


Figure 7-9 : Unités hydrogéologiques simplifiées. Ces unités hydrogéologiques constituent des séquences d'empilement formant les contextes hydrogéologiques présentés sur la carte des contextes hydrogéologiques (carte #17).

Les aquifères enfouis ont été interprétés à partir des coupes stratigraphiques interprétées et des informations stratigraphiques indiquées aux forages de la base de données (provenant des forages du SIH, des rapports de consultants, du MTQ, du SIGEOM, du SIGPEG, du MRN, de l'UQTR et des BD municipales et privées) (figure 7-10). Le terme « milieu » aquifère fait référence, dans le présent rapport, aux formations géologiques perméables où l'eau souterraine serait exploitable si elle est présente. La qualité et la quantité d'eau de ces milieux aquifères ne sont donc pas prises en compte par la carte des contextes hydrogéologiques. De plus, cette carte a été réalisée à une **échelle régionale** (échelle de 1:250 000) avec les informations existantes et disponibles avant la date du présent rapport (l'inventaire des données a été complété en janvier 2021). Les cartes des contextes hydrogéologiques ne remplacent donc pas une étude locale de recherche en eau, mais visent plutôt à cibler des potentiels hydrogéologiques régionaux interprétés à partir de type de sédiments, et à apporter une meilleure compréhension de l'hydrogéologie du territoire.

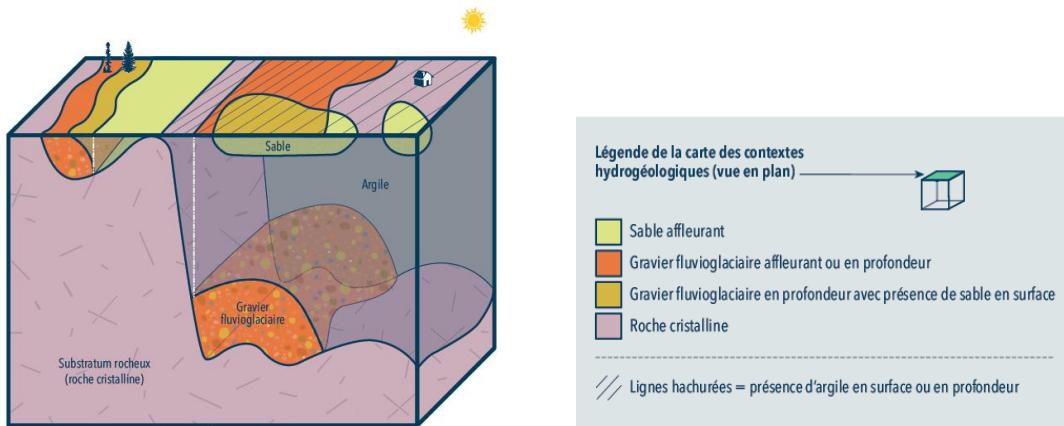


Figure 7-10 : Modèle conceptuel simplifié expliquant l'utilisation du jeu de couleur de la carte des contextes hydrogéologiques afin de décrire les milieux aquifères affleurants en surface et interprétés en profondeur.

Le tableau 7-1 résume les proportions et les superficies de chaque contexte hydrogéologique présent sur le territoire.

Tableau 7-1 : Résumé des proportions et des superficies de chaque contexte hydrogéologique présenté sur la carte #17 – Contextes hydrogéologiques.

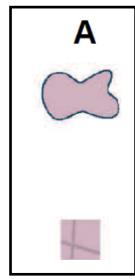
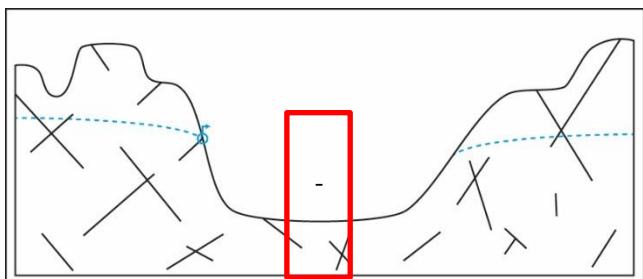
Contexte hydrogéologique	Superficie sur le territoire (km ²)	% du territoire	% dans les HT	% dans le piedmont	% dans les BT	% des HT	% du piedmont	% des BT
A	2972	51%	91%	9%	1%	76%	39%	1%
B	108	2%	0%	0%	100%	0%	0%	6%
C	47	1%	97%	3%	0%	1%	<1%	0%
D	599	10%	96%	3%	1%	16%	3%	<1%
E	176	3%	12%	48%	39%	1%	13%	4%
F	306	5%	35%	40%	25%	3%	18%	5%
G	1077	18%	8%	10%	82%	2%	16%	53%
H	89	2%	8%	77%	16%	<1%	10%	1%
I	508	9%	0%	0%	100%	0%	<1%	30%

Les caractéristiques de chacun de ces contextes hydrogéologiques sont décrites dans les prochaines sections. Chacun des contextes y est aussi illustré avec deux figures : la première figure localise le contexte avec un ou deux encadrés rouges dans son environnement géologique et la deuxième figure indique, dans la partie supérieure, sa représentation graphique sur la carte #17 et, dans la partie inférieure, sa colonne stratigraphique (empilement des unités géologiques).

7.4.1 Contexte dominé par le milieu aquifère cristallin fracturé

La carte des contextes hydrogéologiques identifie en rose les zones où le premier aquifère rencontré est un aquifère **cristallin fracturé**. La carte #17 identifie deux contextes hydrogéologiques en milieux cristallins : le contexte A (couleur rose) et H (couleur rose hachurée).

Contexte A- Milieu aquifère cristallin fracturé, à nappe libre ou captive



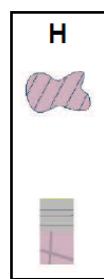
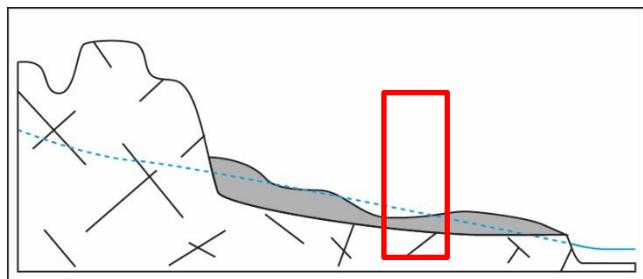
Le contexte hydrogéologique A regroupe l'ensemble des aquifères de socle rocheux fracturé qui affleurent en surface. Les milieux fracturés ont la particularité d'être très complexes, c'est-à-dire qu'ils peuvent être extrêmement perméables localement à certains endroits, alors qu'ils sont quasi imperméables à d'autres endroits. Ce contexte hydrogéologique est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine libre ou captive selon le degré de fracturation. En effet, si une zone fracturée productive située en profondeur est surmontée par du roc non fracturé et que le niveau piézométrique est au-dessus du toit de la fracture, alors on peut parler de conditions captives dans un roc fracturé qui n'est pas recouvert par des sédiments imperméables (ex. argiles de la mer de Champlain).

La recharge y est relativement faible, mais lors de fortes variations du relief, ce contexte hydrogéologique peut présenter des zones de résurgences des eaux souterraines sous forme de sources.

Le contexte A se retrouve sur **51%** du territoire (tableau 7-1). Il est caractéristique des hauts reliefs du territoire de Lanaudière et se retrouve principalement au niveau des Hautes-Terres (76% des Hautes-Terres) et sur une partie des piedmonts (39% du piedmont). Le contexte A est principalement présent sur la MRC de la Matawinie.

Le socle rocheux fracturé cristallin est présent partout sur le territoire, mais est enfoui à certains endroits sous une épaisse couche de roches sédimentaires et de dépôts granulaires, rendant *quasi* inaccessible ou très coûteuse l'exploitation d'éventuels aquifères fracturés cristallins, notamment dans les Basses-Terres. Le milieu aquifère cristallin n'est donc pas représenté sur la carte des contextes hydrogéologiques lorsqu'il est enfoui sous des dépôts granulaires ou des roches sédimentaires.

Contexte H- Milieu aquifère cristallin fracturé recouvert par une couche confinante (milieu imperméable)



Le contexte hydrogéologique H identifie les milieux cristallins fracturés confinés par une unité imperméable (argiles et silts de la mer de Champlain ou silts déposés en fond de lac). Il est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine captive. La recharge y est très faible à nulle. Sur des zones où l'unité imperméable est plus mince ou quasi absente, la nappe confinée peut localement affleurer créant des zones propices aux milieux humides.

Le contexte H est peu présent dans Lanaudière, il représente seulement **2%** du territoire (tableau 7-1). Il se retrouve notamment sur les municipalités de Saint-Ambroise-de-Kildare et de Rawdon.

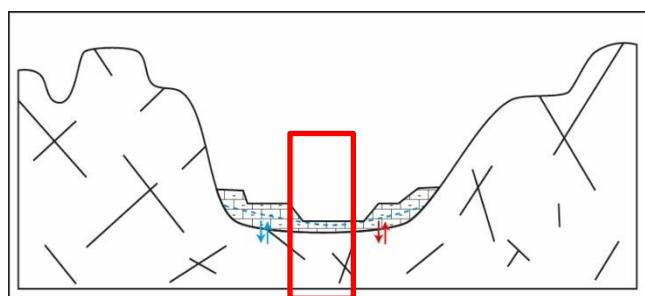
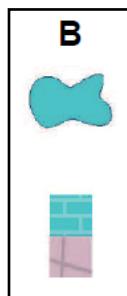
7.4.2 Contexte dominé par le milieu aquifère sédimentaire fracturé

La carte des contextes hydrogéologiques identifie en bleu les zones où le premier aquifère rencontré est un **aquifère sédimentaire fracturé**. La carte #17 identifie deux contextes hydrogéologiques en milieu sédimentaire : le contexte B (couleur bleue) et I (couleur bleue hachurée).

Contexte B- Deux milieux aquifères de roc fracturé superposés (cristallin et sédimentaire), à nappe libre ou captive

Le contexte hydrogéologique B identifie les milieux aquifères fracturés sédimentaires qui reposent sur les milieux aquifères cristallins. Des connexions entre ces deux milieux aquifères peuvent avoir lieu localement.

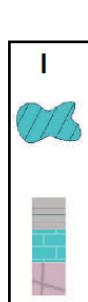
Le contexte B se retrouve sur **2%** du territoire (tableau 7-1). Il est caractérisé par la présence



d'une ou deux nappes d'eau souterraine libre ou captive selon le degré de fracturation. La recharge y est relativement faible, mais aux endroits de forte variation du relief ce contexte peut présenter des zones de résurgences des eaux souterraines sous forme de source.

On retrouve rarement ce contexte sur le territoire. Il est exclusivement présent dans les Basses-Terres, aux endroits où des remontées du socle rocheux sont suffisamment élevées pour ne pas avoir été recouvertes par les argiles de la mer de Champlain. Les remontées du socle rocheux sédimentaire forment un alignement de buttons (cuesta) orientés est-ouest. On retrouve localement ce contexte dans les municipalités suivantes : Saint-Lin-Laurentides, Saint-Esprit, Saint-Alexis, Saint-Jacques, Crabtree, Notre-Dame-de-Lourdes, Saint-Thomas, Sainte-Élisabeth, Sainte-Geneviève-de-Berthier.

Contexte I- Deux milieux aquifères de roc fracturé superposés (cristallin et sédimentaire), recouverts par une couche confinante (milieu imperméable)



Le contexte hydrogéologique I identifie les milieux sédimentaires fracturés confinés par une unité imperméable (argiles et silts de la mer de Champlain ou silts déposés en fond de lac).

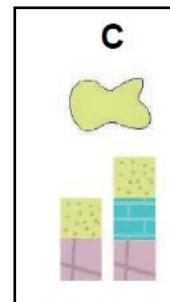
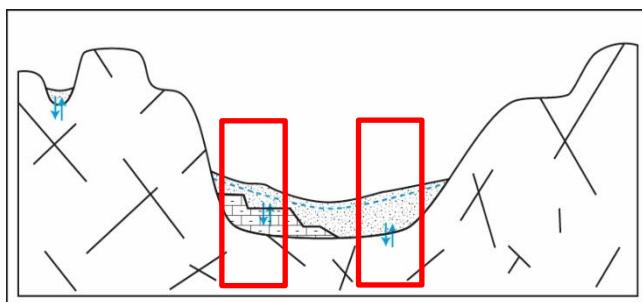
Il est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine à nappe captive. La recharge y est très faible à nulle. Sur des zones où l'unité imperméable est plus mince ou quasi absente, la nappe confinée peut localement affleurer créant des zones propices aux milieux humides.

Le contexte I se retrouve uniquement dans les Basses-Terres et représente **9%** de tout le territoire (tableau 7-1). On le retrouve notamment sur le territoire des municipalités suivantes : Saint-Pierre, Sainte-Ambroise-de-Kildare, Saint-Norbert et Saint-Cuthbert.

7.4.3 Contexte dominé par les milieux aquifères granulaires composés des dépôts quaternaires

Les sables indifférenciés de surface regroupent à la fois des sables littoraux déposés par la mer de Champlain, des paléodeltas ainsi que des dépôts fluviaux et deltaïques récents. Sur le territoire de Lanaudière, les sables indifférenciés de surface sont déposés soit sur le socle rocheux (contexte C), soit sur les dépôts fluvioglaciaires (contexte D), soit au-dessus des argiles de la mer de Champlain déposées sur des dépôts fluvioglaciaires (contexte F) ou soit sur les argiles de la mer de Champlain qui est directement déposée sur le socle rocheux (contexte G).

Contexte C- Milieu aquifère granulaire à nappe libre, en possible connexion avec les aquifères de socle rocheux fracturé



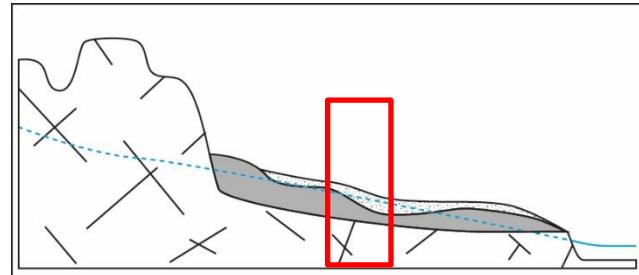
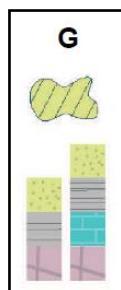
Le contexte hydrogéologique C représente les zones où des dépôts granulaires indifférenciés de surface sont déposés sur le socle rocheux cristallin ou carbonaté. Localement, la nappe de surface peut présenter des connexions avec ces aquifères de roc fracturé sous-jacents si la densité de fracturation du socle rocheux est suffisamment importante et connectée avec les dépôts meubles.

Les aquifères granulaires de surface se caractérisent par la présence d'une nappe d'eau souterraine libre, c'est-à-dire qui est en équilibre avec la pression atmosphérique. La recharge y est relativement élevée et la nappe libre affleure suivant l'hydrographie de surface (lac et cours d'eau).

Le contexte C est peu présent sur le territoire et représente seulement **1%** de toute sa superficie (tableau 7-1). On le retrouve très localement et sporadiquement dans les Hautes-Terres.

Contexte G- Deux aquifères perméables et semi-perméables superposés, en milieu poreux et fracturé, à nappe libre et captive

Le contexte hydrogéologique G comprend deux aquifères perméables ou semi-perméables, séparés par une couche de confinement. On y retrouve un aquifère perméable en milieu poreux en surface, reposant sur une unité imperméable qui confine d'éventuels aquifères dans le socle rocheux fracturé.



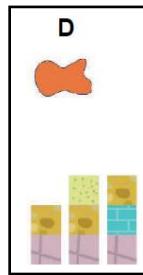
Dans ce contexte, l'aquifère perméable en milieu poreux de surface est caractérisé par la présence d'une nappe d'eau souterraine libre exploitable selon son épaisseur. Les aquifères présents dans le socle rocheux fracturé ont une nappe captive confinée par une unité imperméable de plusieurs mètres, voire plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

On retrouve le contexte G principalement dans les Basses-Terres ainsi que dans le creux des vallées du piedmont et du sud des Hautes-Terres. Le contexte G couvre **18%** du territoire (tableau 7-1).

Dans le piedmont, on retrouve des sables deltaïques et des alluvions déposés dans les grandes vallées qui ont été envahies par la mer de Champlain. Ce contexte est notamment présent dans les municipalités telles que Rawdon dans la vallée de la rivière Ouareau, dans les municipalités de Sainte-Mélanie et Saint-Félix-de-Valois dans la vallée de la rivière Noire, et dans la municipalité de Saint-Gabriel-de-Brandon, à l'est du lac Maskinongé, dans la vallée de la rivière Mastigouche. Dans le Basses-Terres, le contexte G se retrouve majoritairement dans les municipalités qui bordent le fleuve Saint-Laurent où on retrouve de grandes plaines alluviales déposées sur une importante épaisseur d'argile. Les municipalités suivantes présentent majoritairement ce contexte : Saint-Barthélemy, Saint-Ignace-de-Loyola, Visitation-de-l'Île-Dupas, Berthierville, Saint-Thomas, Lanoraie, Lavaltrie, Saint-Sulpice, Charlemagne et Repentigny.

7.4.4 Les sédiments fluvioglaciaires et glaciolacustres

Contexte D- Milieu aquifère granulaire d'origine fluvioglaciaire ou glaciolacustre à nappe libre



Le contexte D regroupe l'ensemble des aquifères perméables, en milieu poreux à nappe libre d'origine fluvioglaciaire ou glaciolacustre.

Le contexte D est particulièrement présent dans les Hautes-Terres ainsi que dans la partie ouest et est du piedmont. Il couvre **10%** du territoire (tableau 7-1). Les aquifères granulaires déposés sur le socle rocheux fracturé se retrouvent en bordure des cours d'eau et des vallées qui sillonnent les Hautes-Terres. Ce contexte se retrouve principalement dans les municipalités de Saint-Michel-des-Saints, Saint-Zénon, Mandeville, Saint-Damien, Sainte-Émémie-de-l'Énergie, Saint-Côme, Saint-Alphonse-de-Rodriguez, Saint-Donat, Notre-Dame-de-la-Merci, Entrelacs, Chertsey, Saint-Calixte, et une partie du territoire de Saint-Barthélemy, Saint-Cuthbert, Saint-Norbert et Sainte-Julienne.

Dans certains cas, notamment au niveau des Hautes-Terres, les sédiments fluvioglaciaires sont surmontés par des sables indifférenciés de surface. La nappe libre occupera l'ensemble des milieux aquifères, à la fois les sables de surface et les graviers fluvioglaciaires sous-jacents. Les deux unités géologiques sont donc regroupées dans le même contexte. On retrouve notamment, quelques dépôts de sables indifférenciés de surface d'origine deltaïque et littorale glaciolacustre déposés directement sur les graviers fluvioglaciaires, sur le territoire des municipalités de Saint-Donat et de Notre-Dame-de-la-Merci.

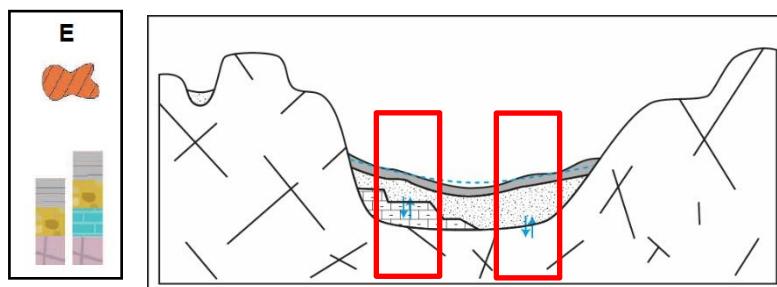
Étant donné que les milieux aquifères granulaires sont déposés sur le socle rocheux fracturé, des échanges hydrauliques peuvent avoir lieu entre le milieu poreux et le milieu fracturé si des fractures ou des failles sont présentes dans le socle rocheux.

La moraine de Saint-Narcisse constitue un cordon fluvioglaciaire dont la crête morainique est principalement représentée par le contexte D.

Contexte E- Milieu aquifère granulaire, d'origine fluvioglaciaire à nappe captive

Le contexte hydrogéologique E regroupe l'ensemble des milieux aquifères granulaires, d'origine fluvioglaciaire qui sont enfouis sous une unité imperméable qui confine la nappe.

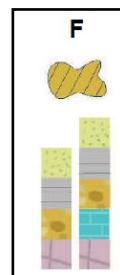
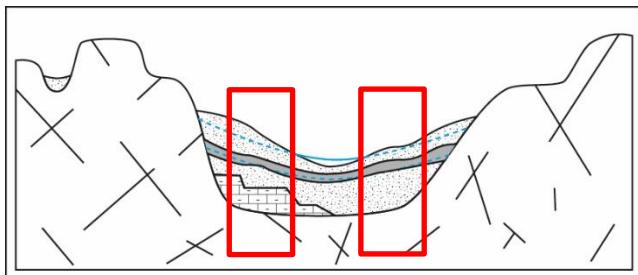
Dans le contexte E, l'aquifère en milieu poreux est confiné par une couche d'argile



ou de silts (provenant de la mer de Champlain ou de sédiments de fond de lac) et se caractérise par la présence d'une nappe captive. La recharge y est très faible à nulle. D'éventuelles connexions hydrauliques peuvent avoir lieu localement avec le milieu aquifère de roc fracturé. La délimitation des milieux aquifères a été réalisée à l'échelle régionale et ne se substitue en aucun cas à des études hydrogéologiques locales. L'interprétation du contexte E peut toutefois constituer de bonnes cibles d'investigation future, pour s'assurer qu'en cas de présence d'une nappe confinée, elle soit adéquatement protégée.

Le contexte E se retrouve uniquement dans les Basses-Terres et est particulièrement présent au pied du grand corridor où une épaisseur de plus de 40 m a été interceptée par certains puits sur le territoire des municipalités de Sainte-Mélanie, Saint-Félix-de-Valois et Saint-Gabriel-de-Brandon. Le contexte E couvre **3%** du territoire (tableau 7-1).

F- Deux aquifères perméables superposés, en milieu poreux, à nappe libre et captive



Ce contexte hydrogéologique regroupe l'ensemble des environnements où deux aquifères perméables en milieu poreux sont séparés par une unité imperméable.

Dans ce contexte, l'aquifère perméable de surface est à nappe libre et l'aquifère enfoui est confiné par une unité imperméable. Le

milieu aquifère peut présenter localement des connexions hydrauliques avec le socle rocheux sous-jacent. Lorsque le milieu aquifère granulaire est déposé sur des shales (notamment dans les Basses-Terres), l'eau souterraine peut présenter une mauvaise qualité avec présence de gaz ou de pétrole. La recharge est relativement élevée dans l'aquifère de surface, mais elle est faible à nulle dans l'aquifère confiné. Localement, la nappe libre peut affleurer dans l'hydrographie de surface, i.e. dans un lac ou un cours d'eau.

On retrouve le contexte F sur d'importantes superficies sur le territoire de la municipalité de Saint-Lin-Laurentides et à l'embouchure des rivières Ouareau et Noire au pied du grand corridor de dépôts fluvioglaciaires. Ce contexte se retrouve également sur de très petites zones sur les municipalités de Saint-Cuthbert, Saint-Barthélemy, Lanoraie, Saint-Thomas, Saint-Sulpice et l'Épiphanie. Le contexte F couvre **5%** du territoire.

À certains endroits de la moraine de Saint-Narcisse, notamment dans le sud-est des Hautes-Terres et le piedmont, la moraine se retrouve enfouie sous les sédiments fins de la mer de Champlain et des paléodeltas. Les portions enfouies situées de part et d'autre de la crête morainique se retrouvent avec le contexte F (tableau 7-1).

7.4.5 Synthèse des contextes hydrogéologiques

En résumé, les **Hautes-Terres** (HT) sont marquées par 4 grands types de contextes dominants. D'une part le roc affleurant (contexte A), d'autre part les contextes où une couche confinante constituée de silt ou d'argile est présente (contexte F et G), et finalement le contexte de dépôts granulaires perméables d'origine fluvioglaciaire affleurants (contexte D). Le secteur de Saint-Donat est aussi caractérisé par la présence du contexte C. Les **Basses-Terres** (BT) quant à elles sont dominées par les contextes caractérisés par la présence des argiles marines soient affleurantes (contextes I et E) ou surmontées par des sables indifférenciés (G et F). Les Basses-Terres sont aussi caractérisées par la présence de l'aquifère de roc fracturé sédimentaire.

La localisation des contextes hydrogéologiques présentée sous forme de texte dans les sections précédentes est aussi reprise ici sous la forme de deux tableaux résumés (tableau 7-1 et tableau 7-2).

Tableau 7-2 : Synthèse de la localisation des contextes hydrogéologiques par rapport aux municipalités.

<i>Contexte hydrogéologique</i>	<i>Municipalités où se manifeste majoritairement le contexte hydrogéologique</i>	<i>Localisation principale du contexte hydrogéologique</i>
A	MRC Matawinie	Se retrouve où le socle rocheux est affleurant dans les Hautes-Terres
B	Saint-Lin-Laurentides Saint-Esprit Saint-Alexis Saint-Jacques Crabtree Notre-Dame-de-Lourdes Saint-Thomas Sainte-Élisabeth Sainte-Geneviève-de-Berthier	Se retrouve au droit des buttons de roches sédimentaires (cuesta) dans les Basses-Terres
C	MRC Matawinie	Se retrouve très localement et sporadiquement dans les Hautes-Terres
D	Saint-Michel-des-Saints Saint-Zénon Mandeville Saint-Damien Sainte-Émélie-de-l'Énergie Saint-Côme Saint-Alphonse-de-Rodriguez Saint-Donat Notre-Dame-de-la-Merci Entrelacs Chertsey Saint-Calixte, Une partie des territoires de : Saint-Barthélemy Saint-Cuthbert Saint-Norbert Sainte-Julienne	Se retrouve surtout dans les Hautes-Terres et le piedmont, dans les vallées
E	Sainte-Mélanie Saint-Félix-de-Valois Saint-Gabriel-de-Brandon	Se retrouve dans les Basses-Terres et le piedmont, surtout au pied du grand corridor de dépôts fluvioglaciaires.

<i>Contexte hydrogéologique</i>	<i>Municipalités où se manifeste majoritairement le contexte hydrogéologique</i>	<i>Localisation principale du contexte hydrogéologique</i>
	Saint-Ambroise-de-Kildare Saint-Liguori Rawdon Saint-Esprit Saint-Élisabeth.	
F	Saint-Lin-Laurentide Sainte-Julienne Rawdon Sainte-Mélanie Saint-Félix-de-Valoix Se retrouve également sur de petites zones sur les municipalités de : Saint-Cuthbert Saint-Barthélemy Lanoraie Saint-Thomas Saint-Sulpice l'Épiphanie.	Se retrouve dans les Basses-Terres et le piedmont, surtout au pied du grand corridor de dépôts fluvioglaciaires.
G	Piedmont : Rawdon Sainte-Mélanie Saint-Félix-de-Valois Saint-Gabriel-de-Brandon Basses-Terres : Saint-Barthélemy Saint-Ignace-de-Loyola Visitation-de-l'Île-Dupas Berthierville Saint-Thomas Lanoraie Lavaltrie Saint-Sulpice Charlemagne Repentigny.	Se retrouve principalement dans les Basses-Terres ainsi que dans le creux des vallées du piedmont et du sud des Hautes-Terres
H	Saint-Ambroise-de-Kildare Rawdon Saint-Roch-Ouest Saint-Liguori Sainte-Marie-Salomé Saint-Pierre	Se retrouve surtout dans le piedmont
I	Sainte-Ambroise-de-Kildare Saint-Jacques Saint-Norbert Sainte-Élisabeth Saint-Cuthbert Saint-Barthélemy.	Se retrouve dans les Basses-Terres sous les argiles marines de la mer de Champlain

7.5 Les propriétés hydrauliques

La détermination des propriétés hydrauliques est importante afin d'évaluer la quantité d'eau qu'un milieu géologique est susceptible de contenir et pour estimer les quantités exploitables. Cette section définit d'abord les propriétés hydrauliques utilisées dans le cadre du PACES pour caractériser les milieux aquifères (section 7.5.1) et identifie les données sélectionnées et disponibles sur le territoire (section 7.5.2). Les caractéristiques hydrauliques des milieux aquifères granulaires et fracturés sont ensuite présentées aux sections 7.5.3 et 7.5.4 respectivement. Enfin, une méthode visant à améliorer l'estimation des propriétés hydrauliques est décrite à la section 7.5.5.

7.5.1 Définitions sur les propriétés hydrauliques

Les propriétés hydrauliques sont généralement représentées par le paramètre de la conductivité hydraulique K [m/s], la transmissivité T [m^2/s] et l'emmagasinement S .

La **conductivité hydraulique K** [m/s] représente la capacité d'un milieu à laisser circuler de l'eau sous l'effet d'un abaissement de charge hydraulique. Si la conductivité hydraulique est bonne et si l'étendue est suffisante, on peut parler d'aquifère. Dans les aquifères de roc fracturé, la conductivité hydraulique est régie par la quantité et l'interconnectivité des fractures qui vont permettre l'écoulement de l'eau souterraine. Dans les aquifères de dépôts meubles, c'est la porosité (espace entre les grains), l'agencement des grains et la granulométrie qui vont contrôler la conductivité hydraulique du milieu.

La **transmissivité T** [m^2/s] reflète le débit qui circule dans un aquifère par unité d'épaisseur de la zone saturée et par unité de gradient hydraulique. La transmissivité est le produit de la conductivité hydraulique K [m/s] et de l'épaisseur saturée b [m] de l'aquifère : $T = K * b$.

Le **coefficent d'emmagasinement S** [m^3/m^3] est sans unité et reflète le volume d'eau qu'une unité perméable peut emmagasiner, ou libérer, par unité de surface pour un changement unitaire de la charge hydraulique. Plus la porosité du milieu géologique est élevée, plus il y a d'espace disponible pour emmagasiner de l'eau et plus l'emmagasinement est élevé.

- À titre d'exemple, pour 1 mètre cube de matériel géologique saturé (=1000 litres de matériel), un coefficient S de 0,01 représente 10 litres d'eau extractibles par diminution d'un mètre de charge hydraulique.
- En nappe libre, il correspond à la porosité efficace, soit le volume d'eau libre sur le volume total de milieu poreux et est de l'ordre de 5 à 20%.
- Pour une nappe captive, ce coefficient est extrêmement faible, de 10^{-6} à 10^{-8} , car il dépend alors surtout des caractéristiques de compressibilité de l'eau et du milieu géologique.

7.5.2 Sélection et traitement des données

Les données qui ont été sélectionnées afin d'estimer les propriétés hydrauliques des aquifères proviennent de l'interprétation d'essais de pompage disponibles dans les rapports de consultants. Les études hydrogéologiques sélectionnées proviennent de recherches en eau potable. De plus, une valeur de conductivité hydraulique a été estimée à partir d'un essai de pompage de longue durée (72h) réalisé par l'équipe du CERM dans un puits foré dans le cadre du PACES. Le puits est localisé dans le socle précambrien, dans la municipalité de Saint-Cuthbert. Cette valeur calculée par l'équipe du CERM a été ajoutée aux autres valeurs de la base de données.

L'ensemble des données a été traité afin d'homogénéiser les unités. Les valeurs de transmissivité ont été converties en m^2/s , en m/s pour la conductivité hydraulique, alors que l'emmagasinement demeure sans dimension. Une hypothèse a été avancée pour la conversion de 21 données qui étaient exprimées en Gpj/pi , car il n'était pas indiqué dans les rapports si les gallons en question étaient des gallons impériaux ou des gallons américains. Pour l'ensemble des 21 valeurs, les gallons américains ont été supposés.

Au total, **341 données** de propriétés hydrauliques ont été extraites des rapports de consultants soit:

- **45 valeurs de conductivités hydrauliques** (39 estimations dans le granulaire et 6 dans le roc fracturé);
- **235 valeurs de transmissivité** (162 estimations dans le granulaire, 64 dans le roc fracturé et 9 dans un aquifère inconnu) et;
- **61 valeurs d'emmagasinement** (45 estimations dans le granulaire, 15 dans le roc fracturé 1 dans un aquifère inconnu).

Lorsque plusieurs valeurs étaient calculées pour une même station, par exemple une valeur en pompage et une en remontée, une moyenne arithmétique est calculée et associée à la station. Ainsi, sur le territoire de Lanaudière, ce sont **131 stations** qui possèdent une ou plusieurs estimations de propriétés hydrauliques, mais seulement 105 de ces stations ont pu être localisées sur le territoire (figure 7-11).

Une **conductivité hydraulique 10^{-7} m/s** a été obtenue d'un essai de pompage longue durée réalisé par le l'équipe du CERM dans le **puits LA-F04** (section 3.4.2) foré dans le cadre du PACES (section 3.2) et installé dans le roc cristallin du Bouclier canadien. La localisation de ce puits est identifiée par un contour bleu pâle sur la figure 7-11. Les informations détaillées sur cet essai de pompage et sur le calcul de la conductivité hydraulique est donné à l'annexe numérique AN 7. À cette annexe, se trouvent aussi des interprétations plus poussées à l'aide de techniques en cours de développement à l'UQAC. Les principales observations qui sont ressorties de l'essai de pompage dans le socle cristallin montrent que le fonctionnement hydraulique de l'aquifère fracturé est complexe. Les graphiques de rabattement ont montré que la vitesse de descente de la charge hydraulique (équivalente à la profondeur du niveau d'eau dans le puits) est plus ou moins variable. À certains moments, le taux de rabattement a ralenti, alors que le débit de pompage était constant, indiquant de nouvelles arrivées d'eau alimentant le pompage. On peut supposer que le front de rabattement a alors atteint des fractures plus perméables, mieux connectées ou une zone plus intensément fracturée. Une analyse des régimes d'écoulement a également permis de constater la complexité des directions d'écoulement et du fonctionnement hydrogéologique des aquifères fracturés. De plus amples détails sur les analyses des régimes d'écoulement ont été fournis dans le rapport technique de l'essai de pompage en annexe du rapport PACES de phase 2.

Les propriétés hydrauliques ont été regroupées en deux catégories selon la géologie: les aquifères granulaires et les aquifères de roc fracturé. Les **aquifères granulaires** regroupent à la fois :

- les sables indifférenciés de surface qui comprennent des sédiments alluviaux, littoraux et deltaïques; ils sont généralement composés de sable, de sable graveleux et silt sableux;
- les sédiments fluvioglaciaires qui sont composés principalement de sable, gravier et blocs.

Les aquifères de **roc fracturé** regroupent à la fois les aquifères de roc cristallin (Bouclier canadien) et les aquifères de roc sédimentaire (plate-forme du Saint-Laurent).

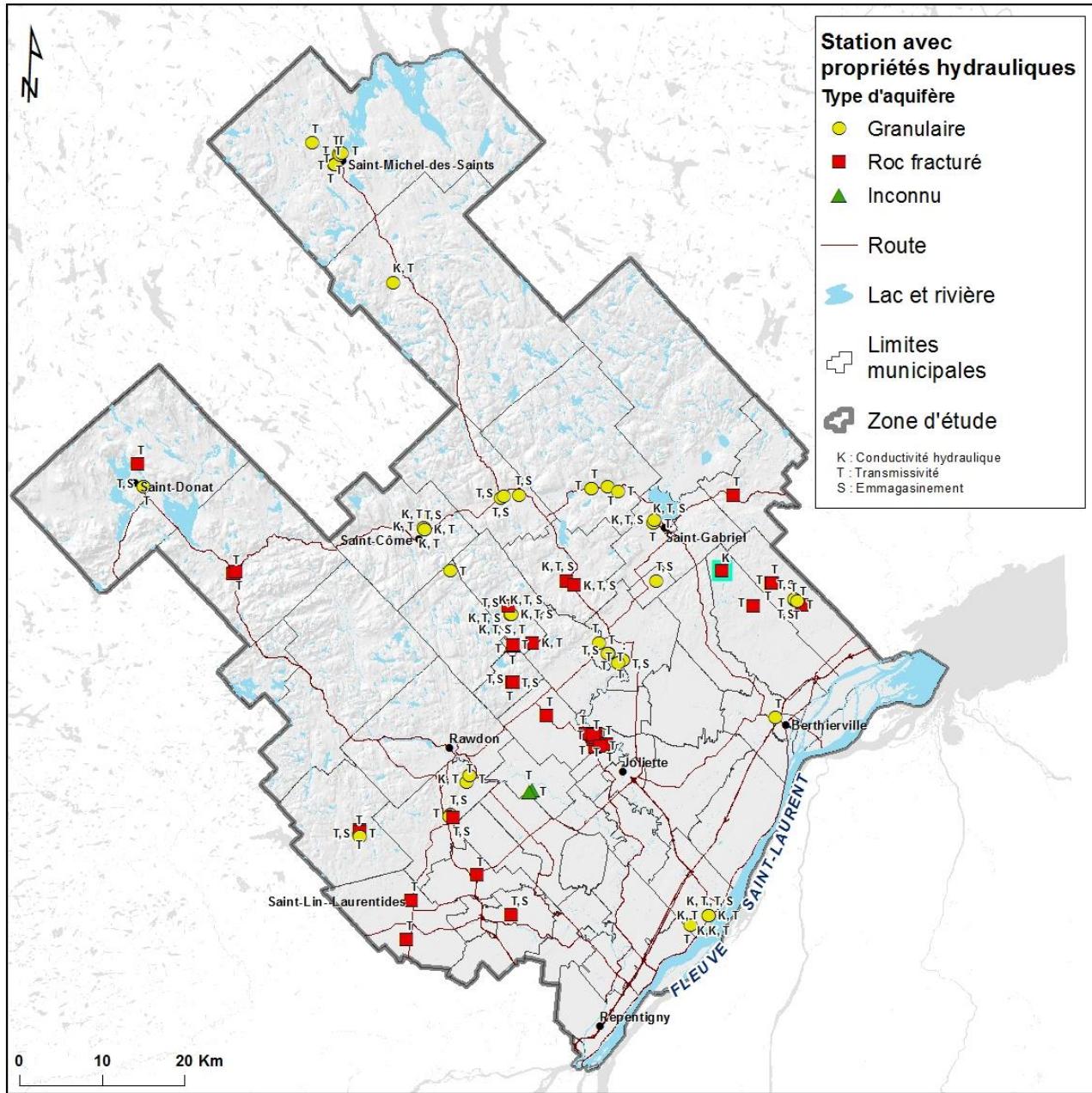
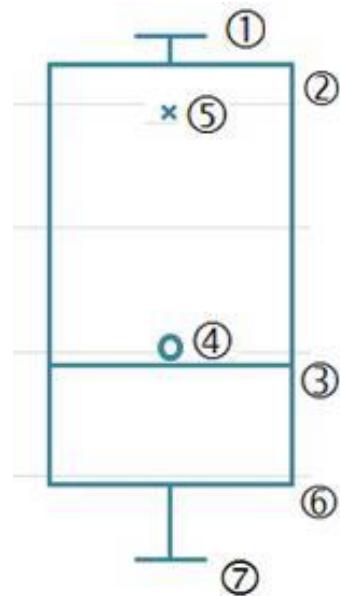


Figure 7-11 : Stations extraites des rapports de consultant et ayant une ou plusieurs estimations de propriétés hydrauliques.

Tel qu'illustrées par la figure 7-11, les valeurs de propriétés du roc fracturé sont disponibles principalement dans le nord des Basses-Terres et le piedmont, alors que celles pour les milieux granulaires sont réparties sur l'ensemble du territoire.

Traitements statistiques

Pour chacun des types de milieu hydrogéologique, soit granulaire et roc fracturé, les valeurs disponibles des propriétés hydrauliques (transmissivité, conductivité hydraulique et emmagasinement) sont présentées sous la forme de figure en « boîte à moustaches » illustrant les valeurs statistiques (figure 7-12).



- ① maximum (max) : valeur la plus élevée observée sur l'ensemble des données sélectionnées;
- ② troisième quartile (Q3) : 75% des données sélectionnées sont inférieures à cette valeur ;
- ③ médiane (médiane) : 50% des données sélectionnées sont inférieures à cette valeur ;
- ④ moyenne géométrique : les propriétés hydrauliques présentent communément une distribution statistique log-normale, dans ce cas, la moyenne géométrique s'applique ;
- ⑤ moyenne arithmétique : indiqué à titre indicatif puisque très sensible aux valeurs marginales, lorsque présentes dans les propriétés hydrauliques;
- ⑥ premier quartile (Q1) : 25% des données sélectionnées sont inférieures à cette valeur;
- ⑦ minimum (min) : valeur la plus faible observée sur l'ensemble des données sélectionnées.

Figure 7-12 : Valeurs statistiques indiquées sur les boîtes à moustache.

Les statistiques régionales obtenues pour chaque propriété hydraulique sont ensuite comparées aux valeurs typiques de la littérature scientifique (figure 7-13).

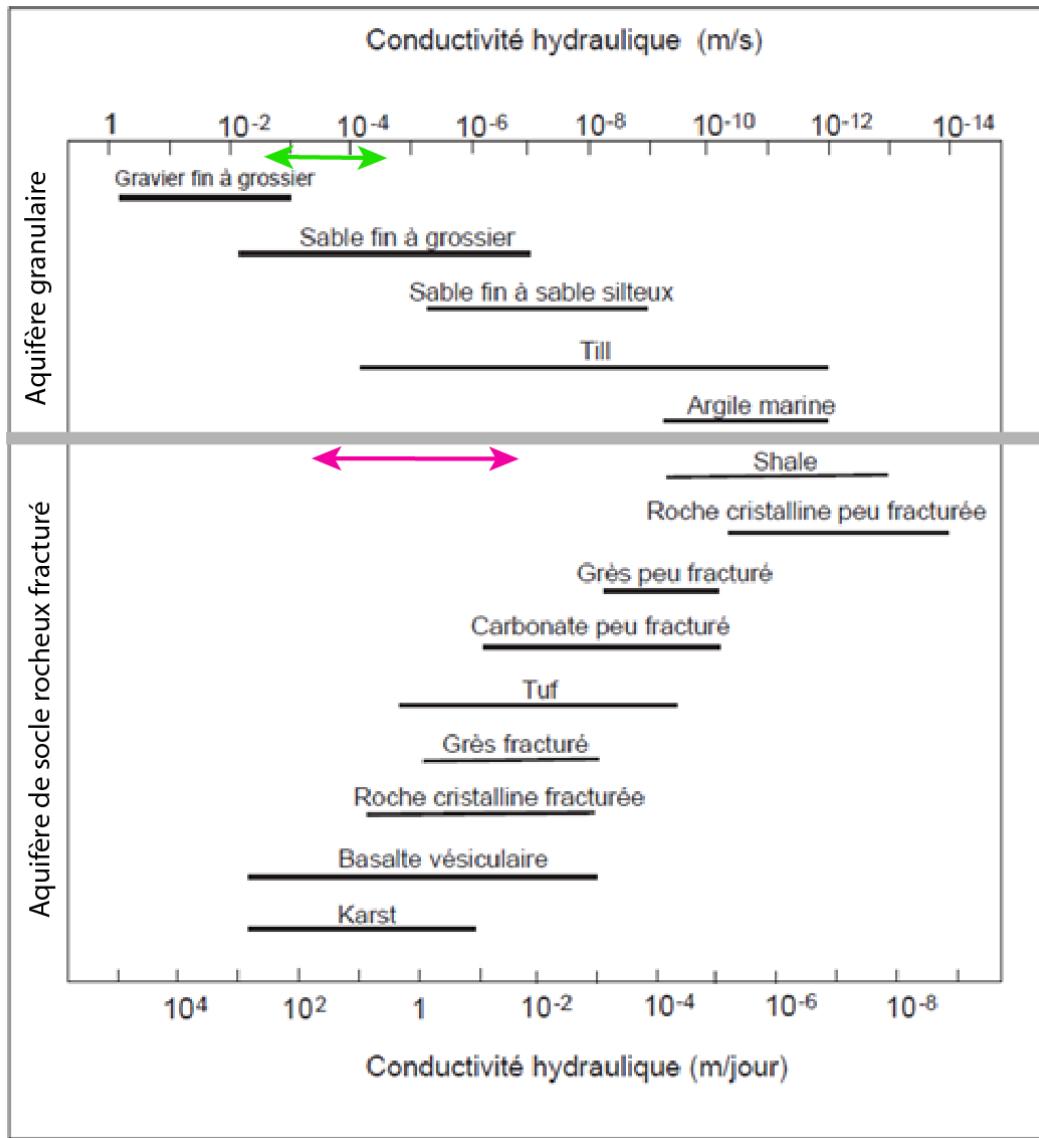


Figure 7-13 : Valeurs typiques de la conductivité hydraulique avec les gammes de valeurs des données récoltées pour les aquifères granulaires (double flèche verte) et les aquifères de socle rocheux fracturé (double flèche rose) (modifié de Freeze et Cherry, 1979).

Représentativité des données

Lors de la numérisation des données, les valeurs de propriétés hydrauliques sont associées à un ouvrage (puits ou piézomètre). Lorsque disponible, le schéma de l'ouvrage (position de la crête ou zone de captage de l'ouvrage) disponible dans les rapports spécialisés, et le log stratigraphique ont permis dans de nombreux cas d'associer précisément un type de milieu capté (perméable ou semi-perméable) à la propriété hydraulique mesurée. D'autres cas ont nécessité une lecture plus approfondie du rapport spécialisé. Régionalement, il est conseillé d'analyser en priorité les valeurs moyennes et médianes de chaque paramètre.

Simplification des données

Avant de réaliser des statistiques, pour chaque type de propriété hydraulique, une seule valeur a été associée à une station. Certaines valeurs de propriétés sont donc une moyenne de plusieurs valeurs calculées à différents moments pendant un essai de pompage (en pompage puis en remontée) ou selon différentes méthodes (Theis, Copper Jacob, etc.). De plus, les valeurs de propriétés hydrauliques associées à une station dont l'aquifère capté ne pouvait être identifié ont été retirées du jeu de données.

Le nombre de valeurs de propriété hydraulique colligées aux stations et utilisées pour calculer les statistiques régionales est :

- **33 valeurs de conductivité hydraulique** (28 stations dans le granulaire et 5 dans le roc fracturé);
- **125 valeurs de transmissivité** (90 stations dans le granulaire et 35 dans le roc fracturé) et;
- **41 valeurs d'emmagasinement** (31 stations dans le granulaire et 9 dans le roc fracturé).

Les données des propriétés hydrauliques collectées dans le cadre du PACES sont présentées dans tableau 7-3 avec leur nombre, le minimum, le maximum, la moyenne géométrique (moins sensibles aux valeurs aberrantes) et la médiane. Les valeurs de propriétés sont aussi classifiées selon le type d'aquifère (granulaire ou roc fracturé).

Tableau 7-3 : Synthèse des statistiques régionales obtenues pour les propriétés hydrauliques à partir des données récoltées dans les rapports de consultants et celles obtenues dans le cadre du PACES.

		Nb d'éch	Minimum	Maximum	Moyenne géométrique	Médiane
Transmissivité T (m^2/s)	Granulaire	90	5.9E-05	1.2E-01	2,0E-03	1.6E-03
	Roc fracturé	35	1.9E-06	2.9E-02	6,0E-04	5.3E-04
Conductivité hydraulique K (m/s)	Granulaire	28	3.1E-05	4.1E-03	4,6E-04	4.1E-04
	Roc fracturé	5	1.2E-07	4.4E-04	1.3E-05	5.8E-05
Emmagasinement S (m^3/m^3)	Granulaire	31	2.1E-05	8.0E-01	5.2E-03	6.5E-03
	Roc fracturé	9	3.0E-05	3.2E-02	1.3E-03	1.9E-03

7.5.3 Propriétés hydrauliques des milieux aquifères granulaires

Les milieux aquifères granulaires regroupent l'intégralité des dépôts meubles à granulométrie moyenne à grossière tels que les sables et graviers. La figure 7-14 présente les statistiques obtenues à partir des propriétés hydrauliques calculées pour ce type de milieux dans la région de Lanaudière.

Conductivité hydraulique K

La conductivité hydraulique des aquifères granulaires varie entre $3,1 \times 10^{-5}$ et $4,1 \times 10^{-3}$ m/s avec une moyenne géométrique de $4,6 \times 10^{-4}$ m/s et une valeur médiane de $4,1 \times 10^{-4}$ m/s (figure 7-14 et tableau 7-3). La comparaison de ces valeurs de conductivité hydraulique avec la charte de valeurs proposée par Freeze et Cherry (1979) permet de situer les données du territoire dans la gamme des sables moyens aux graviers fins. La valeur moyenne correspond aux sables moyens (figure 7-13). Cette valeur est cohérente avec la géologie dominée par des sédiments deltaïques, littoraux, alluviaux et fluvioglaciaires qui sont composés de sables, de sables graveleux, de sables silteux et de graviers.

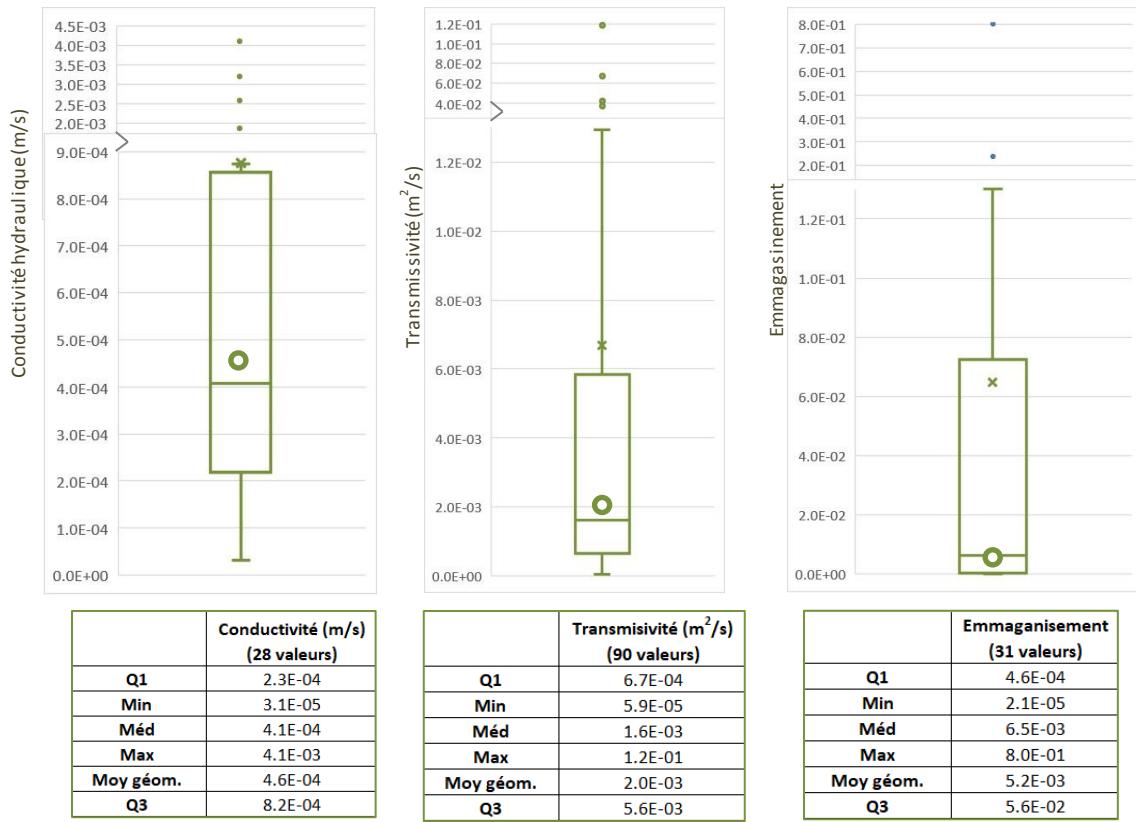


Figure 7-14 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères granulaires.

Transmissivité T

La transmissivité des aquifères granulaires varie entre $5,9 \times 10^{-5}$ et $1,2 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ avec une moyenne géométrique de $2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et une valeur médiane de $1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (figure 7-14 et tableau 7-3). Les valeurs de transmissivité des sédiments granulaires correspondent à celles de relativement bons aquifères.

Emmaçaisinment S

L'emmaçaisinment des aquifères granulaires varie entre $2,1 \times 10^{-5}$ et 0,8 avec une moyenne géométrique de $5,2 \times 10^{-3}$ et une valeur médiane de $6,5 \times 10^{-3}$ (figure 7-14 et tableau 7-3). Les données récoltées sur le territoire ont des valeurs associées à des aquifères captifs et des aquifères libres.

7.5.4 Propriétés hydrauliques des milieux aquifères de roc fracturé

Les milieux aquifères de roc fracturé regroupent les milieux rocheux constitués de roches cristallines et de roches sédimentaires. La figure 7-15 présente les statistiques obtenues à partir des propriétés hydrauliques calculées pour ce type de milieux dans la région de Lanaudière.

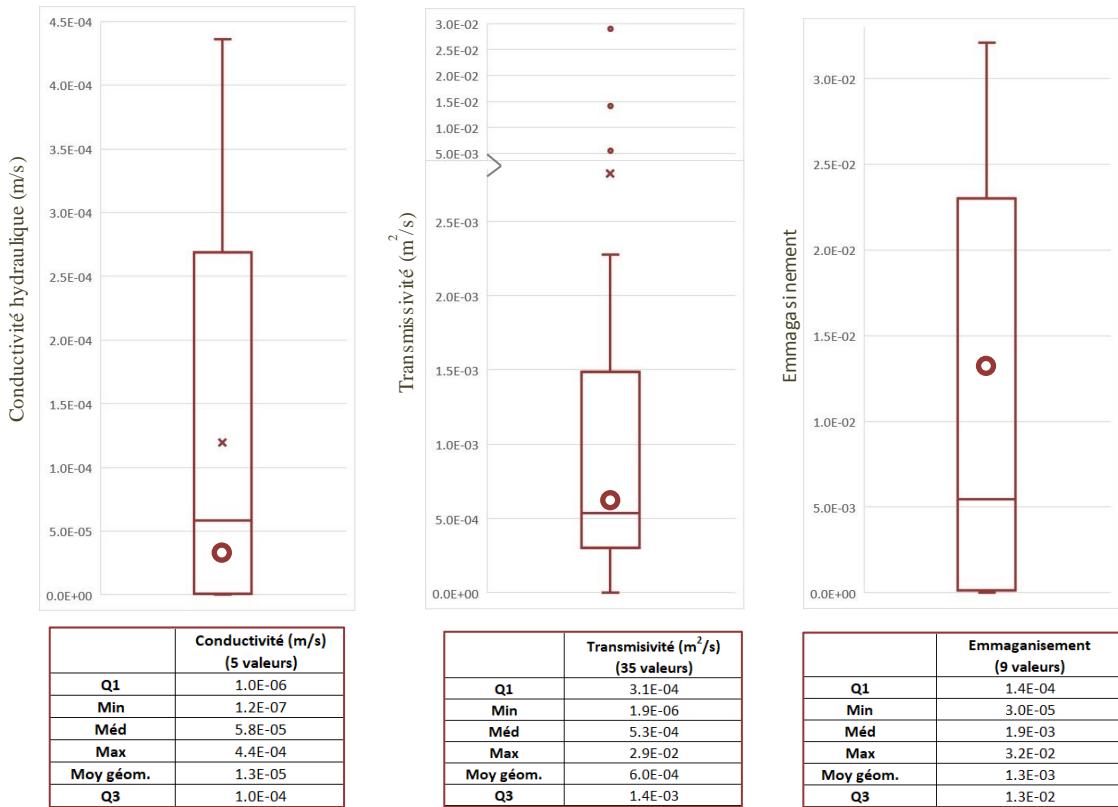


Figure 7-15 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères de roc fracturé.

Conductivité hydraulique K

La conductivité hydraulique des aquifères de roc fracturé varie entre $1,2 \times 10^{-7}$ et $4,4 \times 10^{-4}$ m/s avec une moyenne géométrique de $1,3 \times 10^{-5}$ m/s et une valeur médiane de $5,8 \times 10^{-5}$ m/s (figure 7-15 et tableau 7-3). Selon la charte de conductivités hydrauliques de Freeze et Cherry (1979), les valeurs obtenues de conductivité hydraulique correspondent à des roches relativement bien fracturées et perméables. Cette constatation est cohérente, car les valeurs de conductivité hydraulique proviennent de roches cristallines fracturées, de calcaires fracturés (non karstifiés) et de grès. Ces deux derniers milieux aquifères sont des roches en général relativement perméables.

Transmissivité T

La transmissivité des aquifères de socle rocheux fracturé varie entre $1,9 \times 10^{-6}$ et $2,9 \times 10^{-2}$ m²/s avec une moyenne géométrique de $6,0 \times 10^{-4}$ m²/s et une valeur médiane de $5,3 \times 10^{-4}$ m²/s (figure 7-15 et tableau 7-3). Les valeurs de transmissivité des roches fracturées correspondent à celles d'aquifères parfois intéressants.

La figure 7-15 présente les mêmes valeurs de transmissivité, mais cette fois en distinguant les milieux de roc fracturé formés de roches sédimentaires de celles formées de roches cristallines. La transmissivité moyenne des roches sédimentaires de la région de Lanaudière est de $1,1 \times 10^{-3}$ m²/s alors que celle des roches cristallines est $4,9 \times 10^{-4}$ m²/s soit environ 10 fois plus faible. Comme mentionné précédemment, les roches calcaires et les grès sont généralement plus perméables que les roches cristallines. La superposition de la localisation des points et de la carte de la géologie du socle rocheux permet d'estimer que 37 % des données proviennent, *a priori*, de roches sédimentaires (grès et calcaires) et 62 % des données proviennent de roches cristallines.

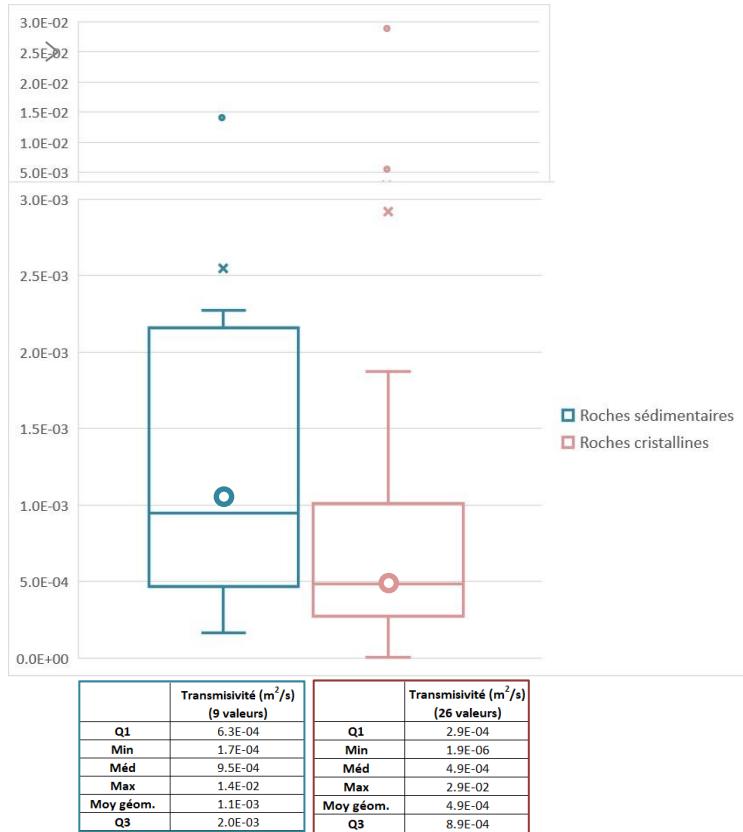


Figure 7-16 : Distribution des valeurs de transmissivité (m^2/s) dans les aquifères de roches sédimentaires et dans les roches cristallines.

Emmagasinement S

L’emmagasinement des aquifères de socle rocheux fracturé varie entre $3,0 \times 10^{-5}$ et $3,2 \times 10^{-2}$ avec une moyenne géométrique de $1,3 \times 10^{-3}$ et une valeur médiane de $1,9 \times 10^{-3}$ (figure 7-15 et tableau 7-3). Dans les nappes captives, le coefficient d’emmagasinement varie généralement de $5,0 \times 10^{-3}$ à $5,0 \times 10^{-5}$ (de l’ordre de 10^{-4}). Dans les nappes libres, le coefficient d’emmagasinement est égal à la porosité efficace (eau gravitaire); il est compris entre 0,2 et 0,01 (de l’ordre de 10^{-1}). Les données récoltées sur le territoire ont des valeurs associées à des aquifères captifs et des aquifères libres.

7.5.5 Amélioration de l'estimation des propriétés hydrauliques

L’interprétation des essais de pompage est une approche couramment utilisée par les praticiens de l’hydrogéologie, car elle permet de stimuler directement la ressource en eau souterraine et d’en déduire des informations sur les propriétés hydrauliques de l’aquifère. Cette approche permet en effet de suivre l’évolution temporelle du rabattement (s), soit la baisse du niveau d’eau dans le puits de pompage.

Jusqu’à présent, l’interprétation des données de rabattement s’est majoritairement réalisée avec le modèle de Theis (1935) en supposant que les écoulements sont radiaux autour du puits de pompage, comme ce serait le cas dans un aquifère idéalisé à nappe captive, horizontal, isotrope et d’étendue infinie. Cette forte idéalisation des écoulements ne permet donc pas de considérer la réelle complexité des écoulements observés dans la nature et notamment dans le socle rocheux fracturé. Il en découle de grandes incertitudes dans l’estimation des propriétés hydrauliques.

Les travaux de Ferroud (2018) ont permis de mieux comprendre les configurations d'écoulement à proximité des puits de captage afin d'améliorer l'estimation des propriétés hydrauliques. Ses travaux se basent sur de nouveaux outils interprétatifs, tels que la dérivée logarithmique du rabattement $ds/d\log t$ (Bourdet *et al.*, 1989) qui permet de rendre le signal du rabattement beaucoup plus sensible aux conditions géologiques et hydrauliques de l'aquifère. L'intégration de l'interprétation en dérivée-log permet de déterminer les régimes d'écoulement d'un pompage et d'avoir une meilleure compréhension du comportement hydraulique du milieu aquifère. La représentation graphique des données en dérivée-log permet également de vérifier si l'hypothèse d'un régime radial est respectée; on sait que cette géométrie supposée est nécessaire pour l'application des modèles de type Theis. Cette nouvelle méthode a été utilisée afin de mieux caractériser l'aquifère de roc fracturé étudié lors de l'essai de pompage longue durée réalisé par le CERM (section 3.4.2). Les détails du calcul sont disponibles à l'annexe numérique AN 7.

7.6 Piézométrie et écoulements régionaux

La piézométrie est la mesure de la profondeur (ou de la charge) d'une nappe d'eau souterraine. Sa représentation cartographique peut s'apparenter à une carte topographique où les courbes de niveau, ou courbes isopiézométriques correspondent à des points de même charge hydraulique. Ce type de représentation fournit des indications importantes sur la direction de l'écoulement (perpendiculairement aux courbes isopiézométriques) et sur sa vitesse.¹².

La piézométrie est, par définition, propre à une masse d'eau (nappe) et circonscrite dans les limites d'un seul aquifère. Or, la délimitation de milieux aquifères à l'échelle de la région de Lanaudière a été réalisée en considérant principalement le milieu aquifère et non la quantité d'eau qu'il peut contenir. Ainsi, il est extrêmement complexe, en l'état des connaissances actuelles, d'associer la mesure d'un niveau de nappe d'eau souterraine aux milieux aquifères tels qu'ils sont définis dans cette étude, car pour associer un niveau d'eau à un milieu aquifère il faut connaître au minimum :

- la localisation géographique du point de mesure du niveau de la nappe d'eau;
- la profondeur exacte du point de mesure;
- les limites et l'épaisseur de l'aquifère capté.

Dans le cadre de cette étude, l'épaisseur propre à chaque milieu aquifère n'a pas été estimée. Par conséquent, chaque mesure piézométrique compilée dans le cadre du PACES est attribuée de façon non différenciée tant au roc qu'aux dépôts granulaires.

La **carte #19 : Piézométrie régionale** présente la piézométrie à l'échelle régionale en posant l'hypothèse que l'hydrographie et les données de niveau piézométrique appartiennent à une seule masse d'eau régionale, non circonscrite à l'intérieur des limites des milieux aquifères présentées aux sections 7.1 et 7.2. La même méthodologie utilisée pour créer la piézométrie régionale de la région dans le cadre des PACES Charlevoix-Haute-Côte-Nord (CHCN) et Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ) a été suivie (CERM-PACES, 2013, 2015). Dans le cadre du PACES-CHCN, cette méthode a été utilisée et un coefficient de détermination (R^2) de 0,89 pour 1 303 points de validation (puits ou des forages avec un niveau d'eau) a été obtenu (CERM-PACES, 2015). Les eaux

¹² Plus rigoureusement, il s'agit en fait du flux d'eau souterraine, mais l'expression vitesse sera utilisée dans le reste de ce document étant donné que ce paramètre est exprimé en dimension de vitesse [L/T]

souterraines et de surface sont donc probablement liées hydrauliquement, et ce résultat semble confirmer que le principe de la méthode fonctionne.

7.6.1 Piézométrie régionale

Dans le cadre de cette étude, l'hydrographie (les plans d'eau de surface et les cours d'eau) est hypothétiquement assimilée à « un affleurement » de la surface des nappes souterraines et, de ce fait, toute mesure de l'élévation de l'hydrographie peut être considérée comme une valeur de cote piézométrique. Il a donc été choisi de n'utiliser que les valeurs de cotes issues de l'élévation du réseau hydrographique pour déterminer la surface piézométrique régionale. Ceci permet d'obtenir une quantité appréciable de données avec une répartition relativement homogène sur le territoire.

Les mesures d'élévation de l'hydrographie de la base de données topographiques du Québec (BDTQ; présentées sous la forme de données linéaires ou surfaciques) sont converties en données ponctuelles à l'aide du logiciel *ArcMap d'ArcGIS*, et leur élévation est extraite du modèle numérique de terrain (résolution de 1 mètre) généré à partir de données Lidar du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP).

La piézométrie régionale a ensuite été obtenue en interpolant l'élévation de l'hydrographie surfacique. La méthode d'interpolation choisie est « Topo to Raster ». L'interpolation a été effectuée sur la carte A0 en ajoutant un corridor de 10 km autour du territoire municipalisé.

Sur la carte #19, la piézométrie est présentée en termes d'élévation ce qui correspond en fait à la **charge hydraulique**. Elle indique que la charge hydraulique est plus importante dans les hauts plateaux des Hautes-Terres (jusqu'à 815m), et moins importante dans les vallées et les Basses-Terres (minimum 110m). Les écoulements souterrains, comme les écoulements de surface, sont principalement contrôlés par la gravité, et donc par la différence de charge hydraulique (aussi appelée le gradient hydraulique). Ainsi, les écoulements souterrains sont focalisés des zones de hautes élévations (charge hydraulique élevée) vers des zones de basses élévations (charge hydraulique plus faible).

Plus précisément, dans les **Hautes-Terres**, les élévations de la nappe d'eau souterraine varient entre **83 à 815 m**. Ces variations sont moins accentuées dans le piedmont où elles varient entre **50 et 270 m**. Dans les **Basses-Terre**, les élévations de la nappe d'eau souterraine se situent à **110 m** d'élévation le long du piedmont pour atteindre 6 m au niveau du fleuve Saint-Laurent. La variation de la charge hydraulique y est donc nettement plus faible ce qui s'explique par la présence d'une topographie moins escarpée. Des élévations sous le niveau moyen des mers (NMM) sont notées au sud de la municipalité de Saint-Barthélemy et sont liées à la présence d'une importante carrière de calcaire.

Les variations de charge hydraulique indiquent le sens de l'écoulement de l'eau souterraine et, si l'environnement le permet, les zones de décharge (ou résurgence) de l'eau souterraine qui sont généralement associées au réseau hydrique (cours d'eau et lac).

7.6.2 Écoulements régionaux

La direction de l'écoulement s'effectue perpendiculairement aux courbes isopiézométriques retrouvées sur la carte #19. Selon la méthode d'évaluation de la piézométrie préconisée ici, les écoulements régionaux de l'eau souterraine sont une réplique des écoulements de surface. Les courbes isopiézométriques sont présentées sur la carte #19 à une équidistance de 100 mètres d'élévation au-dessus du niveau moyen des mers (NMM) dans les Hautes-Terres et une équidistance de 20 mètres dans les Basses-Terres.

Comme illustré sur la figure 7-17 :

- Régionalement, l'écoulement s'effectue des Hautes-Terres vers le fleuve Saint-Laurent.
- Localement, les écoulements sont orientés vers le creux des vallées (figure 5-1 et carte #3) et l'hydrographie principale (figure 5-2 et carte #5) telle que les rivières Ouareau et l'Assomption ainsi que le lac Maskinongé, le lac Ouraeau et le réservoir Taureau.

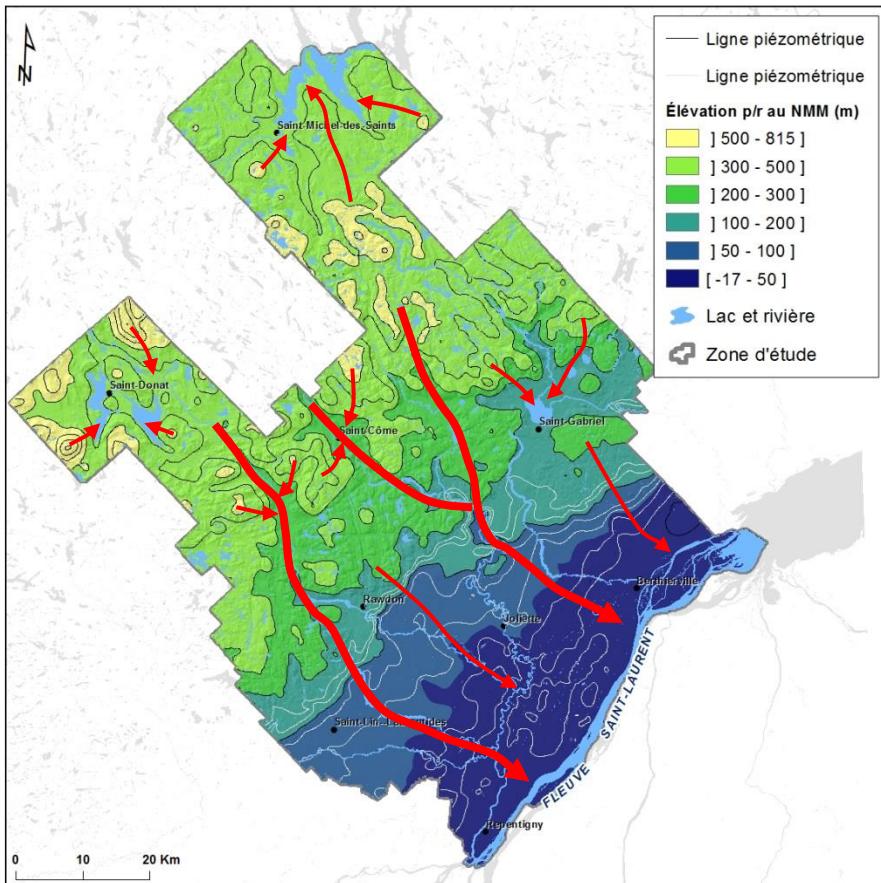


Figure 7-17 : Directions des écoulements régionaux de l'eau souterraine.

7.6.3 Profondeur de l'eau souterraine

À l'aide des valeurs de topographie de surface et de piézométrie, il est possible de déterminer la profondeur relative du toit de la nappe d'eau souterraine (figure 7-18) en soustrayant l'élévation de la surface du terrain (carte #3) et la piézométrie (carte #19).

Sur le territoire de Lanaudière, la profondeur estimée du toit de la nappe d'eau souterraine est en moyenne de **17 m**. Les valeurs de profondeur de plus de 100 m sont des anomalies méthodologiques résultant de l'approche choisie. Malgré leur caractère approximatif, les estimations de la piézométrie permettent d'illustrer la direction de l'écoulement. Les valeurs piézométriques les plus élevées sont observées dans les hauts reliefs des Hautes-Terres, principalement sur le territoire de Saint-Donat. En comparaison, les Basses-Terres présentent des variations de plus faible amplitude : entre 0 et 20 m

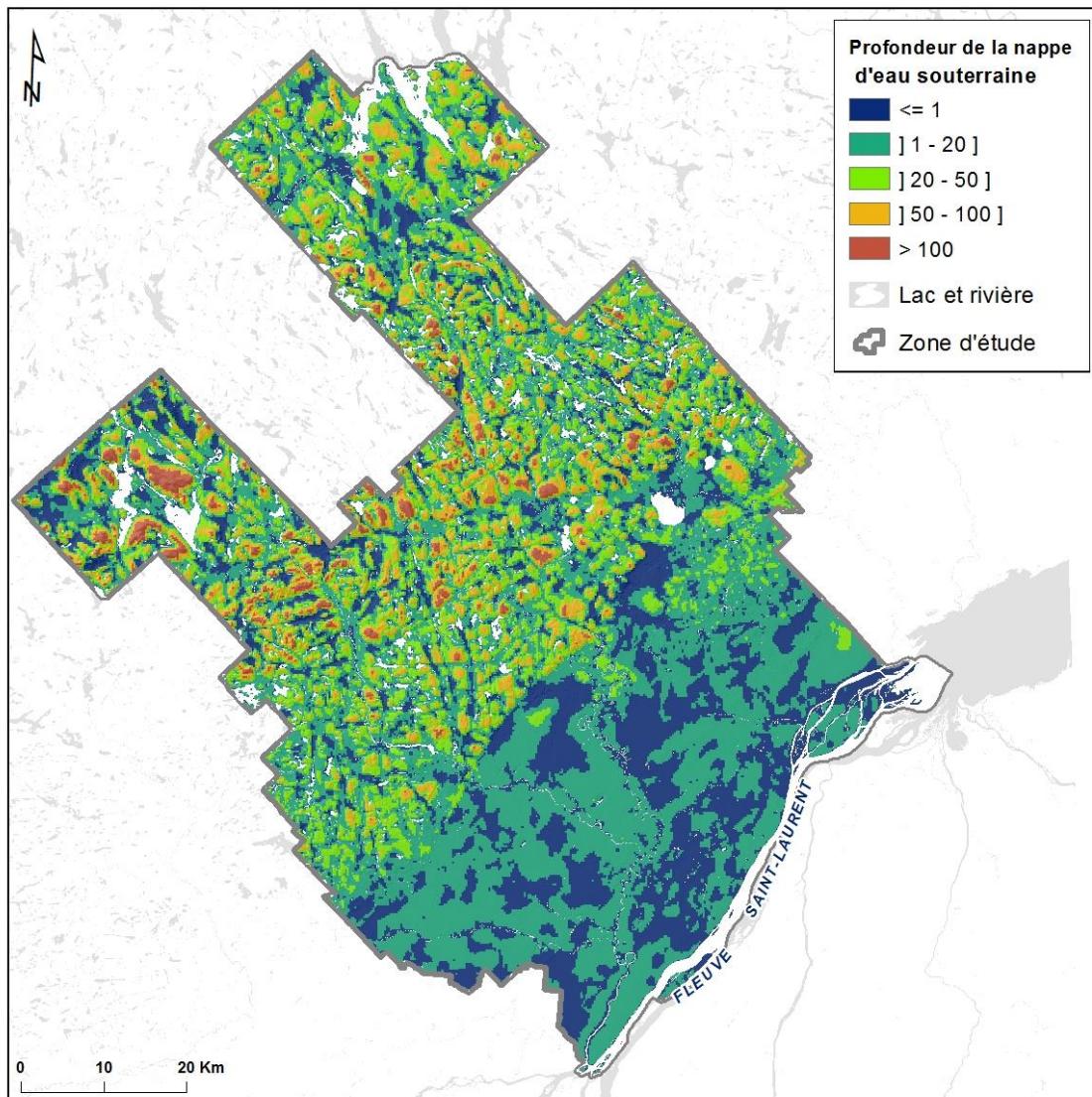


Figure 7-18 : Profondeur de l'eau souterraine.

7.7 Recharge et résurgence des milieux aquifères régionaux

La **recharge** est le processus par lequel la zone saturée d'un milieu aquifère reçoit un apport d'eau extérieur. Cet apport est direct au milieu (à partir de la surface) ou indirect par l'intermédiaire d'un milieu aquifère sus-jacent. L'estimation de la recharge est nécessaire pour évaluer les quantités d'eau disponible dans un aquifère, car les quantités d'eau qui peuvent être prélevées de façon durable dépendent de son niveau de renouvellement. Pour une exploitation durable, il est généralement recommandé que le taux d'exploitation d'une nappe d'eau n'excède pas 10% de la recharge.

Une **résurgence** est un terme hydrologique qui caractérise la réapparition en surface d'une quantité d'eau à la suite d'un certain parcours souterrain. Ce terme appliqué aux eaux souterraines caractérise la transition d'une eau souterraine à une eau de surface. Les résurgences sont de deux types :

1. Les sources, qui sont un phénomène ponctuel d'émergence naturelle de l'eau souterraine à la surface, très fréquent dans les milieux aquifères fracturés. Ce phénomène est apparent lorsque la surface piézométrique de la nappe contenue dans un aquifère se situe au-dessus du niveau du sol.
2. Les phénomènes de lignes de suintements qui correspondent à un écoulement lent et diffus de l'eau souterraine en surface. Ces phénomènes sont le plus souvent observés sur des versants abrupts de certains escarpements.

La section suivante présente les méthodes et les outils utilisés pour quantifier et spatialiser régionalement la recharge et identifier les zones potentielles de résurgence. Mis à part quelques petites différences, les méthodes utilisées sont les mêmes que le PACES-SLSJ et le PACES-CHCN (CERM-PACES, 2013, 2015).

7.7.1 Méthode du bilan hydrologique pour l'estimation de la recharge

Puisque la recharge est un des paramètres qui composent le cycle de l'eau, sa valeur peut être estimée à partir de l'équation du bilan hydrologique. Comme l'illustre la figure 7-19, la quantité d'eau disponible pour l'infiltration et la recharge (Re) des milieux aquifères est régie par les quantités de précipitation (P) ou les apports verticaux (Av), l'évaporation et la transpiration du couvert végétal (ETP) et par le ruissellement (Ru).

L'estimation de la recharge (Re) a été effectuée par le calcul du bilan hydrologique nécessitant l'estimation :

- a) des apports verticaux journaliers (Av);
- b) de l'évapotranspiration (ETP);
- c) du ruissellement (Ru).

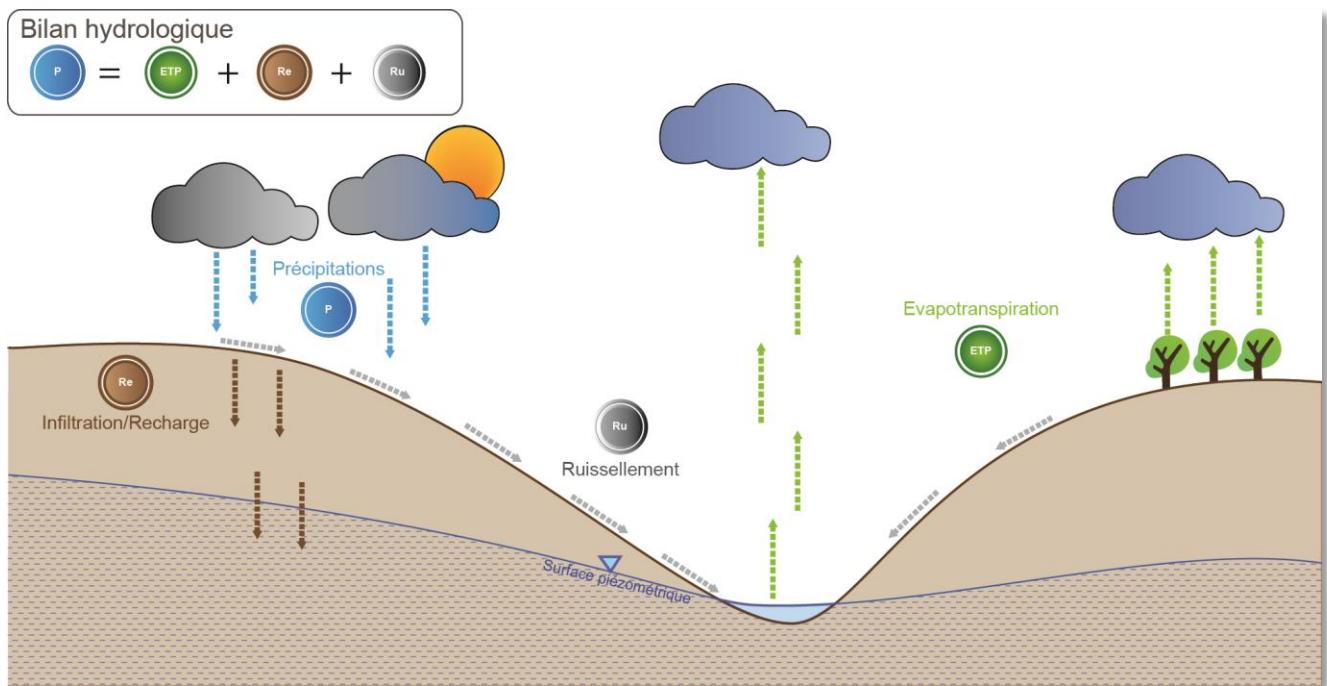


Figure 7-19 : Composantes du bilan hydrologique (adaptée de (CERM-PACES, 2013)).

La méthode du bilan hydrologique a été utilisée pour estimer les valeurs de la recharge sur une période de 100 ans au Saguenay-Lac-Saint-Jean (Boumaiza *et al.*, 2022). Cette même méthode a été utilisée pour estimer la recharge dans la région de Lanaudière, mais les traitements ont été réalisés sur une période de 10 ans.

Estimation des apports verticaux (Av)

En climat continental la présence d'un couvert neigeux modifie l'estimation des précipitations disponibles pour la recharge, le ruissellement et l'ETP. L'estimation des précipitations journalière est donc réalisée par la somme des apports hydriques de la fonte des neiges et des précipitations liquides. Cette donnée d'apport vertical est estimée en mm/jour par le CEHQ (Poirier *et al.*, 2012) par interpolation (krigeage simple) des données météorologiques pour des mailles de 10km x 10km.

Les données d'apports verticaux (Av, fichier .AV) ainsi que les données de température minimale et maximale (T_m et T_M , fichier .MET) sont fournies par le DEH (anciennement le CEHQ) sous la forme de points auxquels est attachée une valeur journalière de T_m , T_M et d'Av sur un historique de 110 ans (1900-2010). La répartition des points est montrée à la figure 7-20.

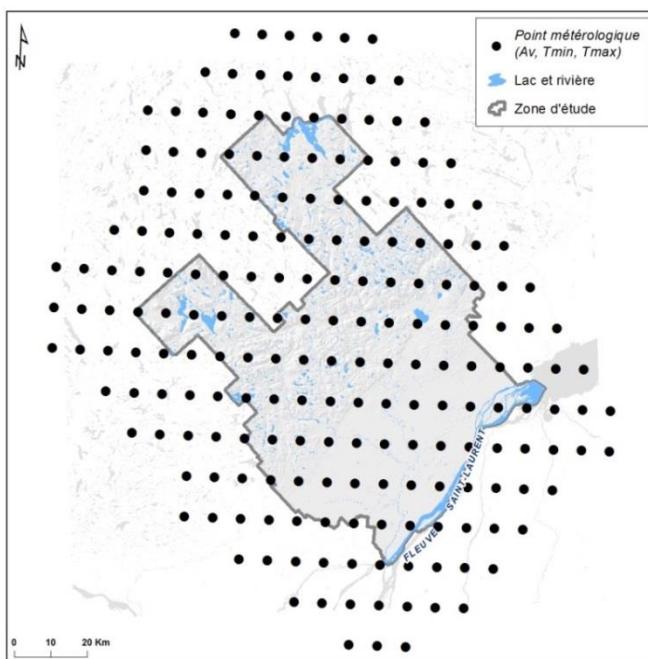


Figure 7-20 : Répartition des valeurs ponctuelles des températures minimales et maximales ainsi que les apports verticaux estimés par le CEHQ.

Estimation de l'évapotranspiration (ETP)

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP_p) journalière est réalisée suivant une équation empirique proposée par Hydro-Québec (Bisson et Roberge, 1983) en fonction des températures maximales (T_M) et minimales (T_m) journalières, tel que :

$$ETP_p = 0.029718(T_M - T_m) \exp^{0.019[\frac{9}{5}(T_M + T_m) + 64]} \quad \text{équation (1)}$$

Les températures T_M et T_m journalières sont associées aux Av et sont également fournies par le CEHQ.

L'évapotranspiration réelle (ETP_r) annuelle est ensuite calculée à partir de la valeur de l'ETP_p et des Av (Budyko, 1974) selon l'équation suivante :

$$ETP_r = \left[Av \times \left(1 - \exp\left[-\frac{ETP_p}{Av}\right] \right) \times ETP_p \times \tanh\left(\frac{Av}{ETP_p}\right) \right]^{0.5} \quad \text{équation (2)}$$

Les valeurs annuelles des Av et de l'ETP sont utilisées pour calculer une valeur annuelle de l'ETPr.

Estimation du ruissellement (Ru)

L'estimation du ruissellement se base sur l'hypothèse que pour une précipitation donnée, toutes précipitations qui excèdent l'infiltration et l'emmagasinement dans le sol contribuent au ruissellement de surface. La relation entre la hauteur de la tranche d'eau qui ruisselle et la hauteur de précipitation totale définie par Mockus (1949) est exprimée par l'équation suivante :

$$h_{Ru} = \frac{(h_p - h_{ia})^2}{h_p - h_{ia} + h_s} \text{ pour } h_p > h_{ia} \quad \text{équation (3)}$$

avec :
 h_{Ru} = Hauteur de ruissellement (mm);
 h_p = Hauteur de précipitation totale (mm);
 h_s = Capacité d'emmagasinement du sol pour l'infiltration;
 h_{ia} = Hauteur d'infiltration initiale.

Estimation de la hauteur d'infiltration initiale (h_{ia})

La hauteur d'infiltration initiale (h_{ia}) dépend de la teneur en eau initiale du sol. Mockus (1949) a établi empiriquement un ratio h_{ia}/h_s de 20%, cependant les travaux de Hawkins *et al.* (2002) et Woodward *et al.* (2003) démontrent que ce ratio est largement surestimé. Dans le cadre du PACES-CHCN (CERM-PACES, 2015), un ratio de 1 % a été utilisé puisque cela permettait d'optimiser le nombre de jours où un ruissellement est possible. Ce même ratio a été utilisé pour le PACES actuel et la valeur du h_{ia} est donc intégrée dans l'équation tel que :

$$h_{ia} = 0.01 \times h_s \quad \text{équation (4)}$$

Estimation de l'emmagasinement (h_s)

La méthode du *Curve Number* développée par le *United States Department of Agriculture Soil Conservation Service*, a été modifiée par Monfet (1979) afin de mieux répondre aux conditions météorologiques, aux contextes géologiques ainsi qu'aux types d'occupation du sol du Québec méridional. La capacité d'emmagasinement du sol pour l'infiltration (h_s) est ainsi liée aux propriétés intrinsèques des sols définissant une valeur de *Curve Number* (*CN*), selon la relation empirique suivante :

$$h_s = \frac{25\ 400}{CN} - 254 \quad \text{équation (5)}$$

Cette relation a été définie expérimentalement par Mockus (1949, 1964), par mesure et traçage du ruissellement direct par rapport à un événement de précipitation.

De façon générale, un *Curve Number* représente une cote ou un coefficient de 1 à 100 attribuable à une surface et inversement proportionnel à la capacité d'emmagasinement. Ainsi plus un sol possède une valeur élevée du *CN*, plus sa capacité d'emmagasinement sera faible et plus la possibilité de ruissellement sera élevée. La détermination d'une valeur de *CN* caractéristique d'un sol nécessite de distinguer les concepts de ***Curve Number moyen (CN_i)*** et de ***Curve Number réel (CN_r)***.

Le CN_i dépend des propriétés intrinsèques du sol, telles que la nature, la granulométrie et la capacité d'infiltration, mais aussi de la pente du terrain et du type d'utilisation du sol. Cette valeur de CN_i peut être assimilée à la capacité maximale d'emmagasinement d'un sol sec et elle est fixe au cours du temps.

Le CN_r intègre la variation de la capacité d'emmagasinement en fonction des conditions moyennes d'humidité. La valeur de CN_r d'un sol est donc journalière et dépendante du taux d'humidité initial du sol.

Classement des types de sols

Selon Monfet (1979), les types de sols sont répartis en quatre groupes de A à D selon leur capacité de ruissellement. Les informations sur les différents types de dépôts rencontrés sur le territoire sont issues de la cartographie des dépôts quaternaire (*carte #12 : Géologie du Quaternaire*). On constate dans le tableau 7-4 que les sables et graviers associés à un faible ruissellement correspondent au groupe A; tandis que le roc, l'argile et le till constituant des dépôts plus propices au ruissellement sont classés dans le groupe D.

Tableau 7-4 : Classement des types de sols selon leur capacité de ruissellement.

Type de sols	Code des dépôts quaternaires (CGC)	Groupe	Ruissellement
Sédiments grossiers	Go, Gx	A	Faible
Sédiments moyens à grossiers	Ce, Mb, MGb, MGd, LGb, LGd, Ac, Ed, Lb, G, Mb, Ld	B	
Sédiments moyens à fins	Ax, Ap, GxT, Cr, C, L, At, Ae, Gs, Ma, MGi, A	C	
Sédiments fins et roches cristallines ou sédimentaires	Tm, Tc, Tf, Trm, Tr, R, Ri, Rm, Rs, O, Cg, MGa, LGa, La	D	Élevé

Curve Number moyen (CN_i) en fonction du type et de la pente des sols

La charte finale présentée sur le tableau 7-5 présente les valeurs de CN_i attribuées à chaque groupe de sol en fonction de la pente et de l'occupation du sol. La capacité de ruissellement du sol y est autant plus élevée que la pente d'un terrain est forte. Cette charte, adaptée de celle de Monfet (1979) dans le cadre du PACES afin de correspondre à la gamme de sols rencontrés sur le territoire, a été utilisée pour le territoire de Lanaudière.

Tableau 7-5 : Curve Number moyen (CN_i) selon le groupe de dépôt et leur pente (modifiée de Monfet (1979)).

Occupation du sol	Pente (%)	Type de sol			
		A	B	C	D
Zone agricole (+ zone humide et découverte)	< 3%	62	72	79	82
	<3-8%<	64	76	84	88
	<8-15%<	70	80	87	90
	>=15%	90	90	90	90
Forêt, autres	< 3%	24	54	68	76
	<3-8%<	33	59	73	79
	<8-15%<	44	66	78	83
Zone urbaine	>=15%	90	90	90	90
	nd	73	83	88	90

La figure 7-21 présente la carte de distribution des CN_i sur le territoire de Lanaudière.

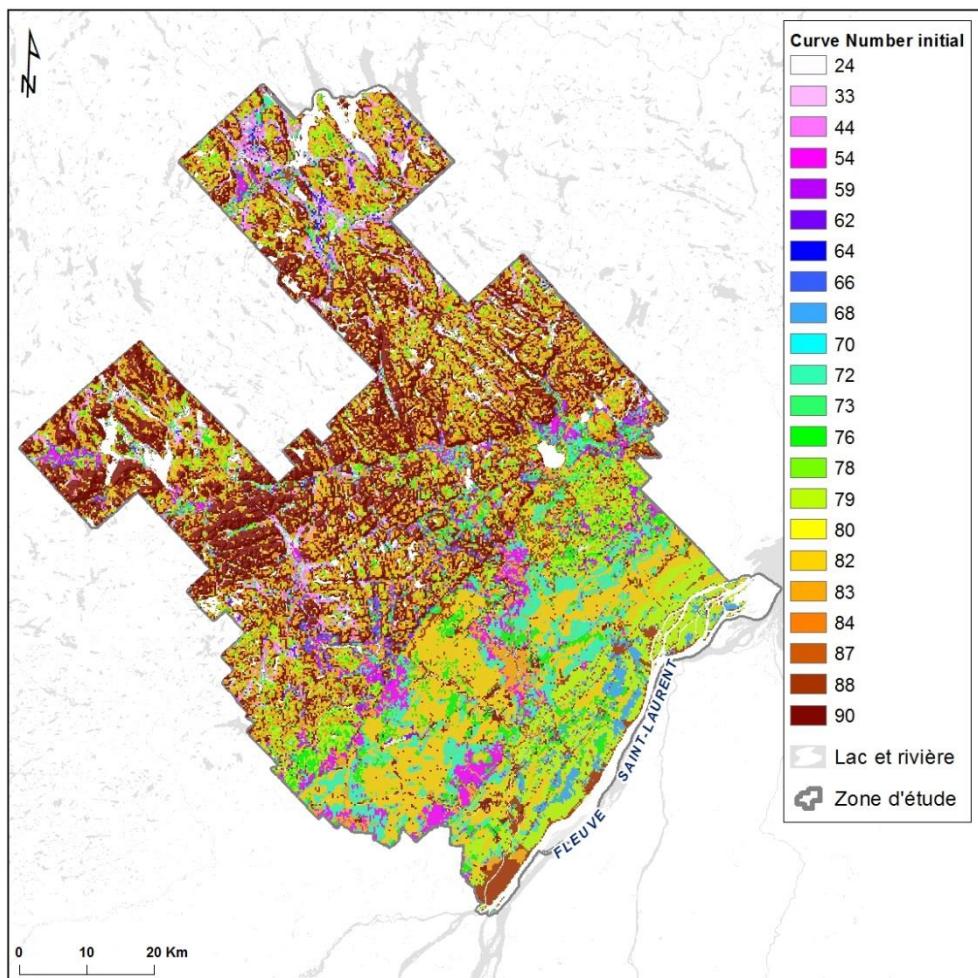


Figure 7-21 : Carte des curve number moyen (CN_i) pour le territoire de Lanaudière.

Curve Number réel (CN_r) en fonction des conditions d'humidité

La variation journalière du CN nécessite une estimation de la **condition d'humidité initiale dans le sol (CHI)**. Pour un événement de précipitation considéré, ce qui équivaut à l'apport vertical journalier (Av), ces conditions d'humidité sont contrôlées par la saison et les précipitations des 14 jours précédent l'événement de précipitation considéré. Ces antécédents définissent l'**indice API (Antecedent Precipitation Index)** tel que :

$$API = \sum_{i=1}^{n=14} 0,85^i \times Av_i \quad \text{équation (6)} \quad (\text{Monfet, 1979})$$

La classe de CHI pour une journée donnée est par la suite obtenue graphiquement (figure 7-22) en fonction de l'indice API et de la saison. Le CN_r associé à un sol varie ensuite selon la classe de CHI. Cronshey (1986) définit la valeur de CN_r selon trois classes de CHI, en utilisant trois relations empiriques (figure 7-22). Le tableau 7-6 présente les valeurs utilisées dans le calcul de la recharge et extraites du graphique de la figure 7-22.

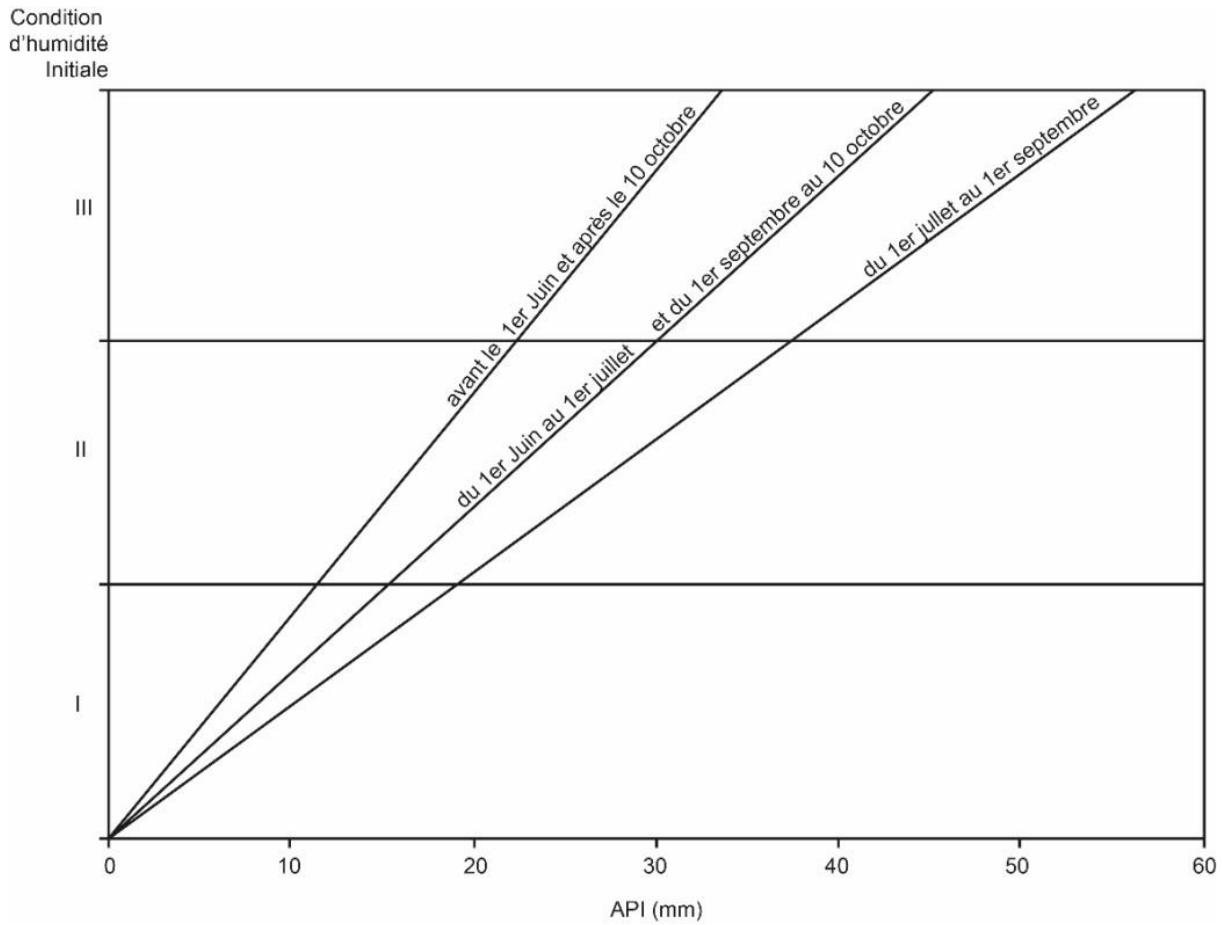


Figure 7-22 : Graphique des classes de condition d'humidité moyenne en fonction des indices API et de la saison (Cronshey, 1986).

Tableau 7-6 : Classes de condition d'humidité moyenne en fonction des indices API et de la saison (Cronshey, 1986).

Saison			API (mm)			Classe d'CHI
Du 10 oct.	au	1 ^{er} juin	11,2	< API	< 11,2	I
			22,4	< API	< 22,4	II
Du 1 ^{er} juin	au	1 ^{er} juil. et	15,3	< API	< 15,3	I
			30,6	< API	< 30,6	II
Du 1 ^{er} sept.	au	10 oct.	30,6	< API	< 18,8	III
Du 1 ^{er} juil.	au	1 ^{er} sept.	18,8	< API	< 37,6	I
			37,6	< API	< 37,6	II

$$CN_r = \frac{4,2CN_i}{10 - 0,058 CN_i} \quad \text{équation (7)} \quad \text{pour une CHI de classe I}$$

$$CN_r = CN_i \quad \text{équation (8)} \quad \text{pour une CHI de classe II}$$

$$CN_r = \frac{23 \ CN_i}{10 + 0,13CN_i} \quad \text{équation (9)} \quad \text{pour une CHI de classe III}$$

Équation synthèse du ruissellement (Ru)

Considérant les équations précédentes et que la hauteur de précipitation totale (h_p) correspond à la valeur journalière des apports verticaux ($h_p=Av$), l'estimation du ruissellement journalier est obtenue par l'équation suivante :

$$h_{Ru} = \frac{\left(Av - 0.01 \left(\frac{25\ 400}{CN} - 254 \right) \right)^2}{Av + 0.99 \left(\frac{25\ 400}{CN} - 254 \right)} \quad \text{pour } Av > 0.01h_s \quad \text{équation (10)}$$

7.7.2 Quantification de la recharge moyenne régionale

La figure 7-23 résume les étapes de la méthode de calcul pour l'estimation de la recharge basée sur la méthode du bilan hydrologique. En résumé, l'estimation de la recharge annuelle a été effectuée sur l'ensemble de la région à partir des quatre types de données sources qui sont :

- la température minimale;
- la température maximale ;
- les apports verticaux ;
- les données de la carte des dépôts de surface (carte #12).

Puisque l'évapotranspiration réelle est estimée sur une base annuelle, la recharge est calculée sur une base annuelle et non journalière. Une sommation des apports verticaux ainsi que du ruissellement journalier est donc d'abord réalisée. La recharge annuelle est ensuite calculée à partir de l'équation suivante :

$$Re = Av - ETP - Ru \quad \text{équation (11)}$$

Où : Re = Recharge annuelle (mm);

Av = Apports verticaux annuels (mm);

$ETP = ETPr$ = Évapotranspiration réel annuelle (mm);

$Ru = h_{Ru}$ = Hauteur de ruissellement annuel (mm).

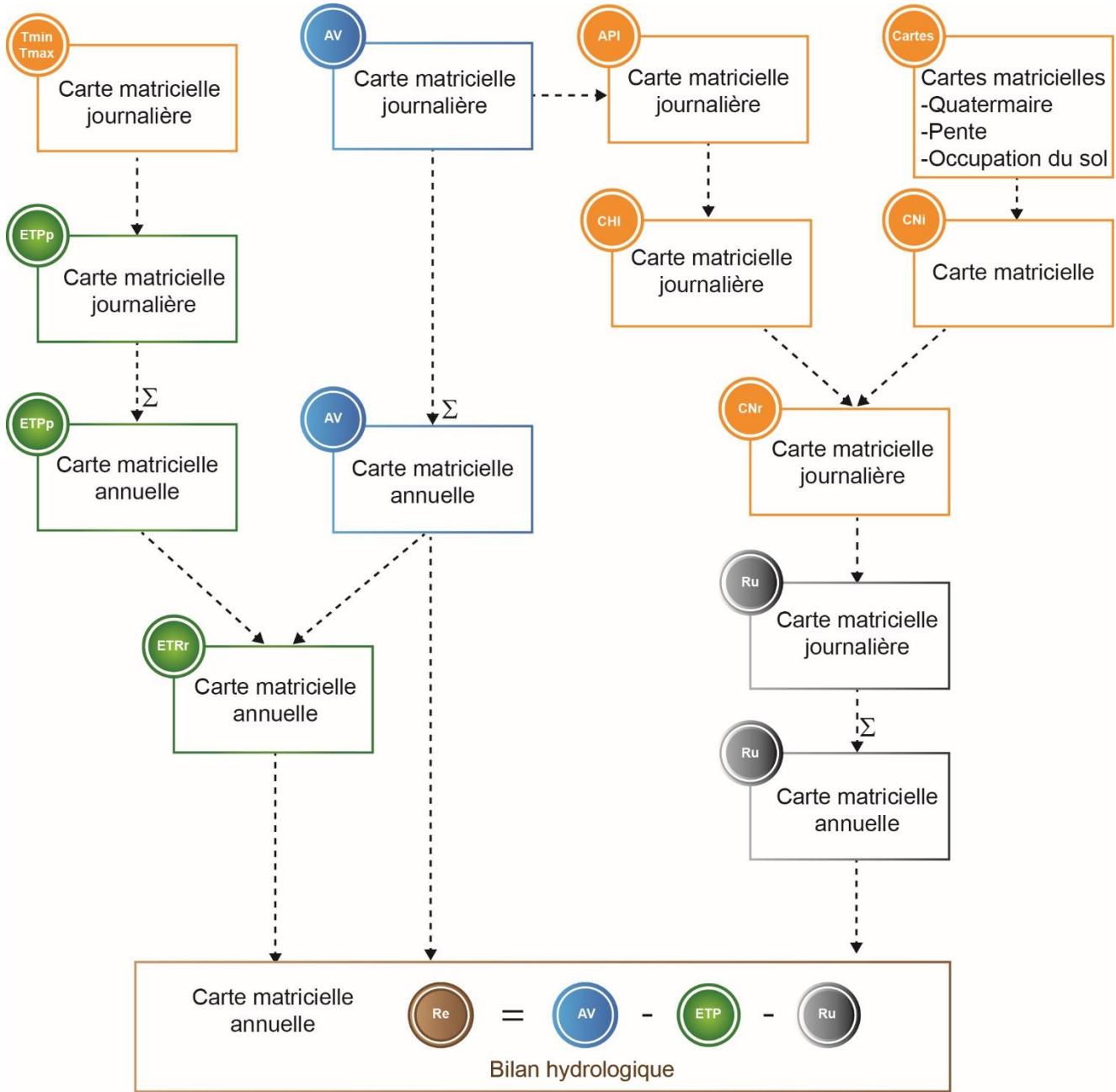


Figure 7-23 : Méthode de calcul géomatique de la recharge annuelle par bilan hydrologique.

La **carte #28b : Recharge annuelle** présente les valeurs de recharge estimée pour des cellules de 250x250m sur l'ensemble du territoire en millimètres par année (mm/an). Or, les températures minimales et maximales ainsi que les apports verticaux estimés pour des cellules de 10km et fournis sous forme de données ponctuelles par le CEHQ (figure 7-20) ont dû être interpolés à nouveau pour des cellules de 250x250 mètres.

Les valeurs de la recharge de la **carte #28b** sont une moyenne calculée sur 10 ans, soit les valeurs calculées de 2000 à 2009. Le calcul et les traitements sont réalisés à l'aide d'outils du logiciel ArcGIS et de codes Python (Boumaiza *et al.*, 2022). Les valeurs de recharge annuelle sont compilées en 10 cartes de recharge annuelle (annexe numérique AN 11), couvrant les années 2000 à 2009.

Les cartes matricielles des valeurs annuelles moyennes obtenues pour chacun paramètre (moyenne sur 10 ans) sont présentées sur la figure 7-24. Sur le territoire de Lanaudière, les apports verticaux annuels moyens estimés à partir des précipitations liquides et solides (modèle de fonte de la neige) varient entre 775 mm/an et 1 000 mm/an (figure 7-24a). Les valeurs annuelles moyenne de l'ETPr varient entre 532 mm/an et 602 mm/an (figure 7-24b) alors que celles du ruissellement annuel moyen varient entre 5 mm/an et 300 mm/an (figure 7-24c).

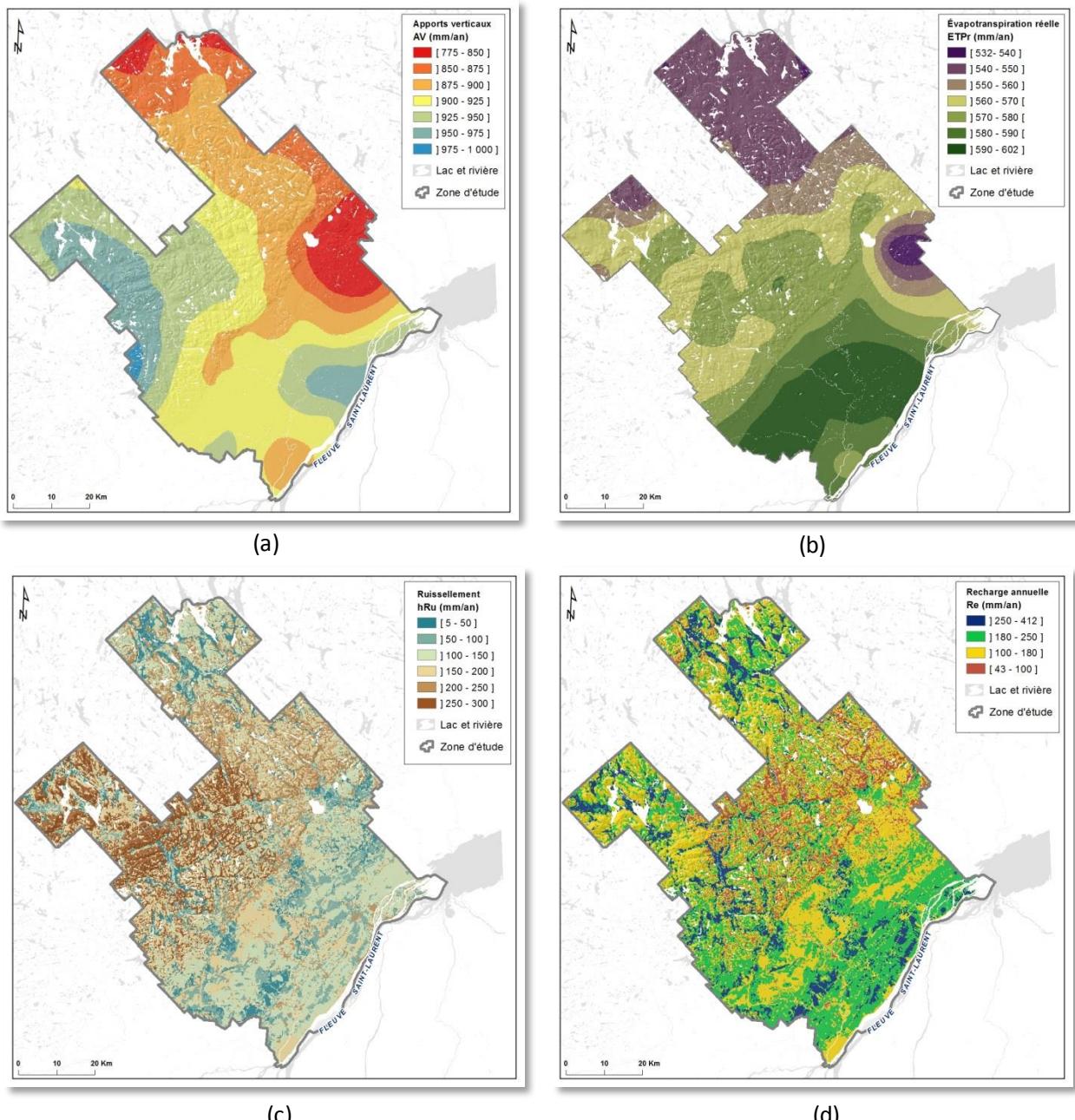


Figure 7-24 : Cartes matricielles obtenues pour chacun des paramètres du bilan hydrologique en mm/an (moyenne sur 10 ans – 2000-2009): (a) Apports verticaux (Av); (b) Évapotranspiration réelle (ETPr); (c) Ruissellement (hRu); (d) Recharge annuelle (Re).

Telles que montrées sur la **carte #28b** et la figure 7-24d, les valeurs de recharge sur le territoire de Lanaudière varient entre 43 mm/an et 412 mm/an. Les zones qualifiées de forte recharge sont celles où la recharge annuelle est estimée supérieure à 250 mm. Ces zones sont représentatives des vallées dans les Hautes-Terres et de certains secteurs dans les Basses-Terres. La présence de sols favorisant l'infiltration de l'eau et les faibles pentes favorisent ces valeurs de recharge élevée.

La recharge telle que présentée sur la **carte #28b** est également fonction des précipitations, par conséquent de grandes quantités d'eau de recharge sont estimées dans les zones aux plus fortes précipitations. Pour deux secteurs présentant les mêmes caractéristiques (type de sol, pente, etc.), le secteur recevant plus de précipitations présentera des valeurs de recharge plus élevée. La figure 7-25 présente le pourcentage de recharge par rapport aux apports verticaux (Av) et représente ainsi le taux des précipitations qui atteint la nappe d'eau.

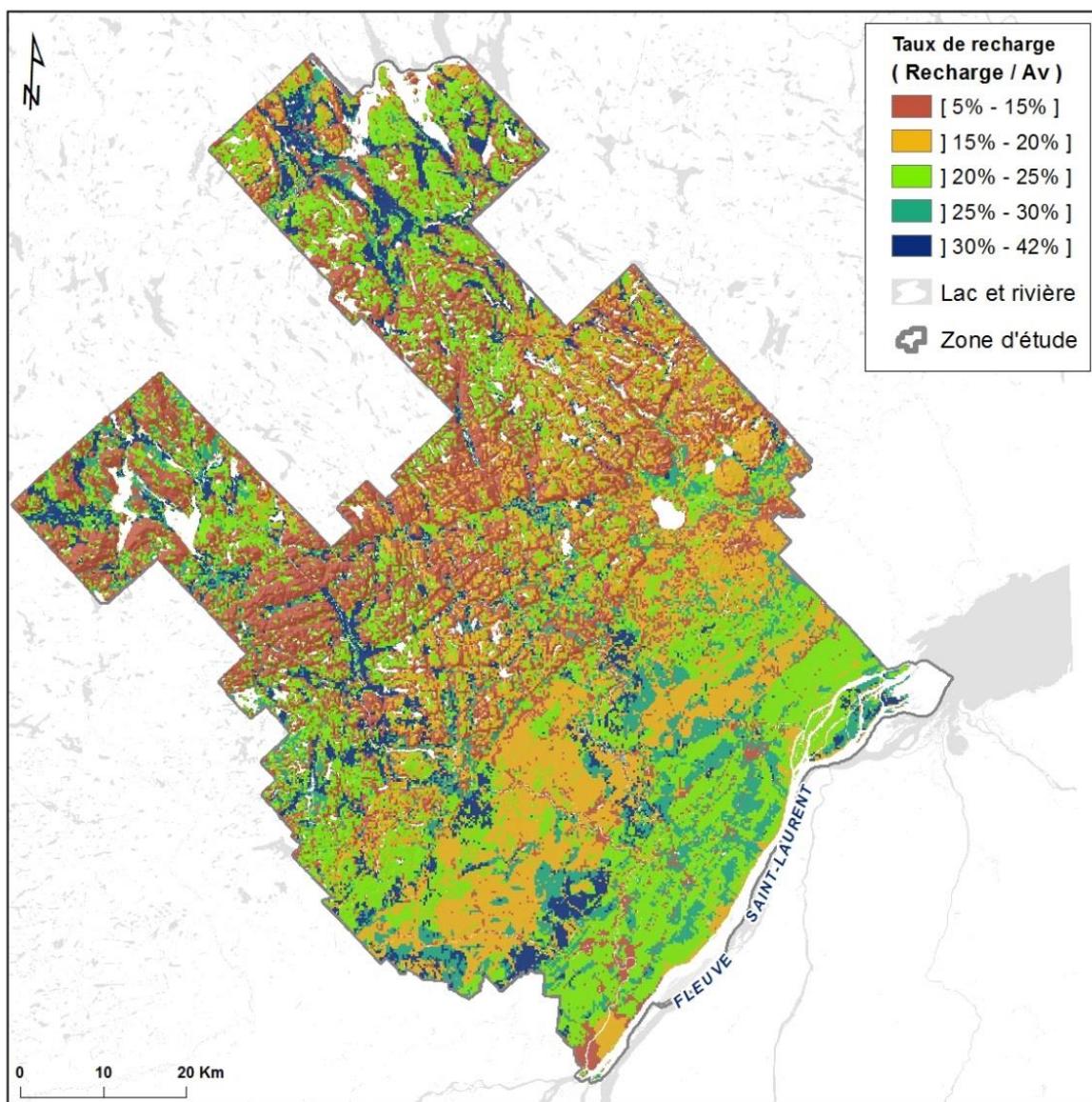


Figure 7-25 : Taux de recharge sur le territoire : La recharge en mm/an divisée par les apports verticaux (mm/an).

7.7.3 Zones de recharge préférentielle et de résurgence

Les zones de recharge préférentielle et de résurgence sont présentées sur la **carte #28a : Zones de recharge préférentielle et de résurgence**.

Les **zones de recharge préférentielle** correspondent aux parties du territoire où l'on retrouve les plus grandes capacités d'infiltration de l'eau. Elles ont été établies à partir des limites des milieux aquifères de dépôts meubles présents en surface (**carte #18a**) des quelles ont été soustraites les zones affichant un ratio inférieur à **25%** des précipitations annuelles converties en recharge. Ces zones (zones vertes sur la *carte #28a*) représentent une subdivision des zones de forte recharge, caractéristiques de zones de forte infiltration. Les zones de recharge préférentielle correspondent grossièrement à des secteurs à protéger.

Deux types de **zones de résurgence** sont identifiés sur le territoire. D'une part, **9 sources** ont été répertoriées à l'occasion des travaux de terrain. Elles sont symbolisées par une étoile rouge sur la *carte #28a*. D'autre part, les **zones de résurgence** ou d'affleurement potentiel de la nappe (en hachuré mauve sur la *carte #28a*) ont été interprétées en soustrayant la piézométrie (*carte #19*) aux valeurs de topographie de surface (*carte #3*). Ces zones correspondent aux secteurs où localement la piézométrie se situe au-dessus de la surface du sol. À l'échelle régionale, les zones de suintement ou de résurgence potentielle sont localisées dans des zones de fortes variations topographiques (ruptures de pente, falaises) et en bordure des cours d'eau.

Compte tenu de la méthode utilisée, dans le secteur des **Hautes-Terres**, la hauteur estimée du toit de la nappe dans les fonds de vallées se trouve généralement au-dessus de la surface du sol. Ces fonds de vallée constituent des zones de résurgence préférentielle. Les zones de recharge quant à elles impliquent que plus de 25% des eaux de précipitation atteignent la nappe d'eau, et donc que les dépôts en surface sont perméables. À nouveau, les fonds de vallées seront généralement des sites privilégiés, puisque c'est à ces endroits que sont généralement accumulées les plus grandes proportions de sédiments perméables. La majorité du territoire des Hautes-Terres est dominé par du roc affleurant, plutôt peu perméable. Dans les **Basses-Terres**, c'est quelque peu différent. Même si la topographie est plane, la présence de l'argile en surface empêche l'infiltration des précipitations dans le sol et favorise plutôt le ruissellement. Toutefois, lorsqu'il y a présence d'une couche de sable en surface, les données quantitatives de recharge sont plus élevées et définissent des zones de recharge préférentielles sur la *carte #28a*.

7.8 Vulnérabilité des milieux aquifères

Diverses méthodes d'estimation de la vulnérabilité sont reconnues et utilisées à travers le monde. Murat (2000) distingue ainsi :

1. Les méthodes contextuelles ou cartographiques qui permettent l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines par les contextes hydrogéologiques représentatifs des conditions de vulnérabilité (méthode développée par le département des ressources naturelles du Minnesota).
2. Les méthodes des systèmes paramétriques qui assignent une valeur numérique ou un poids aux paramètres caractéristiques du milieu (DRASTIC, GOD).
3. Les méthodes analytiques et de modélisation numérique qui permettent de simuler le transport et l'écoulement de contaminants à l'aide d'équations mathématiques (FEFLOW, EV ARISK, SEEPW).

La vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination de surface pour le territoire de Lanaudière est définie d'après la méthode DRASTIC. Cette méthode paramétrique pondérée a été développée par la *U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA)*(Aller *et al.*, 1987).

Cette méthode est basée sur la pondération de sept paramètres dont la première lettre de chacun définit l'acronyme « DRASTIC » (figure 7-26). Les valeurs obtenues pour chaque paramètre sont additionnées et leur somme donne une valeur caractéristique de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination. Ainsi, l'indice de vulnérabilité DRASTIC tient compte exclusivement des données du sol et du sous-sol. Par définition, cet indice est alors naturel ou intrinsèque, c'est-à-dire indépendant de toute activité anthropique. La valeur de l'indice DRASTIC ne doit donc pas être commentée en termes de risques pour les eaux souterraines. Contrairement à la vulnérabilité, le risque est évolutif. L'indice DRASTIC n'est qu'un indicateur de la susceptibilité du milieu à la contamination. Pour évoquer la notion de risque, les activités anthropiques passées, présentes et futures doivent être considérées dans un second temps, car ils correspondent à l'aléa. Toutefois, dans l'état actuel des connaissances, les liens entre les aléas de présence d'un contaminant et la vulnérabilité demeurent difficiles à établir. En effet, les activités anthropiques constituent un aléa possible qui lui non plus ne doit pas être confondu avec le risque et doit faire l'objet d'une évaluation précise qui lui est propre. La **carte #23 : Activités potentiellement polluantes pour l'eau souterraine** représente un premier facteur de cet aléa à l'échelle régionale, mais il ne donne pas une évaluation précise de l'aléa des activités anthropiques à l'égard de la contamination de la nappe d'eau souterraine. Pour une caractérisation adéquate de l'aléa, l'inventaire des sources et des types de pollution doit être réalisé de façon rigoureuse. Cette étape cruciale implique un travail systématique visant à caractériser chaque activité ayant cours sur le territoire en termes de potentiel de contamination de la ressource en eau souterraine.

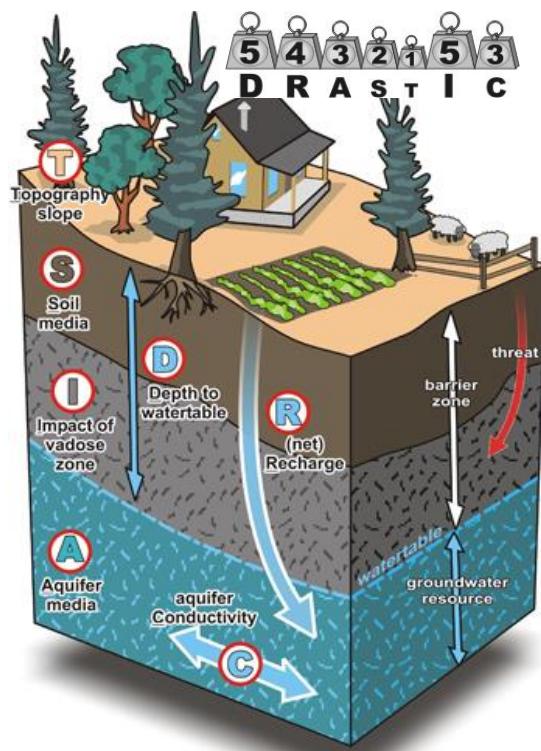


Figure 7-26 : Représentation schématique de la méthode DRASTIC et de la pondération des paramètres à la base de son évaluation (modifié de Franklin et Turner, GSC, 2009).

Chaque paramètre est défini par :

1. Sa cote¹³ qui correspond à un intervalle de valeurs (variables quantitatives) attribué à un type de milieu (variables qualitatives); les cotes varient de 1 à 10 suivant l'impact de la valeur du paramètre sur l'estimation de l'indice de vulnérabilité.
2. Son poids qui varie de 1 à 5 et qui pondère l'importance relative d'un paramètre d'après l'importance du processus physique qu'il représente influençant le caractère vulnérable ou non d'un aquifère.

L'indice de vulnérabilité est par la suite déterminé par la somme du produit des cotes (indice R : *rating*) et du poids (indice W : *weight*) attribués aux différents paramètres (équation 1).

$$\text{Indice DRASTIC} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad \text{équation (1)}$$

Les traitements nécessaires à la création de l'indice DRASTIC ont été implantés dans un *Model Builder*, outil disponible dans l'application *ArcGIS Desktop*. Chaque paramètre de l'indice est d'abord déterminé sur toute la région sous la forme de donnée matricielle d'une résolution de 250 m. La sommation et la pondération des paramètres sont ensuite réalisées selon l'équation (1).

7.8.1 *Intrants du modèle DRASTIC et pondération*

Cette section présente l'ensemble des sept paramètres intrants du modèle DRASTIC pour lesquels les éléments suivants sont présentés :

- la ou les données nécessaires à l'évaluation du paramètre considéré ;
- les cotes proposées par la méthode DRASTIC;
- le résultat cartographique de la cotation à l'échelle régionale.

Paramètre D - Profondeur de la nappe (poids = 5)

Ce paramètre correspond à la profondeur du toit de la nappe d'eau souterraine à partir de la surface du sol. Son poids élevé (5) traduit l'importance du temps de transfert de polluants de la source de pollution en surface vers les eaux souterraines. En effet, plus la nappe est profonde, plus le temps parcouru par un polluant pour atteindre la surface de la nappe sera long. La cote pour l'indice de vulnérabilité est, de ce fait, inversement proportionnelle à la profondeur de la nappe.

La profondeur de l'eau obtenue pour la région de Lanaudière est présentée à la section 7.6.3. Cette dernière est obtenue en soustrayant la piézométrie (carte #19) de l'élévation de la surface du terrain (carte #3). À partir de la carte matricielle de la profondeur de l'eau utilisée, les différents intervalles sont pondérés suivant les cotes proposées par la méthode DRASTIC (tableau 7-7). Le résultat de la reclassification suivant les cotes est présenté à la figure 7-27a.

¹³ L'ensemble des tableaux présentant les diverses cotes de chaque paramètre sont issus du *Guide de conception des installations de production d'eau potable - Volume 2, Québec, 268 p. (MDDEP, 2006)*.

Tableau 7-7 : Cote DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau.

Profondeur de l'eau (m)	Cote
0 à 1,5	10
1,5 à 4,5	9
4,5 à 9	7
9 à 15	5
15 à 23	3
23 à 31	2
31 et plus	1

Paramètre R - Recharge (poids = 4)

Ce paramètre reflète le taux de recharge annuelle qui percole à travers la zone non saturée pour atteindre la nappe. Son poids (4) est le deuxième en importance puisque la recharge donne la quantité d'eau infiltrée et représente donc le principal vecteur pour le transport des contaminants à partir de la surface.

La valeur du paramètre *R* utilisée pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères correspond à la recharge moyenne sur une période de 10 ans, soit de 2000 à 2009 inclusivement (section 7.7 et carte #28b). Par la suite, une cote provenant de la méthode DRASTIC est attribuée en fonction des différents intervalles de recharge (tableau 7-8). La figure 7-27b illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes présentées au tableau 7-8.

Tableau 7-8 : Cote DRASTIC pour chaque classe de recharge efficace.

Recharge efficace (cm/année)	Cote
0 à 5	1
5 à 10	3
10 à 18	6
18 à 25	8
25 et plus	9

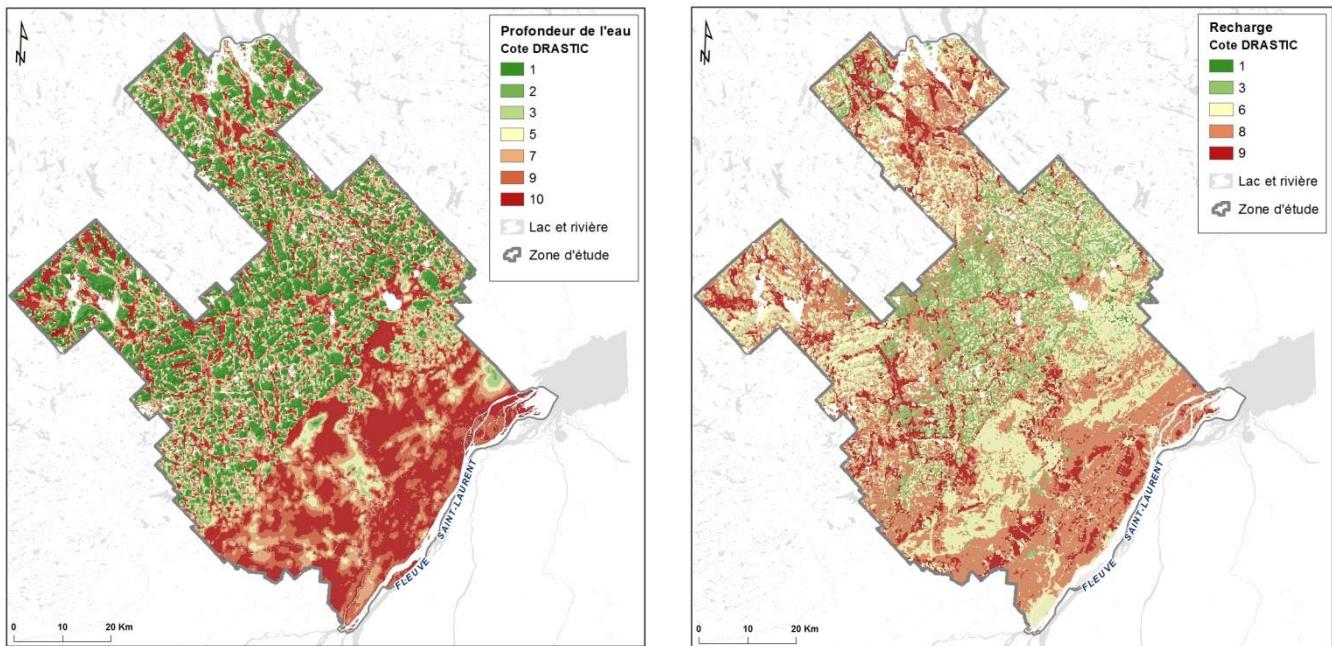


Figure 7-27 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau (a) et pour chaque classe de recharge efficace (b).

Paramètre A – Milieu aquifère (poids = 3)

La circulation de l'eau souterraine est fortement influencée par la perméabilité, la composition et la porosité du milieu aquifère qui la contient. De façon générale, plus la taille des pores est grande, plus les circulations d'eau sont rapides et plus la vulnérabilité sera élevée. Le milieu aquifère est un paramètre qualitatif et subjectif et son poids est de 3. Dans l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères, le paramètre A (milieu aquifère) représente le **premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface du terrain**.

À partir de la *carte #17 : Contextes hydrogéologiques*, la *carte #13 : Géologie du roc* et la *carte #12 : Géologie du Quaternaire*, il est possible de créer une carte matricielle du premier aquifère rencontré. Le tableau 7-9 présente les cotes attribuées selon la méthode DRASTIC et correspondants aux différents milieux aquifères ou géologiques identifiés sur ces trois cartes. La figure 7-28a présente le résultat de la reclassification suivant les cotes du tableau 7-9.

Tableau 7-9 : Cote DRASTIC pour chaque milieu aquifère.

Milieu aquifère	Cartes	Codes provenant des cartes	Cote
Shale massif			2
Roches ignées/métamorphiques			3
Roches ignées/métamorphiques altérées	carte #13	4f, 4,e, 4d, 4c, 4b, 4a, 3h, 3g, 3f, 3e, 3d, 3c, 3b, 3a, 2c, 2b, 2a, 1g, 1f, 1e, 1d, 1c, 1b, 1a	4
Till	carte #12	Trm, Tr, T' ou Tc*	5
Lits de grès, calcaire et shale	carte #13	5b, 5c, 5d ou 5e	6
Grès massif			6
Calcaire massif			6
Sable et gravier	carte #17	C, D, E, F ou G	8
Basalte			9
Calcaire karstique	carte #13	5a	10

*Tm est trop mince pour être un milieu aquifère dans l'évaluation de la vulnérabilité

Paramètre S – Type de sol (poids = 2)

De façon analogue à la perméabilité du milieu aquifère considéré, la texture et la structure du premier mètre de sol influencent la circulation et surtout l'infiltration de l'eau souterraine. De façon générale, plus le sol présente une granulométrie grossière, plus sa perméabilité est élevée et plus la vulnérabilité sera élevée.

La *carte #12 : Géologie du Quaternaire* présente les différents types de sédiments présents en surface. Le tableau 7-10 présente la nature du sol, leur correspondance avec les unités provenant de la carte des dépôts de surface et les cotes d'après la classification proposée par la méthode DRASTIC. Le résultat de la reclassification suivant les cotes du tableau 7-10 est présenté à la figure 7-28b.

Tableau 7-10 : Cote DRASTIC pour chaque type de sol.

Nature du sol	Codes provenant de la carte #12	Cote
Sol mince ou roc	T, Tc, Tm, Tf, Tr, Trm, R, Rd, Ri, Rm, Rs	10
Gravier	Ac, Ca, Ce, Cl, Cr, G, Go, Gx, Gxi, GxT	10
Sable	A, Ap, At, Ax, C, Ed, El, Gs, L, Lb, Ld, LG, LGb, LGd, Mb, Md, MGb, MGd	9
Tourbe	O, Om, Ot	8
Argile fissuré		7
Loam sableux		6
Loam		5
Loam silteux		4
Loam argileux		3
Terre noire		2
Argile	Ae, Cg, La, LGa, M, Ma, Mi, MG, MGa, MGi	1

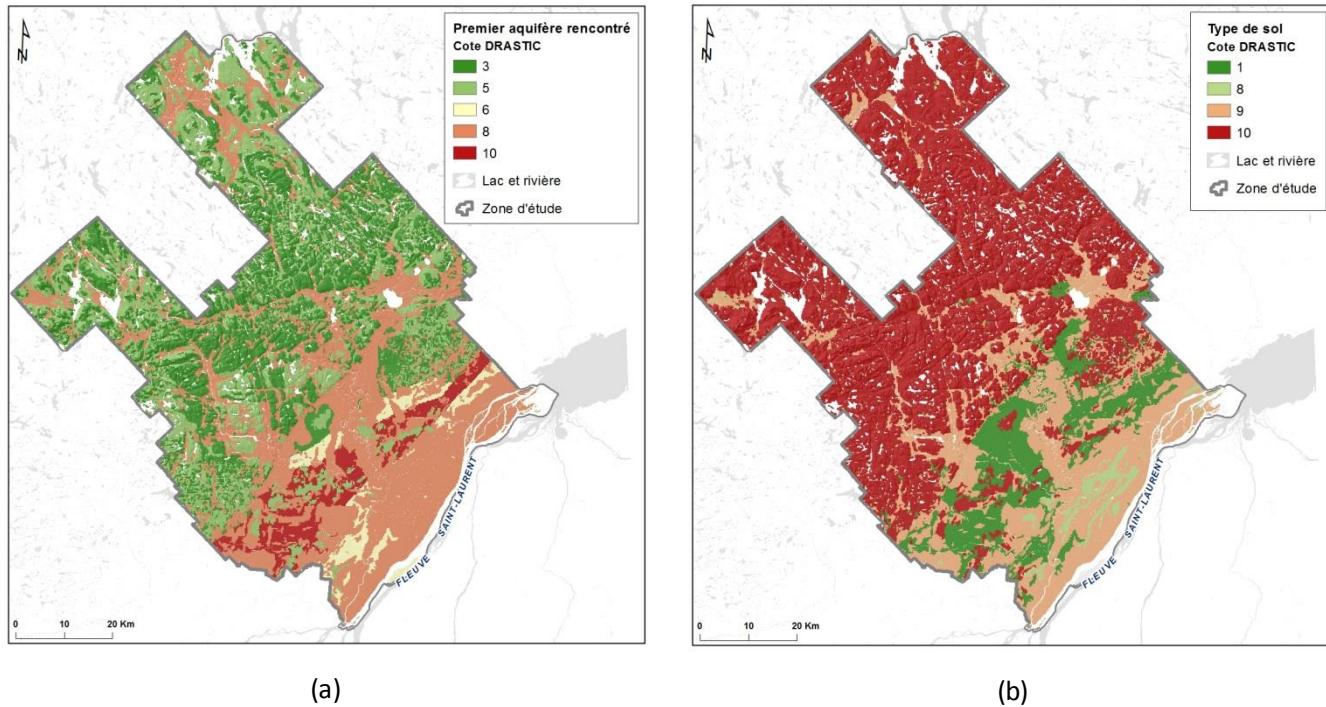


Figure 7-28 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour
a) le premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface, et b) chaque type de sol.

Paramètre T – Pente du sol (poids = 1)

La pente du sol est un élément contrôlant le ruissellement, ce qui influence la recharge de l'aquifère (chapitre 5). Le faible poids (1) du paramètre de la pente provient en partie de son utilisation antérieure dans le calcul de la recharge qui est elle-même un paramètre intrant de la méthode DRASTIC. La carte #4 : *Pente du sol* présente le pourcentage d'inclinaison du terrain sur l'ensemble du territoire. La figure 7-29a illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes indiquées dans le tableau 7-11.

Tableau 7-11 : Cote T de DRASTIC pour chaque classe de pente.

Pente du terrain (%)	Cote
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18 et plus	1

Paramètre I – Impact de la zone vadose (poids = 5)

La zone vadose représente la zone non saturée située entre le sol et la nappe. Les caractéristiques de la zone vadose influencent la circulation et surtout l'infiltration de l'eau souterraine. De façon générale, plus la zone vadose est constituée d'un milieu perméable, plus la vulnérabilité sera élevée. La zone vadose étant représentative du premier environnement rencontré depuis la surface, les cartes géologiques (roc et dépôts de surface) ont été utilisées pour identifier cet environnement.

Les cartes #12 – *Géologie du Quaternaire* et #13 – *Géologie du roc* correspondent aux milieux géologiques associés à la zone vadose. Le tableau 7-12 présente la nature de la zone vadose établie par la méthode DRASTIC ainsi que la correspondance des unités constitutantes cette zone avec les cotes associées. Les unités de surface provenant des cartes #12 et #13 sont classifiées selon la nature de la zone vadose qui correspond à une cote I selon la méthode DRASTIC. La figure 7-29b présente la carte matricielle du résultat de cette reclassification suivant les cotes du tableau 7-12.

Tableau 7-12 : Cote DRASTIC selon la nature de la zone vadose.

Nature de la zone vadose	Cartes	Codes provenant des cartes	Cote
Couche imperméable			1
Silt/argile	carte #12	Cg, LGa, Ma, MGa, MGi, LGa, La	3
Shale			3
Roches ignées/métamorphiques	carte #13	4f, 4,e, 4d, 4c, 4b, 4a, 3h, 3g, 3f, 3e, 3d, 3c, 3b, 3a, 2c, 2b, 2a, 1g, 1f, 1e, 1d, 1c, 1b, 1a	4
Calcaire			6
Grès	carte #13	5b, 5c, 5d, 5e	6
Lits de calcaire, grès et shale			6
Sable et gravier avec silt et argile	carte #12	O, Tc, Tf, Tm, Tr, Trm	6
Sable et gravier	carte #12	A, Ac, Ap, At, Ax, C, Ce, Cr, Ed, Go, Gx, GxT, Gs, Lb, Ld, LG, LGb, LGd, Mb, MGb, MGd	8
Basalte			9
Calcaire karstique	carte #13	5a	10

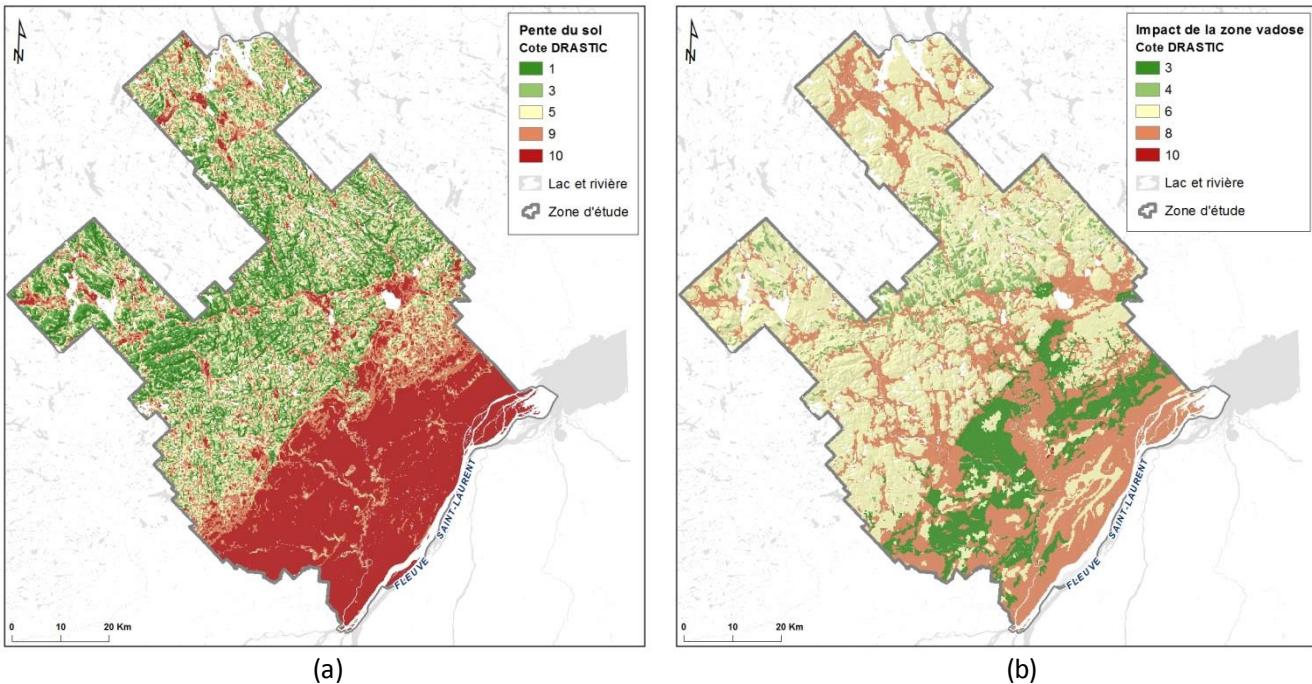


Figure 7-29 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour a) la pente du sol et b) le milieu géologique correspondant à la zone vadose.

Paramètre C – Conductivité hydraulique (poids = 3)

La conductivité hydraulique (K) traduit la facilité avec laquelle l'écoulement souterrain peut se produire. Ce paramètre quantifie l'aptitude d'un milieu aquifère à laisser circuler l'eau qu'il contient. De façon générale, plus K est élevée, plus facilement un contaminant peut migrer, et plus la vulnérabilité sera considérée élevée. Les données matricielles initiales utilisées pour le paramètre (C) correspondent aux données matricielles du paramètre (A) auxquelles sont attribuées des valeurs différentes correspondant à la conductivité hydraulique.

Les différentes valeurs de conductivité hydraulique sont ensuite cotées suivant les gammes d'après la méthode DRASTIC et sont présentées au tableau 7-13. La figure 7-30 illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes du tableau 7-13.

Tableau 7-13 : Cote DRASTIC pour chaque classe de conductivité.

<i>Intervalles de conductivité hydraulique selon DRASTIC (m/j)</i>	<i>Milieu aquifère</i>	<i>Cote selon DRASTIC</i>
0,04-4	Roc fracturé (milieu semi-perméable)	1
4-12		2
12-29		4
29-41		6
41-82	Sable et gravier (milieu perméable)	8
82+		10

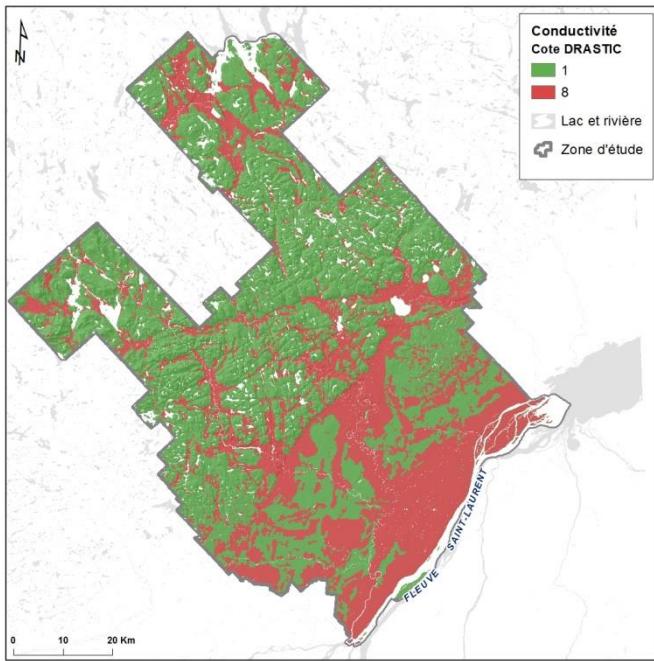


Figure 7-30 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour la conductivité hydraulique.

7.8.2 Carte DRASTIC

Dans le cadre du PACES, le calcul de l'indice DRASTIC a été réalisé à partir d'opérations géomatiques. Ainsi, les données matricielles présentées à la section précédente, et obtenues pour chaque paramètre qui compose l'indice DRASTIC, sont d'abord pondérées, puis additionnées à l'aide de l'outil *Weighted Sum* disponible dans *ArcGIS Desktop* via l'extension *Spatial Analyst*. Le résultat de ces opérations est une donnée matricielle possédant une résolution de 250 m et correspond à la **carte #22 : Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface**. Cette carte montre bien que les secteurs les plus vulnérables correspondent aux endroits où des dépôts d'origine fluvioglaciaire, glaciolacustre et glaciomarin ont été cartographiés en surface (voir carte #12). Ceci résulte notamment du fait que lorsque ces dépôts sont présents en surface, même s'ils sont de faible épaisseur, ils correspondent au premier aquifère rencontré à partir de la surface du sol.

Selon le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP) du MELCC, la vulnérabilité est :

- faible lorsque l'indice de vulnérabilité est inférieur ou égal à 100 ;
- moyenne lorsque l'indice de vulnérabilité est supérieur à 100 et inférieur ou égal à 180 ;
- élevée lorsque l'indice de vulnérabilité est supérieur à 180.

Par conséquent, le territoire dont la vulnérabilité est faible correspond principalement aux secteurs de hautes élévations (carte #3) où le premier aquifère rencontré est constitué de roc ou de till mince en couverture peu perméable (carte #12).

Les secteurs où la vulnérabilité est moyenne correspondent aux suivants :

- dans les Hautes-Terres, en bordure de certaines vallées ;

- dans les Basses-Terres, aux endroits où l'argile est affleurante et où du till en couverture continue est cartographié (carte #12).

Les secteurs où la vulnérabilité est élevée se trouvent principalement :

- dans le sud des Basses-Terres, soit là où il y a présence d'une couche de sable perméable en surface, une topographie relativement plane et où la nappe d'eau souterraine est nécessairement près de la surface.
- dans le fond des vallées des Hautes-Terres, là où l'élévation est faible et où les dépôts de surface perméables sont généralement d'origine fluvioglaciaire (carte #12). Ces secteurs correspondent aussi à des zones préférentielles d'infiltration et de recharge (carte #28a).

De façon générale, la cartographie de la vulnérabilité des aquifères du territoire est représentative du type de dépôt présent en surface, et elle semble fortement influencée par leur perméabilité. Améliorer l'estimation de la vulnérabilité dans une zone particulière nécessite, de ce fait, d'améliorer les connaissances sur la dynamique de transfert des eaux de la surface au sous-sol, ce qui nécessite des travaux de terrain spécifiques.

7.8.3 Limites d'utilisation de la carte #22

L'estimation des cotes pour chacun des paramètres de l'indice DRASTIC est effectuée à partir des données de cartographie existantes (carte des dépôts de surface, carte géologique, carte de la piézométrie régionale et carte d'estimation de la recharge). Par conséquent, les limites d'utilisation de ces cartes s'appliquent également à la carte de vulnérabilité selon DRASTIC.

DRASTIC local versus régional

La détermination de la vulnérabilité par l'indice DRASTIC est une méthode initialement développée pour l'estimation de la vulnérabilité d'une nappe d'eau captée au voisinage d'un ouvrage de captage. Cette méthode locale considère la position assez précise du toit de la nappe d'eau captée en termes de profondeur et de confinement. Or, l'estimation de l'indice DRASTIC à l'échelle régionale, telle que définie dans le cadre des PACES, est liée en grande partie aux données de surface, ainsi le calcul de l'indice de vulnérabilité DRASTIC à l'échelle régionale, ne tient pas compte des aquifères réellement exploités et n'intègre pas la notion de superposition des dépôts.

La figure 7-31 illustre un aspect des simplifications adoptées pour cette cartographie régionale. Sur cette figure, la partie gauche (a) présente la vulnérabilité estimée d'après la méthode élaborée dans le cadre du PACES, et la partie droite (b) présente la méthode telle qu'elle est appliquée pour l'évaluation locale de la vulnérabilité d'un aquifère capté, généralement à des fins d'alimentation en eau potable. Dans ce projet et sur la carte #22, l'indice DRASTIC représente donc la vulnérabilité du premier milieu aquifère rencontré (dépôts granulaires ou roc) depuis la surface, mais n'est pas invariablement une indication de la vulnérabilité de l'eau souterraine des diverses nappes d'eau se trouvant sous une parcelle de territoire.

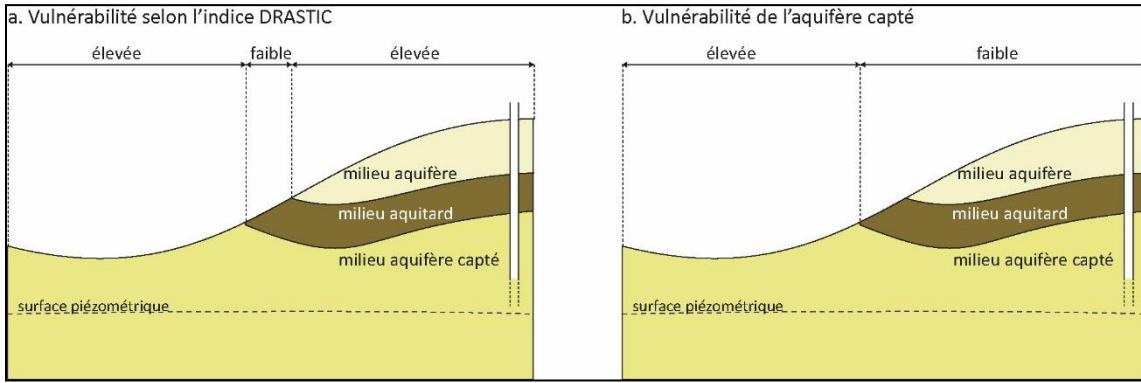


Figure 7-31 : Relativité de la vulnérabilité DRASTIC (tirée de (tiré de CERM-PACES (2013).

Interdépendance de certains intrants

Aussi, Mayzonnat et Larocque (2011) ont montré que la vulnérabilité DRASTIC combine plusieurs paramètres qui ne sont pas indépendants entre eux. En effet, quatre des sept paramètres (recharge –R, premier aquifère intercepté à partir de la surface – A, type de sol – S, zone vadose – I) sont issus de la même donnée de surface, à savoir la carte des dépôts de surface. La relation étroite de ces quatre paramètres avec les données des dépôts de surface introduit une redondance dans le paramétrage de l'indice DRASTIC, ce qui soulève un questionnement majeur sur l'influence relative de ces données sur le résultat obtenu.

Plusieurs autres méthodes d'estimation de la vulnérabilité peuvent être adoptées, notamment celles énumérées au début de la section 7.8. Il serait fort intéressant de réaliser un projet comparatif de l'estimation de la vulnérabilité obtenue avec différentes méthodes. Cet exercice permettrait une analyse plus objective des résultats présentés sur la **carte #22 : Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface**.

8 ÉTAT DE LA RESSOURCE EN EAU

La ressource en eau sert à de multiples usages anthropiques allant de l'alimentation en eau potable des populations, son utilisation dans des procédés industriels et l'usage agricole, sans oublier les fonctions de l'eau dans la vitalité de nombreux écosystèmes. Ces eaux proviennent de deux principales sources : l'eau de surface et l'eau souterraine. Dans une perspective d'alimentation en eau potable, la ressource en eau se caractérise principalement par la quantité disponible et sa qualité physico-chimique et bactériologique.

Ce chapitre présente le portrait de la ressource en eau pour le territoire de Lanaudière pour lequel est présentée l'origine de l'eau et le type d'aquifère sollicité pour l'alimentation en eau potable municipale (section 8.1), une estimation des quantités d'eau de surface et d'eau souterraine prélevées par la MRC annuellement ainsi que les usages faits des eaux souterraines (section 8.2) et finalement la qualité de l'eau pour l'alimentation en eau potable selon le Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP) du Québec (section 8.3).

8.1 Prélèvements d'eau potable par les municipalités

Les prélèvements d'eau pour le territoire de Lanaudière répondent premièrement à un besoin d'alimentation en eau potable. La plupart des municipalités possèdent leurs propres installations de prélèvement et de distribution d'eau destinée à l'alimentation en eau potable. Les réseaux municipaux alimentent une proportion importante de foyers et de personnes en eau potable.

8.1.1 Origines de l'eau prélevée et distribuée dans les réseaux municipaux

Lors de la phase I du PACES, réalisée à l'été 2018 et 2019, la majorité des installations municipales de captage d'eau souterraine ont été visitées par l'équipe du CERM. La figure 8-1 permet de localiser les installations de captage municipales (catégorie 1 et 2¹⁴ seulement) selon leur type et distingue l'origine de l'eau (eau de surface, eau souterraine ou mixte) pour chaque municipalité. Excepté pour celles de la municipalité de Saint-Charles-de-Borromée, la localisation des installations municipales provient de la base de données du MELCC. Les six puits de Saint-Charles-de-Borromée n'étaient pas dans la base de données du MELCC et ont été localisés à partir d'un rapport hydrogéologique récupéré auprès de la municipalité.

Les installations de captage d'eau souterraine pour les besoins à eau potable de la municipalité de Saint-Jacques sont situées sur le territoire de la municipalité de Sainte-Julienne. Deux sites de captage d'eau souterraine sont donc présents sur le territoire de Sainte-Julienne et celui situé à l'extrême est du territoire est celui appartenant à la municipalité de Saint-Jacques. Les installations de la municipalité de Saint-Sulpice sont aussi situées sur le territoire de Lavaltrie, mais en plus elles se retrouvent sur le territoire d'une autre MRC rendant ainsi les enjeux de protection et de conflits d'usage plus importants.

¹⁴ **catégorie 1** : un prélèvement d'eau effectué pour desservir le système d'aqueduc d'une municipalité alimentant plus de 500 personnes et au moins une résidence; **catégorie 2** : un prélèvement d'eau effectué pour desservir le système d'aqueduc d'une municipalité alimentant 21 à 500 personnes et au moins une résidence, ou tout autre système d'aqueduc alimentant 21 personnes et plus et au moins un ou des établissements d'enseignement, un ou des établissements de détention ou un ou des établissements de santé et de services sociaux au sens du Règlement sur la qualité de l'eau potable (chapitre Q-2, r. 40). (chapitre Q-2, r. 35.2, Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection)

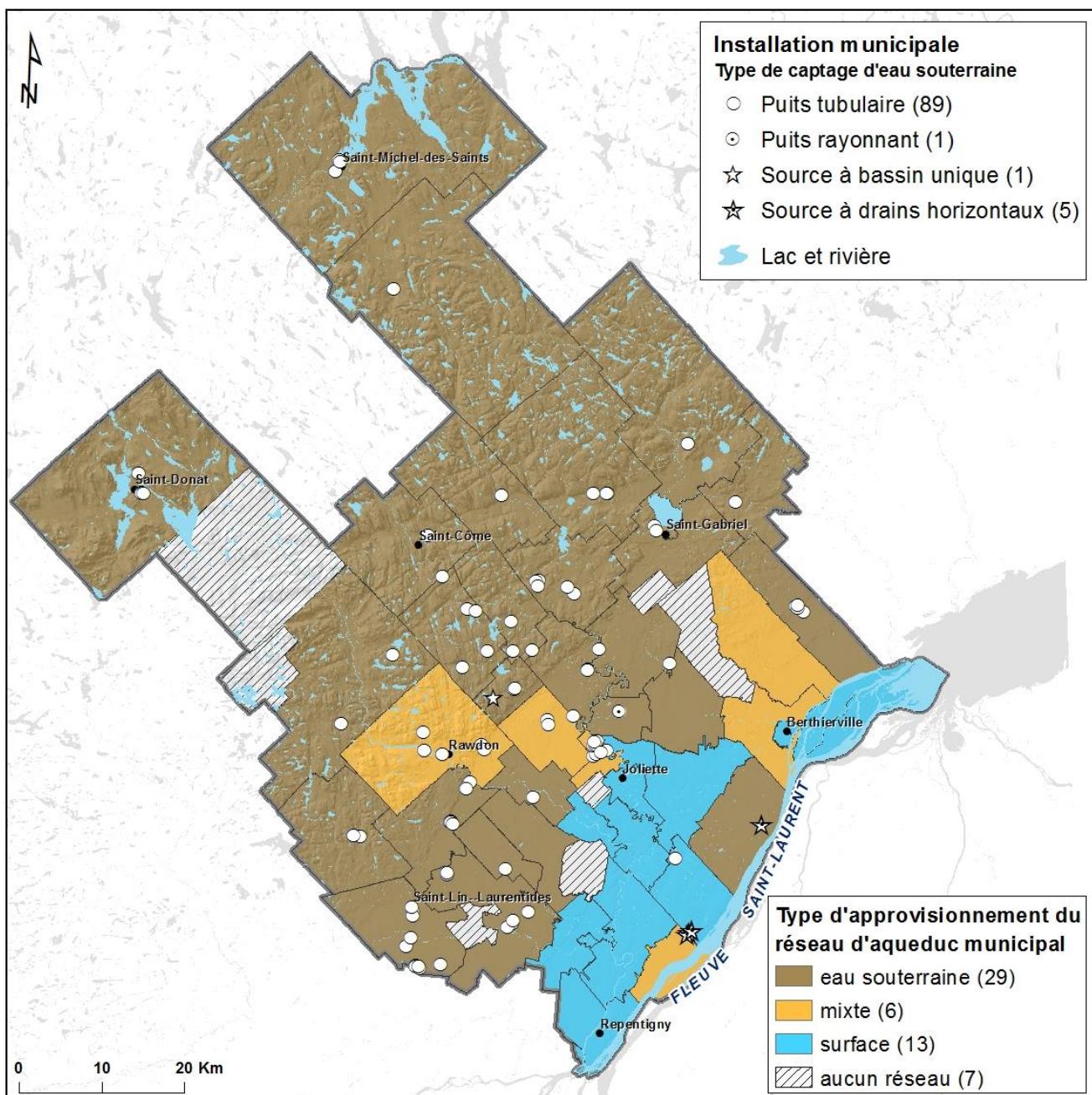


Figure 8-1 : Localisation de stations de prélèvements d'eau souterraine distribuée dans les réseaux municipaux pour l'alimentation en eau potable (catégories 1 et 2 seulement).

Le tableau 8-1 indique l'origine de l'eau distribuée par chacune des municipalités de Lanaudière dans leur réseau d'aqueduc, avec le type d'aquifère. Le type de milieu aquifère ainsi que le type de nappe (libre ou captive) exploités ont été identifiés à la suite des visites dans les municipalités et à partir des rapports hydrogéologiques récupérés. Toutefois, les points représentant les installations de captage d'eau souterraine municipal ne possédaient pas tous des informations précises et à jour sur le type d'aquifère capté et le type de nappe exploitée. En cas d'absence de ces informations, une lecture approfondie du rapport, une analyse et une interprétation ont permis d'estimer ces informations.

Tableau 8-1 : Municipalités de Lanaudière avec le type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc municipal.

Municipalités	Population (2021)¹	Type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc municipal (2021)²	Milieu aquifère	Type nappe
MRC D'Autray				
Mandeville	2 286	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Didace	686	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Saint-Gabriel-de-Brandon	2 673	eau souterraine	Granulaire*	Captive*
Saint-Gabriel	2 693	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Barthélemy	2 069	eau souterraine	Roc fracturé et granulaire	Captive
Saint-Cuthbert	1 840	mixte	Roc fracturé et granulaire*	Captive*
Saint-Norbert	1 051	aucun réseau	-	-
Saint-Cléophas-de-Brandon	224	aucun réseau	-	-
Sainte-Élisabeth	1 472	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Saint-Ignace-de-Loyola	2 101	surface	-	-
La Visitation-de-l'Île-Dupas	643	surface	-	-
Sainte-Geneviève-de-Berthier	2 348	mixte	Roc fracture*	Captive*
Berthierville	4 348	surface	-	-
Lanoraie	5 239	eau souterraine	Granulaire	Libre
Lavaltrie	14 495	surface	-	-
MRC de Joliette				
Sainte-Mélanie	3 208	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Ambroise-de-Kildare	4 072	mixte	Roc fracturé et granulaire	Captive et Libre
Notre-Dame-de-Lourdes	2 969	eau souterraine	Granulaire	Libre
Saint-Charles-Borromée	14 683	mixte	Roc fracturé	Captive
Saint-Thomas	3 495	surface	-	-
Notre-Dame-des-Prairies	9 496	surface	-	-
Joliette	21 571	surface	-	-
Saint-Pierre	301	aucun réseau	-	-
Saint-Paul	6 477	surface	-	-
Crabtree	4 104	surface	-	-
MRC de L'Assomption				
L'Assomption	23 623	surface	-	-
L'Épiphanie	8 920	surface	-	-
Saint-Sulpice	3 395	mixte	Granulaire	Libre
Repentigny	86 419	surface	-	-
Charlemagne	6 175	surface	-	-
MRC de Matawinie				
Saint-Michel-des-Saints	2 418	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Zénon	1 181	eau souterraine	Granulaire	Libre
Saint-Damien	2 190	eau souterraine	Granulaire	Libre
Saint-Donat	4 159	eau souterraine	Granulaire	Libre

Municipalités	Population (2021) ¹	Type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc municipal (2021) ²	Milieu aquifère	Type nappe
Sainte-Émérie-de-l'Énergie	1 703	eau souterraine	Roc fracturé	Libre
Notre-Dame-de-la-Merci	973	aucun réseau	-	-
Saint-Côme	2 358	eau souterraine	Granulaire	Libre
Saint-Jean-de-Matha	4 601	eau souterraine	Roc fracturé	Libre
Sainte-Béatrix	2 194	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Alphonse-Rodriguez	3 280	eau souterraine	Roc fracturé	Libre
Chertsey	4 926	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Saint-Félix-de-Valois	6 799	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Entrelacs	967	aucun réseau	-	-
Sainte-Marcelline-de-Kildare	1 745	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Rawdon	11 748	mixte	Granulaire	Captive
MRC de Montcalm				
Saint-Liguori	2 040	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Sainte-Julienne	11 086	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Calixte	6 629	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Saint-Jacques	4 280	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Alexis	1 382	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Sainte-Marie-Salomé	1 200	aucun réseau	-	-
Saint-Esprit	2 033	eau souterraine	Granulaire	Libre
Saint-Lin - Laurentides	23 299	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Saint-Roch-de-l'Achigan	5 492	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Saint-Roch-Ouest	282	aucun réseau	-	-

¹Population des municipalités, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.

² Données recueillies sur le site présentant les réseaux municipaux de distribution d'eau potable du MELCC (Mise à jour le 13 septembre 2021).

*Via les installations d'une municipalité voisine.

Tel que montré dans le tableau 8-1 et la figure 8-1, des 55 municipalités du territoire de Lanaudière, **35** s'approvisionnent en entier ou en partie leur **réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine**, ce qui représente **64%** des municipalités présentes sur le territoire à l'étude. Toutes les municipalités situées dans les Hautes-Terres, le piedmont et la partie nord des Basses-Terres sont en eau souterraine ou en approvisionnement mixte. La majorité des municipalités du sud du territoire approvisionne leur réseau via une source d'eau de surface, sauf les municipalités de Saint-Sulpice, Lanoraie, Sainte-Geneviève-de-Berthier, Saint-Cuthbert et Saint-Barthélemy. Il est à noter que les municipalités de Saint-Cuthbert et Sainte-Geneviève-de-Berthier approvisionnent la majorité de leurs réseaux via une source d'eau de surface, mais une partie est tout de même alimentée via une installation de captage d'eau souterraine appartenant à une municipalité voisine (Saint-Barthélemy et Sainte-Élizabeth respectivement). La municipalité de Saint-Gabriel-de-Brandon ne possède pas non plus d'installation de captage d'eau souterraine et approvisionne le réseau d'aqueduc à partir des installations de la municipalité de Saint-Gabriel.

En plus des **96 installations de captage municipal** d'eau souterraine localisées sur la figure 8-1 :

- **sept (7)** installations sous la responsabilité d'une municipalité captent aussi de l'eau souterraine pour alimenter en eau potable un seul établissement tel qu'une salle communautaire ou un établissement touristique. Ces installations se retrouvent dans les municipalités Saint-Norbert (salle communautaire) ainsi que Joliette, L'Épiphanie, Rawdon, Saint-Michel-des-Saints, Saint-Zénon, Saint-Norbert et Sainte-Julienne (établissement touristique).
- **cent (100)** installations sous la responsabilité d'un organisme institutionnel (ex. : commission scolaire), privé (ex. : camping privé) ou une entreprise (ex. : club de golf) captent aussi une nappe d'eau souterraine. La figure 8-2 montre la localisation de ces stations selon le type de propriétaires.

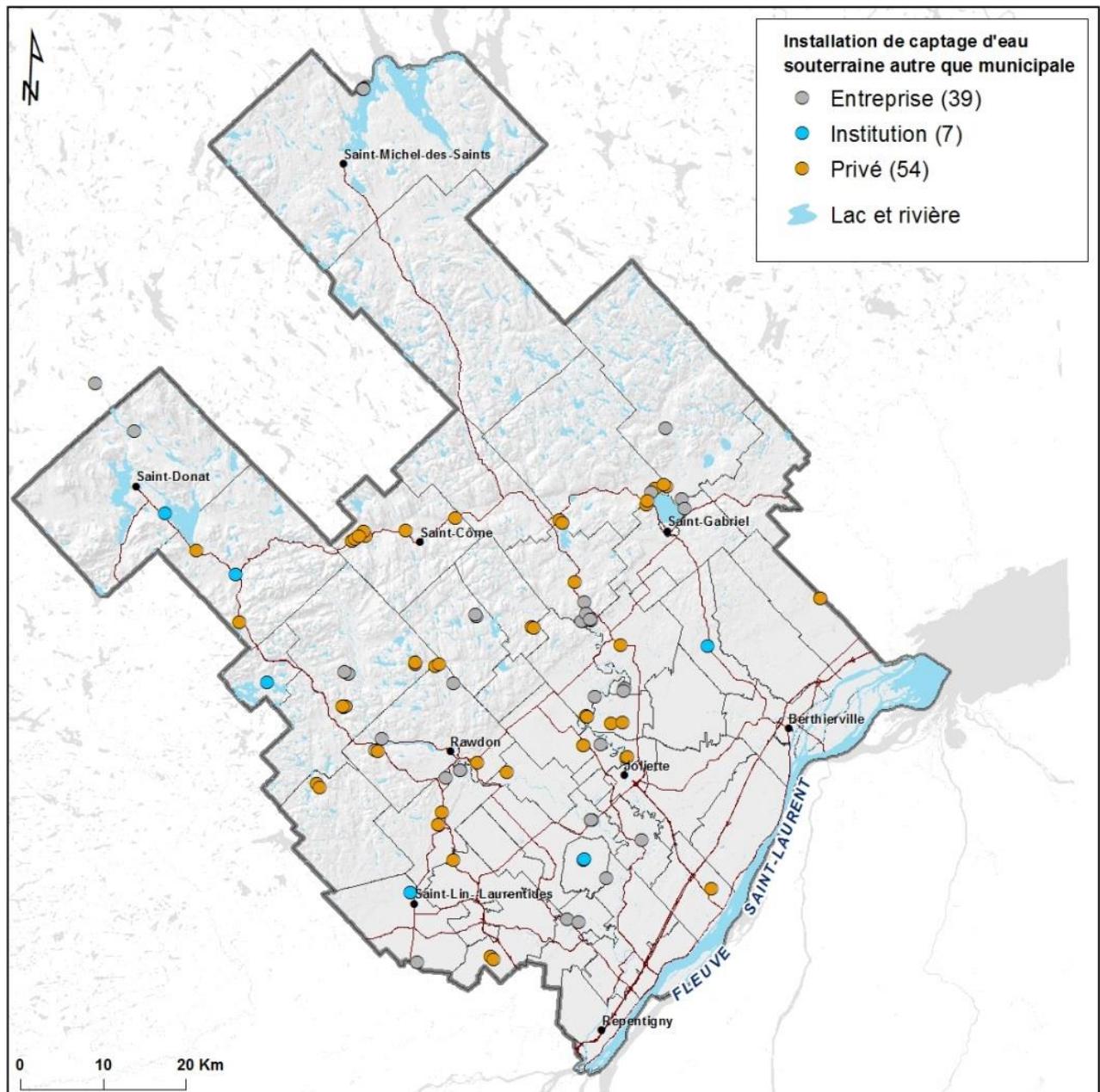


Figure 8-2 : Localisation de stations de prélèvements d'eau souterraine autres que municipaux présentes sur le territoire de Lanaudière.

8.1.2 Aquifères approvisionnant les réseaux d'aqueduc municipaux

Comme indiqué par le tableau 8-1 et présenté sur la figure 8-3, sur les **35 municipalités** approvisionnant leur réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine :

- **17** municipalités distribuent l'eau provenant d'un **aquifère granulaire**;
- **15** municipalités distribuent l'eau provenant d'un **aquifère de roc fracturé**;
- **3** municipalités distribuent de l'eau provenant d'un **aquifère granulaire et d'un aquifère de roc fracturé**;

Des **35 municipalités** approvisionnant leur réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine ou mixte, **23** distribuent dans leur réseau une eau souterraine en **nappe captive**. Ces municipalités sont identifiées dans le tableau 8-1 et localisées avec un hachuré noir sur la figure 8-4.

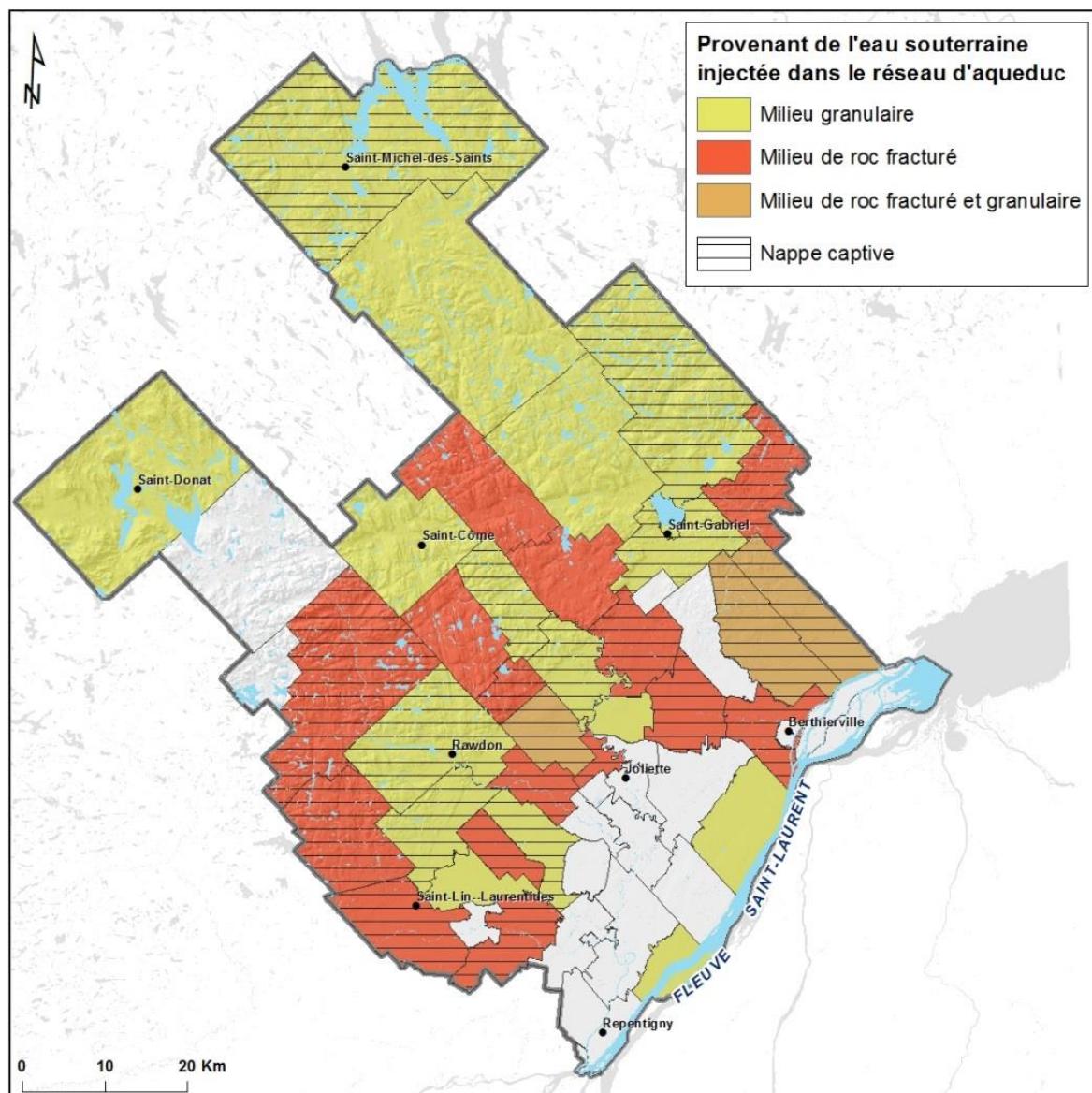


Figure 8-3 : Provenance de l'eau souterraine distribuée dans le réseau d'aqueduc municipal : le type de milieux aquifères (granulaire ou roc fracturé) et le type de nappe (captive ou libre).

La plupart des municipalités sur le territoire de Lanaudière distribuent dans leur réseau d'aqueduc l'eau captée par leurs propres installations de captage. Par contre, comme discuté précédemment, certaines municipalités ne possèdent pas d'installation de captage et distribuent l'eau provenant des installations d'une municipalité voisine. Ces municipalités sont identifiées avec un astérisque dans le tableau 8-1. C'est le cas des municipalités de Saint-Cuthbert et Sainte-Geneviève-de-Berthier qui, bien qu'elles figurent sur la carte de la figure 8-3, ne possèdent pas d'installation de captage d'eau souterraine. Ces deux municipalités n'approvisionnent qu'une partie de leur réseau via une installation de captage d'eau souterraine et cette source d'eau provient des municipalités voisines, en l'occurrence Saint-Barthélemy approvisionne Saint-Cuthbert et Sainte-Élisabeth approvisionne Sainte-Geneviève-de-Berthier.

Il faut noter aussi que les municipalités possèdent souvent plusieurs installations de captage qui sont parfois installées dans des aquifères différents. Les deux prochaines sections présentes les types d'aquifères exploités par les installations de captage des municipalités ainsi que leurs contextes hydrogéologiques.

Aquifères de roc fracturé exploités par les municipalités

Dans la région, les installations de **15 municipalités** captent un aquifère de roc fracturé. Les installations des municipalités situées dans les Hautes-Terres ou le piedmont captent un aquifère constitué de roches cristallines alors que celles situées dans les Basses-Terres exploitent le roc sédimentaire.

Les installations municipales de la région captant un aquifère de roc fracturé sont situées dans différents contextes hydrogéologiques (voir section 7.4).

Les installations municipales captant un aquifère de roc fracturé de :

- **deux** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique A** caractérisé par un aquifère de roc cristallin fracturé, soit Sainte-Émérie-de-l'Énergie et Saint-Jean-de-Matha.
- **une** municipalité est située dans le **contexte hydrogéologique D** caractérisé par deux aquifères superposés, dont celui localisé à la base est un aquifère de type fracturé et celui situé au sommet est un aquifère de gravier d'origine fluvioglaciaire. Ces installations sont celles de Saint-Alphonse-Rodriguez qui captent l'eau souterraine dans le roc cristallin.
- **une** municipalité est située dans le **contexte hydrogéologique E** caractérisé par un aquifère confiné de gravier d'origine fluvioglaciaire reposant sur le roc. Ce sont les installations de la municipalité de Saint-Liguori qui captent l'eau dans le roc sédimentaire.
- **trois** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique F** caractérisé par deux aquifères granulaires superposés séparés par une couche imperméable reposant sur un aquifère de roc fracturé (aquifère confiné). Les installations des municipalités de Saint-Didace, Saint-Félix-de-Valois et de Saint-Calixte sont tous situés dans ce contexte et captent l'eau dans le roc cristallin.
- **huit** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique G** caractérisé par deux aquifères superposés séparés par une couche imperméable, dont celui localisé à la base est un aquifère de roc fracturé (aquifère confiné). Les installations des municipalités de Saint-Charles-de-Borromée, Saint-Alexis et Saint-Lin - Laurentides et Saint-Barthélemy captent l'eau souterraine dans les roches sédimentaires alors que celles de Saint-Élisabeth, Sainte-Marcelline-de-Kildare, Saint-Ambroise-de-Kildare et Chertsey captent l'eau dans les roches cristallines.
- **une** seule municipalité, Saint-Roch-de-l'Achigan, est située dans le **contexte hydrogéologique I** caractérisé par un aquifère confiné de roc sédimentaire fracturé.

Aquifères granulaires exploités par les municipalités

Les installations de **19 municipalités** captent un aquifère granulaire et sont localisées principalement dans les Hautes-Terres et le piedmont, mais aussi dans les Basses-Terres.

Les installations des municipalités captant un aquifère granulaire sont elles aussi situées dans différents contextes hydrogéologiques (voir section 7.4).

Les installations municipales captant un aquifère granulaire de :

- **une** municipalité sont situées dans le **contexte hydrogéologique C** caractérisé par un aquifère de sable indifférencié affleurant et reposant directement sur le roc. Un des puits de la municipalité de Saint-Ambroise-de-Kildare est situé dans ce contexte.
- **cinq** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique D** caractérisé par un aquifère de gravier d'origine fluvioglaciaire et reposant directement sur le roc. Mis à part la municipalité de Saint-Esprit, les municipalités situées dans ce contexte sont toutes dans les Hautes-Terres, soit Saint-Donat, Saint-Zénon, Saint-Damien et Saint-Côme.
- **deux** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique E** caractérisé par un aquifère confiné de gravier d'origine fluvioglaciaire reposant sur le roc, soit les municipalités de Saint-Liguori et de Chertsey.
- **huit** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique F** caractérisé par deux aquifères granulaires superposés séparés par une couche imperméable, dont celui localisé à la base est un aquifère de gravier d'origine fluvioglaciaire (aquifère confiné). Toutes les installations municipales situées dans ce contexte exploitent l'aquifère de gravier confiné (Mandeville, Saint-Gabriel, Sainte-Mélanie, Saint-Michel-des-Saints, Rawdon, Sainte-Julienne, Saint-Jacques et une installation de captage de Saint-Barthélemy). Certaine de ces municipalités sont situées dans les Basses-Terres, d'autres dans les Hautes-Terres.
- **quatre** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique G** caractérisé par un aquifère granulaire de sable indifférencié affleurant (nappe libre), reposant sur une couche imperméable (Lanoraie, Saint-Sulpice et Notre-Dame-de-Lourde). Les installations de la municipalité de Sainte-Béatrix sont apparemment situées dans le contexte G où elles captent l'eau souterraine à partir de dépôts sableux entremêlés de dépôts de silt-argileux. La nappe a été qualifiée de captive¹⁵.

Les installations de captage d'eau souterraine de la municipalité de Lanoraie présentent certaines particularités. L'eau est captée dans l'aquifère de sable de surface à partir de plusieurs pointes filtrantes. À lui seul, le puits #6 possède 36 pointes. La figure 8-4 illustre une partie des installations de la municipalité.

¹⁵ Information indiquée dans un rapport obtenu de la municipalité de Sainte-Béatrix (RN008):

Ouellet, S (2016), *Demande d'autorisation pour la mise aux normes du puits de captage PE-1 de la municipalité de Ste-Béatrix*, Puits PE-1 de la municipalité de St-Béatrix, N/Réf. : MGA-16-00012-013-HD, MGA Géoservices, 13 décembre 2016.



Figure 8-4 : Site de prélèvement d'eau souterraine de la municipalité de Lanoraie constitué de plusieurs pointes filtrantes.

Le tableau 8-2 présente une synthèse des installations municipales en fonction du contexte hydrogéologique dans lequel elles se situent et du type d'aquifère qu'elles captent.

Tableau 8-2 : Les installations municipales classées par contextes hydrogéologiques et le type d'aquifère qu'elles captent.

<i>Contextes hydrogéologiques</i>	<i>Type d'aquifère capté</i>	<i>Installations des municipalités</i>
A	Roc cristallin	Sainte-Émeline-de-l'Énergie Saint-Jean-de-Matha
B	Roc sédimentaire	-
C	Sable indifférencié	Saint-Ambroise-de-Kildare
D	Gravier fluvioglaciaire	Saint-Zénon Saint-Damien Saint-Côme Saint-Esprit Saint-Donat
	Roc cristallin	Saint-Alphonse-Rodriguez
E	Roc sédimentaire	Saint-Liguori

<i>Contextes hydrogéologiques</i>	<i>Type d'aquifère capté</i>	<i>Installations des municipalités</i>
F	Gravier fluvioglaciaire Roc cristallin	Mandeville Saint-Gabriel Sainte-Mélanie Saint-Michel-des-Saints Rawdon Sainte-Julienne Saint-Jacques Saint-Barthélemy Saint-Didace Saint-Félix-de-Valois Saint-Calixte
	Sable indifférencié	Lanoraie Notre-Dame-de-Lourdes Saint-Sulpice
	Sable indifférencié (nappe captive ¹)	Sainte-Béatrix
G	Roc sédimentaire Roc cristallin	Saint-Charles-Borromée Saint-Alexis Saint-Lin – Laurentides Saint-Barthélemy Sainte-Élisabeth Sainte-Marcelline-de-Kildare Saint-Ambroise-de-Kildare Chertsey
H	Roc cristallin	-
I	Roc sédimentaire	Saint-Roch-de-l'Achigan

¹ Lors de la simplification des unités géologiques réalisée à l'échelle régionale, les couches de sédiments silteux dans les Hautes-Terres et le piedmont n'ont pas été considérées dans l'interprétation des coupes et donc dans la carte des contextes hydrogéologiques. Localement, il peut donc y avoir des puits situés dans l'unité de sables indifférenciés de surface qui sont captifs.

8.1.3 Pression sur la ressource en eau des installations municipales

Lors des visites des municipalités à l'été de 2018 et de 2019, au moins **8 municipalités** (Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Barthélemy, Saint-Donat, Sainte-Béatrix, Sainte-Julienne, Sainte-Mélanie et Saint-Jacques) sur le territoire de Lanaudière réalisaient ou prévoyaient réaliser une recherche en eau afin de répondre à la demande croissante en eau potable. Puisque la municipalité de Saint-Sulpice manque régulièrement d'eau et que ses dernières recherches en eau se sont avérées négatives dû à la présence d'eau salée), son réseau a été raccordé aux réseaux d'aqueduc de Repentigny et de l'Assomption. La municipalité de Lanoraie prévoit des problèmes de quantité d'eau disponible dans un avenir rapproché.

Sur le territoire de Lanaudière, une expansion démographique importante de 7.8% est prévue d'ici l'année 2030 (Bellehumeur, 2020) ce qui se traduira par une demande plus élevée en eau potable. La proximité de la métropole montréalaise favorise certainement cette croissance importante de la population dans les municipalités de Lanaudière. La municipalité de Saint-Michel-des-Saints prévoyait aussi mandater un consultant pour une recherche en eau pour pouvoir répondre aux besoins en eau de la nouvelle usine de granule ainsi que

ceux de la future mine de graphite. La municipalité de Saint-Lin – Laurentides n'a pas pu être rencontrée par l'équipe du CERM, mais plusieurs de ses citoyens ont manqué d'eau au courant de l'été 2021¹⁶.

Pour la municipalité de Saint-Barthélemy, c'est un problème de qualité de l'eau captée par le puits qui a été noté à l'été 2018. Une concentration dépassant la norme pour les bromates rendait l'eau acheminée dans le réseau municipal impropre à la consommation¹⁷.

8.2 Estimation des quantités d'eau prélevée par MRC

La **carte #26 : Utilisation de l'eau** illustre les volumes d'eau de surface et d'eau souterraine utilisées annuellement pour chacune des cinq MRC de la région de Lanaudière. Il ne s'agit pas systématiquement d'une consommation d'eau, puisque les volumes correspondent parfois à des prélèvements d'eau restitués presque intégralement à l'environnement après usage, sans dégradation notable de la qualité (dénoyage de carrières/sablières, eau de refroidissement, etc.). Les volumes sont estimés selon le protocole proposé par le GRIES adapté dans le cadre du PACES-CHCN (annexe numérique **AN 10**). Ce protocole présente l'ensemble des données utilisées et la méthodologie suivie. La majorité des données proviennent du répertoire des grands préleveurs ($75 \text{ m}^3/\text{jr}$ et plus, MELCC 2020). L'encadré suivant décrit certaines hypothèses considérées par le protocole :

- 1) la consommation d'eau potable d'un individu est estimée à 250 l/jour;
- 2) la population alimentée en eau potable en dehors du réseau municipal est toujours alimentée par des installations privées qui captent l'eau souterraine;
- 3) les installations agricoles sont toutes alimentées en eau potable à partir d'eau souterraine captée par des puits individuels;
- 4) la consommation d'eau potable par type d'élevage est tirée de chartes de consommation d'eau par type d'animaux fournie par le MAPAQ;
- 5) la consommation industrielle-commerciale-institutionnelle correspond aux volumes restants de l'eau potable distribuée par les réseaux (après avoir soustrait la consommation domestique et les pertes) et aux volumes indiqués dans le registre des grands préleveurs fournis par le MELCC;
- 6) les pertes en réseau sont estimées à 20% de l'eau distribuée annuellement par le réseau.

8.2.1 Eau de surface

En plus des treize municipalités dont la population est alimentée en eau potable à partir d'eau de surface (tableau 8-1), quelques industries utilisent cette ressource dans leur procédé, ce qui nécessite des volumes importants. Les volumes estimés d'eau de surface utilisée annuellement par MRC sont présentés au tableau 8-3.

Selon le tableau 8-3, la consommation d'eau de surface se fait en grande majorité, soit à **64%**, par des **installations municipales**. Au total, la MRC de Joliette (45%) avec la MRC de l'Assomption (37%) consomment **82%** des volumes annuels d'eau de surface pour l'ensemble du territoire de Lanaudière. Les MRC de Matawinie et Montcalm utilisent moins de 2% des volumes annuels d'eau de surface utilisée par l'ensemble du territoire de Lanaudière.

Tableau 8-3 : Volumes estimés d'eau de surface distribuée annuellement provenant des réseaux municipaux ou d'installations privées.

¹⁶ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1833160/en-pleine-expansion-saint-lin-laurentides-manque-deau>

¹⁷ <https://www.people-bokay.com/saint-barthelemy-leau-de-ville-improprie-a-la-consommation/>

MRC	Distribués par le réseau municipal		Distribués par des installations privées		Volume total prélevé annuellement	
	m ³ /an	% ¹	m ³ /an	% ¹	m ³ /an	% ²
D'Autray	4 768 226	63%	2 787 618	37%	7 555 844	16%
Joliette	8 949 316	42%	12 370 295	58%	21 319 611	45%
L'Assomption	16 319 855	95%	861 828	5%	17 181 683	37%
Matawinie	199 985	23%	665 824	77%	865 809	2%
Montcalm	-	0%	38 008	100%	38 008	<1%
TOTAL	30 237 382	64%	16 723 573	36%	46 960 955	100%

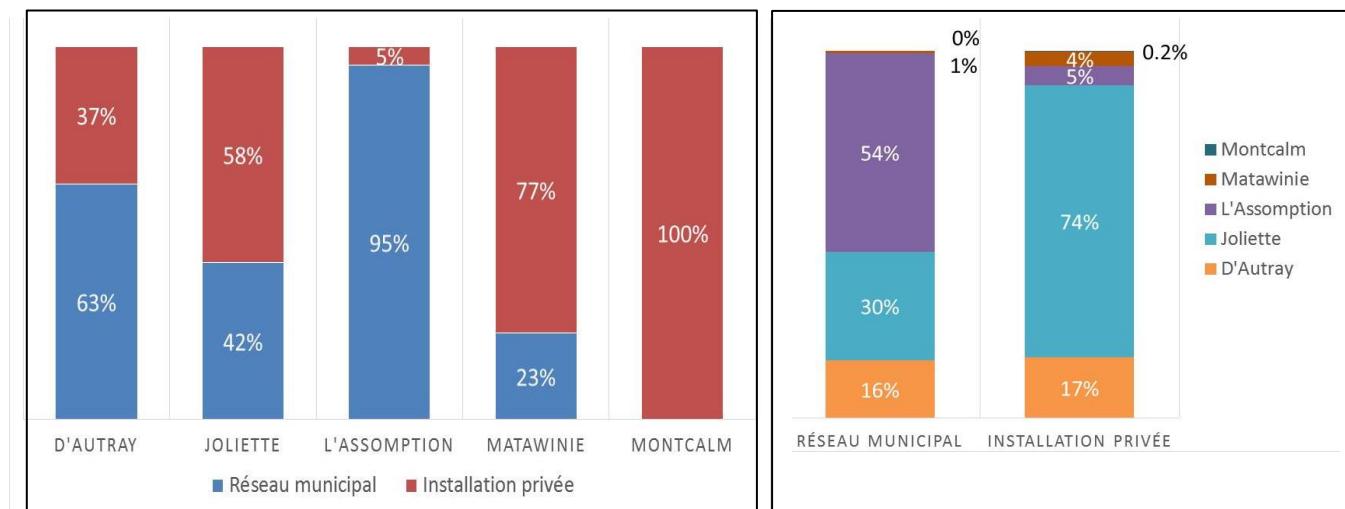
¹ Les % se lisent par MRC.

² Le % correspond à la consommation totale pour le territoire de Lanaudière.

La figure 8-5a montre que l'eau de surface distribuée par la MRC de l'Assomption provient en majorité des réseaux municipaux (95%) tandis que l'eau de surface distribuée par la MRC de Montcalm provient uniquement d'installations privées. Effet, sur le territoire de la MRC de Montcalm aucune municipalité n'approvisionne son réseau avec de l'eau de surface. La proportion d'eau de surface distribuée dans la MRC de Joliette et d'Autray est sensiblement la même pour les réseaux municipaux et les installations privées. Pour la MRC de Montcalm, environ le quart de l'eau de surface consommé alimente les installations municipales.

La figure 8-5b illustre que la MRC de Joliette distribue 74% de la totalité de l'eau de surface distribuée par les installations privées alors que la MRC de L'Assomption distribue plus de la moitié de l'eau de surface provenant des installations municipales.

Bien que sur le territoire de la MRC de Montcalm, les installations privées distribuent 100% de l'eau de surface, cette quantité ne représente que 0.2% de celle distribuée par des installations privées sur l'ensemble du territoire Lanaudière.



(a)

(b)

Figure 8-5 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau de surface distribuée par les réseaux municipaux et les installations privées a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.

8.2.2 Eau souterraine par catégories d'usage

La moitié de la population de la région de Lanaudière consomme de l'eau souterraine à partir du réseau d'aqueduc municipal ou d'un puits privé. L'eau souterraine distribuée par les réseaux municipaux ou par les puits individuels sert à différents usages qui se divisent en trois catégories : domestique, agricole et industriel-commercial-institutionnel (ICI). Une quatrième catégorie correspond aux pertes dans les réseaux d'aqueduc. Les volumes pour les différents usages sont estimés suivant le protocole du GRIES adapté dans le cadre du PACES-CHCN (annexe numérique **AN 10**). La **carte #26 : Utilisation de l'eau** présente les volumes d'eau souterraine attribués aux différents usages pour chacune des MRC du territoire de Lanaudière.

Le tableau 8-4 montre que la quantité totale d'eau souterraine utilisée s'estime à 28 499 748 m³/an.

- 56% de ce volume sert à l'alimentation en eau potable pour usage domestique;
- 27% sert pour l'approvisionnement en eau souterraine pour l'usage agricole;
- 10% sert à l'approvisionnement en eau potable pour la catégorie des ICI;
- 7% du volume total correspond à des fuites des réseaux de distribution.

Le tableau 8-4 montre aussi que :

- les MRC de L'Assomption, Matawinie et Montcalm utilisent le quart de l'eau souterraine utilisée sur territoire de Lanaudière pour des pourcentages de population de 37%, 15% et 16% respectivement;
- les MRC D'Autray et Joliette utilisent 13% de toute l'eau souterraine et leur population correspond à respectivement 13% et 20% de la population totale;

Tableau 8-4 : Volumes estimés d'eau souterraine utilisée annuellement pour chacune des quatre catégories d'usage.

MRC	Population ³		Usage domestique ⁴		Usage agricole ⁵		Usage ICI ⁶		Pertes en réseau ⁷		TOTAL	
	Nbre	%	m ³ /an	% ¹	m ³ /an	% ¹	m ³ /an	% ¹	m ³ /an	% ¹	m ³ /an	% [#]
D'Autray	44 168	13	1 992 991	56	1 128 925	32	79 452	2	372 236	10	3 573 605	13
Joliette	70 376	20	2 068 729	58	356 287	10	911 352	25	261 013	7	3 597 381	13
L'Assomption	128 532	37	1 999 561	31	4 346 526	67	93 898	1	53 776	1	6 493 761	23
Matawinie	51 242	15	4 580 659	63	486 704	7	1 320 940	18	855 682	12	7 243 985	25
Montcalm	57 723	16	5 267 224	69	1 277 844	17	398 649	5	647 300	9	7 591 017	27
TOTAL	352 041	100	1 992 991	56	7 596 286	27	2 804 291	10	2 190 007	7	28 499 748	100

¹Les % se lisent par MRC.

²Le % correspond à la consommation totale pour le territoire de Lanaudière.

³Population des municipalités du Québec, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.;

⁴Le calcul est basé sur une moyenne de 250 L d'eau par personne par jour.

⁵Données provenant du fichier des grands préleveurs (75 m³ d'eau par jour et plus) (MELCC, 2020) et calculées à partir du portrait de la production animale (MAPAQ, 2020);

⁶Données provenant du fichier des grands préleveurs (75 m³ d'eau par jour et plus) (MELCC, 2020). La différence entre le volume total acheminé dans le réseau d'aqueduc (avec les pertes) et la consommation domestique est présumée ICI;

⁷Les pertes sont estimées à 20% de la consommation des réseaux d'aqueduc municipaux.

Usage domestique

La majeure partie de l'eau souterraine sur le territoire de Lanaudière est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable résidentielle. À l'exception de la MRC de L'Assomption, la majeure partie de l'eau souterraine utilisée par les MRC sert effectivement à un usage domestique (tableau 8-4 et figure 8-6a), soit 56% pour la MRC D'Autray, 58% pour la MRC de Joliette, 63% pour la MRC de Matawinie et 69% pour la MRC Montcalm. La MRC de Matawinie affiche les volumes d'eau souterraine les plus élevés consommés pour l'usage domestique avec 1 320 940 m³/an et sa population correspond à 15% de la population totale de la région de Lanaudière. Ces volumes élevés s'expliquent par le fait que toutes les municipalités de la MRC de Matawinie approvisionnent leur réseau d'aqueduc à partir d'une source d'eau souterraine (tableau 8-1).

La MRC de L'Assomption affiche seulement un pourcentage de 31% pour l'usage domestique (tableau 8-4 et figure 8-6a). Ce faible pourcentage s'explique par des volumes importants d'eau souterraine utilisés pour l'usage agricole 4 346 526 m³/an. La MRC de l'Assomption affiche aussi des volumes plutôt faibles 1 999 561 m³/an pour l'usage domestique alors que la MRC représente 37% de la population totale de la région. Ces faibles volumes pour l'usage domestique s'expliquent par le fait qu'une seule municipalité sur le territoire de la MRC de L'Assomption alimente le réseau d'aqueduc à partir de l'eau souterraine (tableau 8-1).

Usage agricole

L'estimation des volumes d'eau souterraine pour l'usage agricole provient du fichier des grands préleveurs d'eau (>75 m³/jr et plus) et inclut aussi des volumes estimés de la consommation animale des fermes d'élevage. Ainsi, si des fermes de culture (champs, serres, jardins) ont recours à l'irrigation et qu'elles ne sont pas dans le répertoire des grands préleveurs, elles ne sont pas considérées dans cet usage, ce qui constitue une limite à la méthode.

Le tableau 8-4 montre que **27%** de l'eau souterraine totale prélevée sur le territoire de Lanaudière sert à un usage agricole. Cet usage représente le pourcentage le plus élevé de la consommation de l'eau souterraine sur le territoire de la MRC de L'Assomption avec un volume de 4 346 526 m³/an. La proportion d'eau souterraine utilisée dans les autres MRC pour l'usage agricole est de 32% pour la MRC D'Autray, 10% pour la MRC de Joliette, 7% pour la MRC de Matawinie et 17% pour la MRC de Montcalm (figure 8-6a).

Usage industriel-commercial-institutionnel (ICI)

En plus des services à la communauté, aux institutions (écoles, hôpitaux, garderies, etc.), les activités industrielles-commerciales-institutionnelles (ICI) correspondent à des activités industrielles et récréatives liées au développement des industries touristiques et forestières.

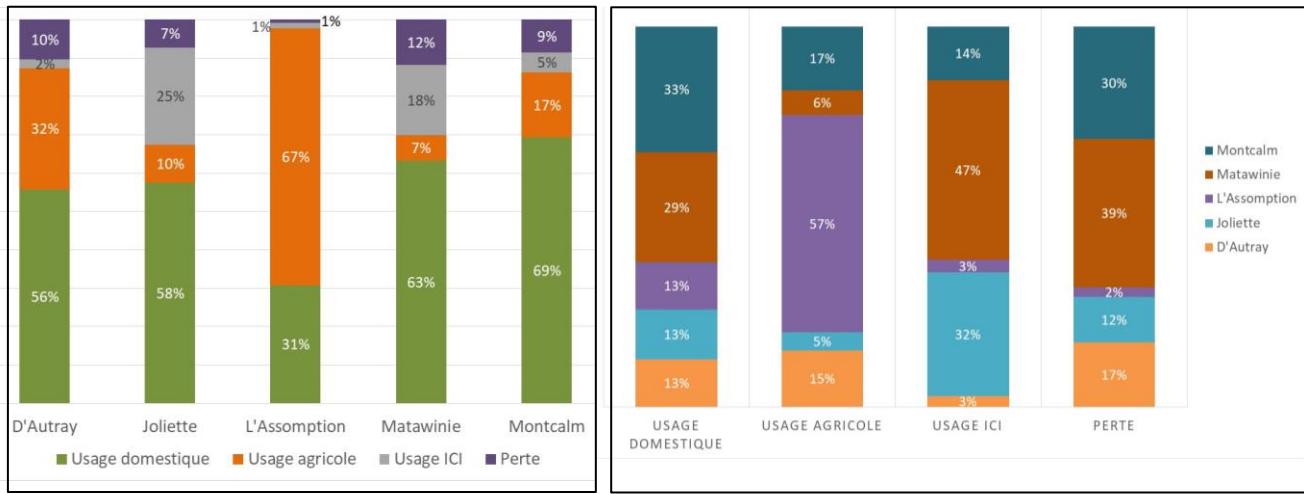
Seulement 10% de l'eau souterraine prélevée sert aux usages de type ICI (tableau 8-4). Les MRC de Joliette et Matawinie sont celles qui consomment les volumes les plus importants d'eau souterraine utilisée par les ICI, soit 911 352 m³/an et 1 320 940 m³/an respectivement.

Pertes en réseau

Pour pouvoir établir des volumes liés aux pertes en réseau, une valeur de 20% du volume total d'eau souterraine distribuée par les réseaux d'aqueduc municipaux a été fixée et utilisée. Sachant que la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT) vise la réduction des pertes d'eau en réseau à moins de 20% de l'eau distribuée, la moyenne des pertes en réseau des municipalités est certainement supérieure à 20%. Les quantités d'eau correspondant aux pertes sont donc ici probablement sous-estimées.

Sur le territoire de Lanaudière, les pertes représentent donc 7% du volume total d'eau souterraine prélevée (réseaux et hors réseaux), c'est-à-dire du volume prélevés par les puits municipaux, privés et institutionnels. Cette proportion de perte équivaut au volume total d'eau souterraine attribué aux usages domestiques soit 2 190 007 m³/an.

Les pertes en réseau estimées sont les plus élevées dans les MRC de Matawinie et Montcalm avec des volumes 855 682 m³/an et 647 300 m³/an. Ces forts volumes s'expliquent par les réseaux d'aqueduc des municipalités de ces deux MRC qui sont strictement approvisionnés par une source d'eau souterraine.



(a)

(b)

Figure 8-6 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau souterraine prélevée selon les types d'usage a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.

La figure 8-6b illustre que plus de la moitié de la consommation de l'eau souterraine régionale pour l'usage agricole est utilisée sur le territoire de la MRC de L'Assomption, que 49% de la consommation d'eau souterraine ICI est utilisée par la MRC de Matawinie et que 33% de la consommation d'eau souterraine pour l'usage domestique provient de la MRC de Montcalm suivi de près par la MRC de Matawinie avec 29%.

La figure 8-7 présente la consommation de l'eau souterraine par type d'usage et MRC avec les volumes prélevés.

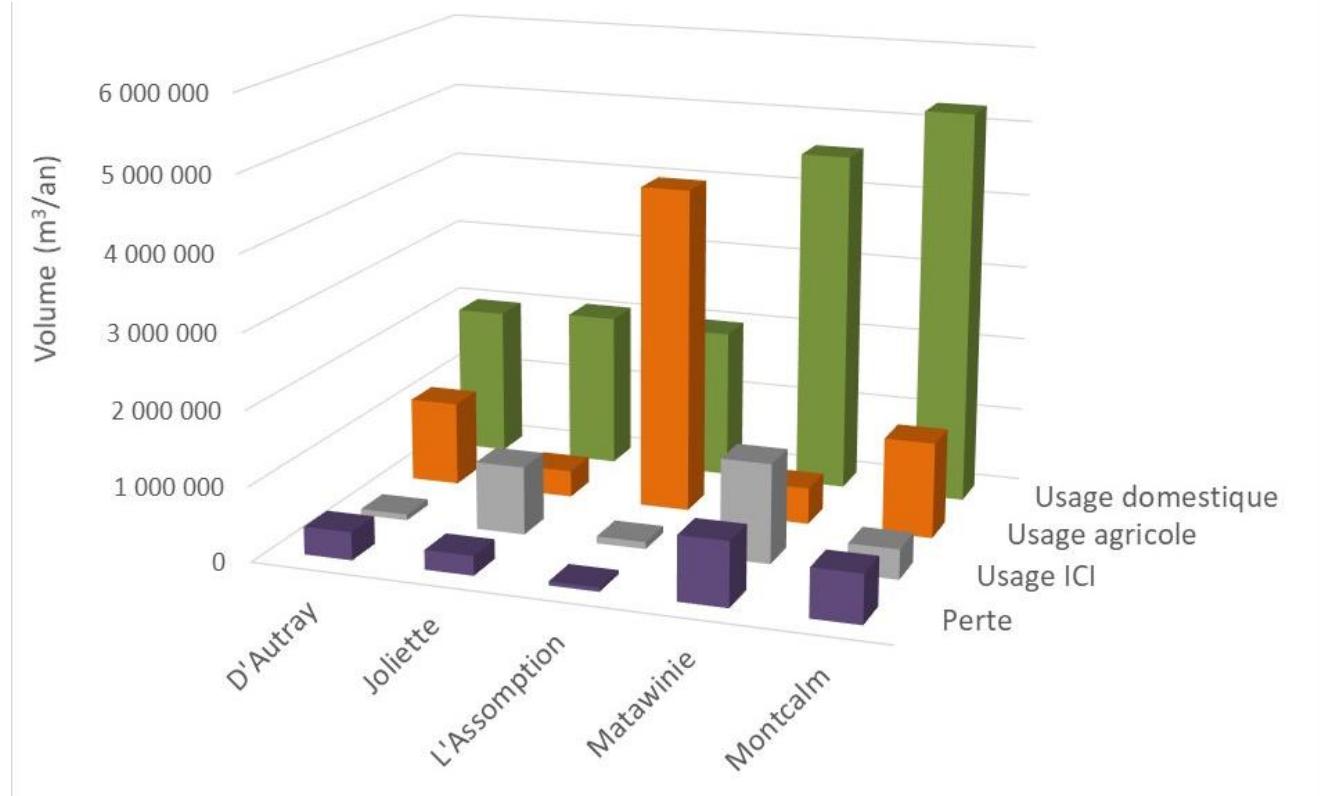


Figure 8-7 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine prélevée selon les catégories d'usage pour chacune des MRC.

8.2.3 Eau souterraine et eau de surface

Les volumes d'eau souterraine utilisés annuellement sont également estimés selon le protocole du GRIES et adaptés dans le cadre du PACES-CHCN (annexe numérique **AN 10**). Le tableau 8-5 présente les volumes estimés et les proportions d'eau de surface et souterraine utilisée annuellement par chacune des cinq MRC (voir la **carte #26 : Utilisation de l'eau**). Plus de **75 000 000 m³** d'eau sont consommés annuellement sur l'ensemble du territoire de Lanaudière. Les MRC utilisant le plus d'eau sont les deux MRC les plus populeuses de la région soit la MRC de Joliette et de L'Assomption avec des volumes sensiblement égaux et totalisant près de 50 000 000 m³/an.

Le 2/3 de l'eau utilisée pour l'ensemble du territoire provient d'eau de surface et l'autre 1/3 provient d'eau souterraine. Sensiblement les mêmes proportions se retrouvent au sein des MRC D'Autray et de L'Assomption. Pour la MRC de Joliette la consommation en eau de surface est nettement plus élevée que celle en eau souterraine avec un pourcentage de 86%. L'opposé est noté pour la consommation des MRC de Matawinie et Montcalm puisque ces MRC prélèvent presque uniquement de l'eau souterraine avec des proportions de 89% et 99.5% respectivement.

Tableau 8-5 : Volumes estimés d'eau de surface et souterraine utilisés annuellement pour chaque MRC.

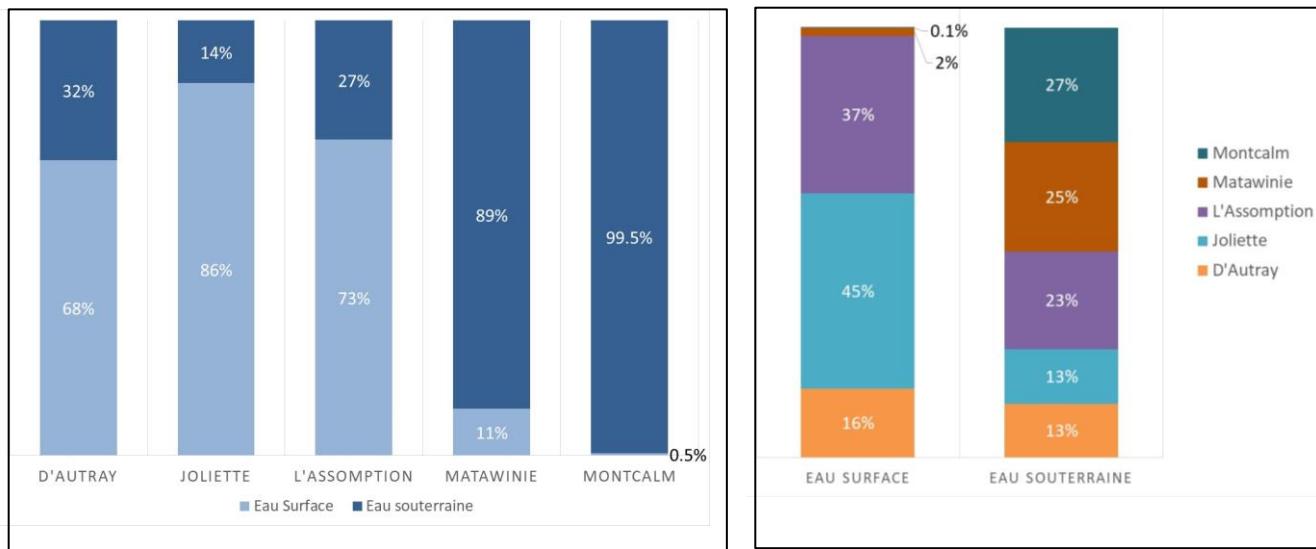
MRC	Eau de surface utilisée annuellement		Eau souterraine utilisée annuellement		Consommation totale eau de surface et souterraine	
	m³/an	%¹	m³/an	%¹	m³/an	%²
D'Autray	7 555 844	68	3 573 605	32	11 129 449	15
Joliette	21 319 611	86	3 597 381	14	24 916 992	33
L'Assomption	17 181 683	73	6 493 761	27	23 675 444	31
Matawinie	865 809	11	7 243 985	89	8 109 794	11
Montcalm	38 008	0.5	7 591 017	99.5	7 629 025	10
TOTAL	46 960 955	62	28 499 748	38	75 460 704	100

¹ Les % se lisent par MRC.

² Le % correspond à la consommation totale pour le territoire de Lanaudière.

La figure 8-8 présente graphiquement les proportions indiquées au tableau 8-5. La figure 8-8a montre que près de 100% de l'eau prélevée sur le territoire de la MRC de Montcalm provient d'eau souterraine et que sur le territoire de la MRC de Matawinie la consommation est à 89% de l'eau souterraine et à 11% de l'eau de surface. L'eau de surface représente une proportion plus élevée que l'eau souterraine pour les trois autres MRC, soit 68% pour la MRC D'Autray, 86% pour la MRC de Joliette et 73% pour la MRC de L'Assomption.

La figure 8-8b montre que, **régionalement**, le territoire qui prélève la plus grande proportion de l'eau de surface est la MRC de Joliette avec un pourcentage de 45%, et que les MRC prélevant le plus d'eau souterraine sont celles de Montcalm, Matawinie et L'Assomption avec chacune des proportions autour de 25% du total de l'eau souterraine utilisée sur le territoire (figure 8-8b) .



(a)

(b)

Figure 8-8 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau de surface et d'eau souterraine prélevées a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.

Le volume total d'eau utilisée sur le territoire de Lanaudière est de 75 460 704 m³/an. L'eau de surface est distribuée par les réseaux municipaux ou par des installations privées. L'utilisation de l'eau souterraine se divise en quatre usages, soit domestique, agricole, industriel-commercial-institutionnel (ICI) et pertes en réseau.

Sur le territoire de la **MRC D'Autray**, un total de 11 129 449 m³/an d'eau (surface et souterraine) est utilisé (tableau 8-5). Les usages de l'eau de surface se présentent en deux catégories, l'eau de surface distribuée par les réseaux municipaux, soit 63%, et celle distribuée par des installations privées, soit 37% (figure 8-8a). L'eau de surface utilisée correspond à 68% du total de l'eau utilisée (figure 8-8a). Tandis que l'eau souterraine utilisée correspond surtout à de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable pour un usage domestique. L'eau souterraine consommée pour les usages agricoles est de 32% alors que les usages ICI et pertes sont respectivement 2% et 10% (figure 8-6a).

Sur le territoire de la **MRC de Joliette**, un total de 24 916 992 m³/an d'eau (surface et souterraine) est utilisé (tableau 8-5) ce qui représente la plus grande consommation d'eau sur le territoire de Lanaudière. L'eau de surface utilisée représente plus de 85% de la totalité de l'eau utilisée (figure 8-8a) et ces eaux de surface proviennent autant des réseaux municipaux que des installations privées (figure 8-5). L'eau souterraine est surtout destinée aux usages domestiques (figure 8-6a). Les usages agricoles, ICI et pertes correspondent à 10%, 25% et 7% de la consommation totale d'eau souterraine pour cette MRC.

Sur le territoire de la **MRC de L'Assomption**, un total de 23 675 444 m³/an d'eau (surface et souterraine) est utilisé (tableau 8-5) ce qui représente la deuxième plus grande consommation sur le territoire. L'eau de surface utilisée correspond à 73% de la totalité de l'eau utilisée, ces eaux de surface proviennent à 95% des réseaux municipaux (figure 8-5). L'eau souterraine utilisée sert surtout à l'usage agricole qui représente 67% de la

quantité totale d'eau utilisée. L'usage domestique de l'eau souterraine est de 31% alors que l'usage ICI et les pertes en réseau sont inférieurs à 1% (figure 8-6a).

Sur le territoire de la **MRC de Matawinie**, un total de 8 109 794 m³/an d'eau (surface et souterraine) est utilisé (tableau 8-5). Sur le territoire, 89% de l'eau utilisée correspond à de l'eau souterraine (figure 8-8a). Cette eau utilisée correspond surtout à de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable pour un usage domestique (figure 8-6a). L'eau souterraine utilisée pour les usages ICI est de 18% alors que les usages agricoles sont de 7% et les pertes de 12%.

Sur le territoire de la **MRC de Montcalm**, un total de 7 629 025 m³/an d'eau (surface et souterraine) est utilisé (tableau 8-5) ce qui représente la plus faible consommation d'eau sur le territoire. L'eau utilisée est strictement d'origine souterraine (figure 8-8a). Elle est surtout destinée aux usages domestiques (figure 8-6a). Les usages agricoles, ICI et pertes correspondent à 17%, 5% et 9% de la consommation totale d'eau souterraine de cette MRC.

La figure 8-9 présente les volumes annuels utilisés d'eau souterraine et d'eau de surface par MRC.

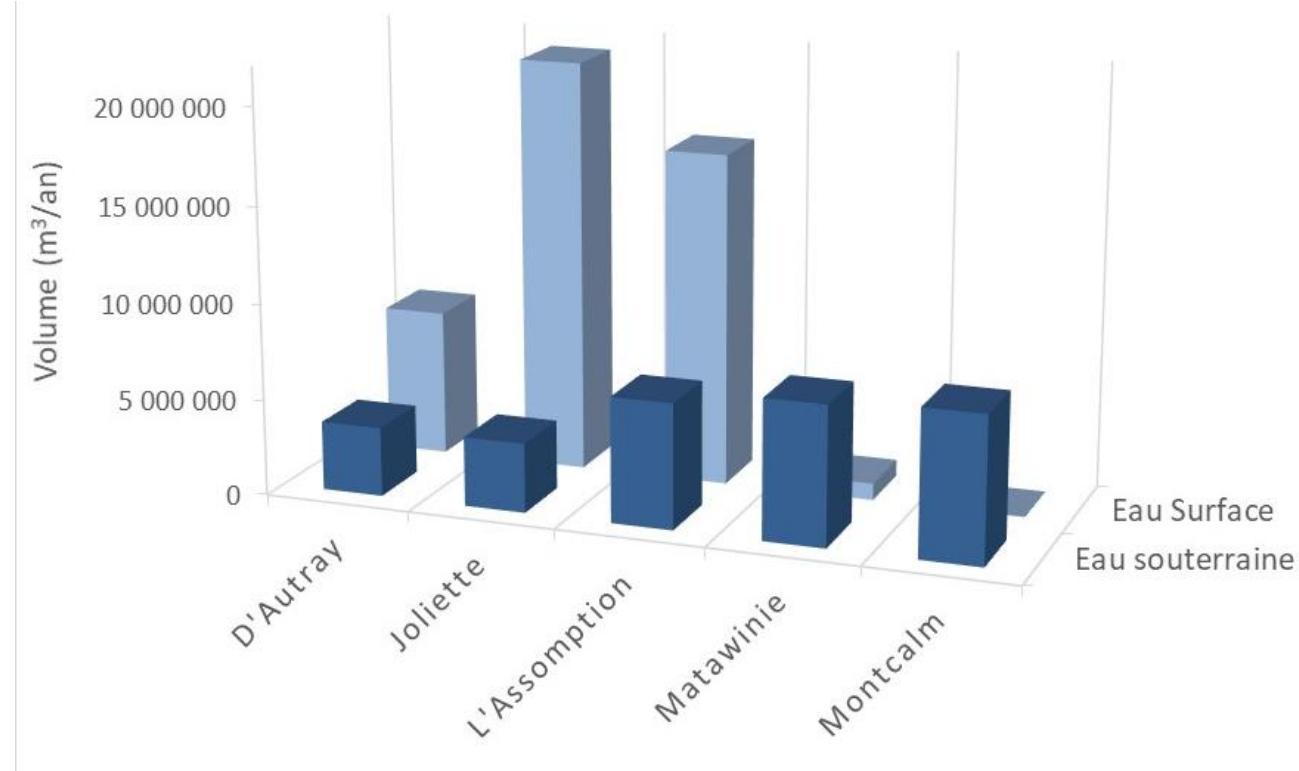


Figure 8-9 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine et eau de surface utilisées par chacune des MRC.

8.3 Qualité de la ressource

Cette section présente la qualité de la ressource en eau souterraine du territoire de Lanaudière. Les résultats des études portant sur la qualité de l'eau souterraine réalisées avant le PACES sont présentés à la section 8.3.1. Les résultats de la campagne d'échantillonnage réalisée par l'équipe du CERM dans le cadre du PACES sont présentés à la section 8.3.2

8.3.1 Études géochimiques précédentes

Différents facteurs naturels, tels que le temps de résidence de l'eau, la présence de milieux humides et des connexions hydrauliques avec les lacs et rivières peuvent impacter la qualité de l'eau souterraine. Aussi, la présence d'unités de roches sédimentaires paléozoïques telles que les shales d'Utica contenant des hydrocarbures (pétrole et/ou de gaz naturel) peuvent notamment affecter la qualité de l'eau souterraine.

La cartographie hydrogéologique des régions voisines ou à proximité du territoire de Lanaudière (Sud-ouest de la Mauricie, Bécancour, Vaudreuil-Soulanges) laisse présumer la présence d'eaux souterraines salées. Plusieurs études font état de la qualité variable de l'eau souterraine à proximité de la zone d'étude (Beaudry *et al.*, 2018 ; Lacasse, 2013 ; Larocque *et al.*, 2013 ; Leblanc *et al.*, 2013 ; Saby *et al.*, 2016).

Les milieux humides sont des zones où il y a une importante dégradation de la matière organique ce qui induit une diminution des concentrations en oxygène créant ainsi un milieu réducteur. Ce type de milieu est favorable à la solubilisation du fer et du manganèse dans l'eau.

Enfin, une étude du MELCC a montré une forte dégradation de la qualité de l'eau de la rivière L'Assomption et de ses tributaires due aux activités anthropiques (MELCC, 1997). La figure 8-10 montre que la qualité de l'eau est bonne ou satisfaisante dans le secteur supérieur du bassin. Les eaux des portions nord des rivières L'Assomption et Ouareau affichent la meilleure qualité de tout le bassin, favorisant dès lors la pratique d'activités récréatives diverses. En revanche, l'eau devient de mauvaise qualité dans le secteur inférieur du bassin, ceci à cause de nombreuses activités socioéconomiques. Selon l'étude de 1997, les activités agricoles ainsi que les rejets urbains et industriels non traités de Joliette induisent la dégradation de la qualité de l'eau. Il est à noter que la carte de la figure 8-10 ne rend pas compte des améliorations ou détériorations locales ayant pu se produire entre deux stations.

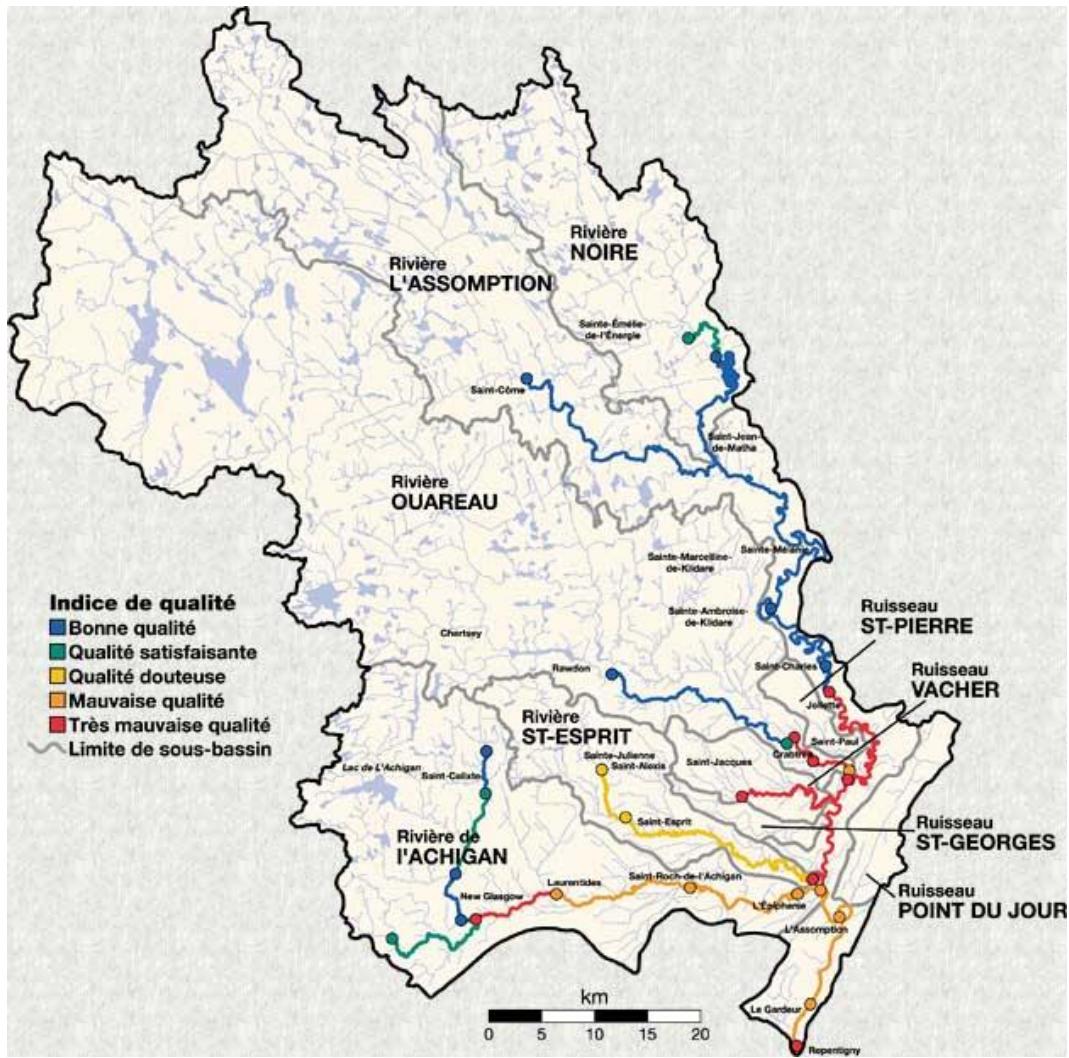


Figure 8-10 : Portrait de la qualité de l'eau réalisé à partir d'un indice calculé pour des stations d'échantillonnage par la Direction des écosystèmes aquatiques du ministère de l'Environnement et de la Faune ((MELCC, 1997).

8.3.2 Campagne hydrogéochimique réalisée dans le cadre du PACES

Pour assurer la qualité de l'eau potable, Santé Canada émet des recommandations sur les concentrations de différents contaminants pouvant se retrouver dans l'eau. Les **concentrations maximales acceptables (CMA)** correspondent aux recommandations pour les paramètres physico-chimiques ou microbiologiques ayant un effet connu sur la santé humaine, alors que les **objectifs esthétiques (OE)** sont les recommandations émises pour l'aspect esthétique de l'eau telles que sa couleur, son goût ou son odeur. Au Québec, la qualité de l'eau potable est régie par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP, Q-2, r.40)* de *Loi sur la qualité de l'environnement* qui, suite aux recommandations de Santé Canada, prescrit et norme des **concentrations maximales (CM)** pour les paramètres physico-chimiques et microbiologiques pouvant avoir un effet sur la santé des Québécois. Certains paramètres possèdent une CMA, mais ne sont pas régis par une CM dans le RQEP (ex. manganèse, strontium). Les CM prescrites par le RQEP peuvent aussi différer des CMA émises par Santé Canada, mais pour plusieurs paramètres elles sont identiques.

Les CMA, OE et CM pour les éléments physico-chimiques analysés dans le cadre du PACES sont présentés dans le tableau 8-7. Certains paramètres physico-chimiques ont été mesurés *in situ*, d'autres ont été analysés en

laboratoire. Les paramètres microbiologiques n'ont pas été analysés parce que leur concentration peut varier dans des intervalles de temps très courts, voire quotidien et qu'ils ne reflètent pas la « qualité naturelle » de l'aquifère, mais plutôt des contaminations anthropiques locales. Les pesticides n'ont pas été analysés dans le cadre du PACES malgré que leur présence dans les eaux souterraines puisse être problématique.

L'eau distribuée par les réseaux municipaux est contrôlée de façon régulière pour plusieurs paramètres, suivant la fréquence prescrite par le RQEP. Les échantillons d'eau souterraine prélevée dans le cadre du PACES proviennent de puits individuels (privés) qui ne sont pas soumis par règlement à un suivi analytique régulier. Dans la majorité des cas, les citoyens s'alimentant par un puits privé ne connaissaient pas la qualité et même la potabilité de l'eau. De plus, le protocole d'échantillonnage d'eau souterraine du GRIES (annexe numérique AN 5), requiert le prélèvement d'eau brute, c'est-à-dire que l'eau doit être prélevée en amont du système de traitement lorsque présent afin de dresser le portrait hydrogéochimique des aquifères.

La **banque de données géochimique** réalisée dans le cadre du PACES comprend les analyses de deux cent vingt-trois (**223**) échantillons qui ont été prélevés sur le territoire entre 2019 et 2021, dont **cinq (5) réanalyses**. Un total de **209 puits** et **9 sources** ont été échantillonnés pour un total de deux cent dix-huit (**218**) stations d'échantillonnage différentes. La figure 3-9 présente la localisation des stations échantillonées. Un contrôle de qualité sur les analyses chimiques a permis de sélectionner deux cent un (**201**) échantillons respectant l'électroneutralité des éléments chimiques.

Les résultats des analyses hydrogéochimiques indiquent que certains paramètres ont des concentrations :

- inférieures à la limite de détection de l'appareil analytique;
- comprises entre la limite de détection de l'appareil analytique et les recommandations de Santé Canada (CMA et/ou OE) ou les normes québécoises (CM);
- supérieures aux recommandations de Santé Canada (CMA et/ou OE) ou aux normes québécoises (CM).

Seuls les résultats correspondant au troisième cas sont présentés dans les prochaines sections. Il est à noter que les propriétaires étaient avisés dès que l'eau de leur puits dépassait les normes de potabilité. Ils ont pu ainsi, au besoin, se référer aux agences de la santé de leur région. Aussi, plusieurs propriétaires de puits traitent cette eau, ce qui permet de réduire les concentrations sous les CM ou les OE ou encore ne la consomment pas.

Tableau 8-6 : Résumé des concentrations maximales acceptables (CMA) et des objectifs esthétiques (OE) recommandés par Santé Canada ainsi que les concentrations maximales (CM) prescrites par le RQEP¹.

Paramètre (publié, réaffirmé)	Recommandations canadiennes		Norme québécoise CM (mg/L)
	CMA (mg/L)	OE (mg/L)	
Aluminium (1998)		VOR* : < 0,1 (traitement conventionnel) < 0,2 (autres types de traitement)	
Antimoine (1997)	0.006		0.006
Argent (1986, 2005)	Aucune		
Arsenic (2006)	0,01 ALARA		0.01
Baryum (1990)	1		1
Bore (1990)	5		5
Cadmium (1986, 2005)	0.005		0.005
Calcium (1987, 2005)	Aucune		
Chlore (2009)	Aucune		
Chlorure (1979, 2005)		OE : ≤ 250	
Chrome (1986)	0.05		0.05
Cuivre (2019)	2	OE : 1	1
Fer (1978, 2005)		OE : ≤ 0,3	
Fluorure (2010)	1.5		1.5

Paramètre (publié, réaffirmé)	Recommandations canadiennes		Norme québécoise CM (mg/L)
	CMA (mg/L)	OE (mg/L)	
Magnésium (1978)	Aucune		
Manganèse (2019)	0.12	OE : ≤ 0,02	
Nitrate (2013)	45 sous forme de nitrate; 10 sous forme d'azote		Nitrates + nitrite = 10
Nitrite (2013)	3 sous forme de nitrite; 1 sous forme d'azote		Nitrates + nitrite = 10
Plomb (2019, 2021)	0,005 ALARA		0.005
Sélénium (2014)	0.05		0.01
Sodium (1979)		OE: ≤ 200	
Strontium (2019)	7		
Sulfates (1994)		OE: ≤ 500	
Sulfure (1992)		OE ≤ 0.05	
Uranium (1999)	0.02		0.02
Zinc (1979, 2005)		OE : ≤ 5,0	

¹ Les données présentées dans ce tableau proviennent du www.canada.ca/fr/sante-canada/ et du www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable et sont valides en date du 31 mars 2021.

* Valeur opérationnelle recommandée afin d'optimiser le traitement de l'eau et l'exploitation des réseaux de distribution.

Concentrations maximales (CM) selon le RQEP

Parmi les deux cent un (201) échantillons recueillis pendant les campagnes et respectant l'électroneutralité, trente-six (36) dépassemens des concentrations maximales ont été identifiés. La **carte #24 : Qualité de l'eau souterraine en fonction des concentrations** présente la localisation des points des dépassemens par rapport aux CM prescrites par le RQEP. Il est à noter que, pour le manganèse et le strontium, la concentration maximale acceptable (CMA) recommandée par Santé Canada a été utilisée pour identifier les dépassemens. En effet, il n'existe pas pour le moment dans la réglementation québécoise (RQEP) de normes (CM) pour ces deux paramètres, mais puisque le gouvernement québécois incite tout de même à la prudence lorsque les teneurs dépassent la CMA recommandée par Santé Canada, ils figurent sur la carte #24.

Les éléments chimiques pour lesquels des dépassemens ont été identifiés sont : les fluorures (12 dépassemens), le plomb (5 dépassemens), les nitrites-nitrates (1 dépassemens), le manganèse (17 dépassemens) et le strontium (1 dépassemens). Le tableau 8-7 résume les dépassemens des concentrations maximales qui ont été identifiés lors des campagnes hydrogéochimiques réalisées par l'équipe du CERM dans le cadre du PACES. De plus amples détails sur les dépassemens sont donnés dans la thèse de maîtrise de Tremblay (2022).

Tableau 8-7 : Paramètres régis par des concentrations maximales (CM).

Paramètre	Nombre d'analyse ¹	Nombre de détection	Limite de détection	Minimum ²	25%	Médiane	75%	Maximum	CM	Nombre de dépassemens
F (mg/l)	201	200	0.01	0.005	0.045	0.1	0.43	3.7	1.5	12
Mn (mg/l)*	201	177	0.0004	0.0002	0.0015	0.0069	0.03	1.3	0.12*	17
NO ₂ -NO ₃ (mg N/l)	201	113	0.02 - 1.0	0.01	0.01	0.06	0.56	12	10	1
Pb (mg/l)	201	119	0.0001	0.00005	0.00005	0.0002	0.0005	0.016	0.005	5
Sr (mg/l)*	201	199	0.002	0.001	0.084	0.16	0.44	9.9	7*	1

¹ Au total, 218 puits ou sources ont été échantillonnes, mais seuls 201 échantillons respectant l'électroneutralité (EN) ont été évalués.

² Une concentration égale à la moitié de la limite de détection a été considérée pour les éléments non détectés.

*Paramètre possédant une concentration maximale acceptable (CMA) recommandée par Santé Canada, mais non régi actuellement par une CM dans le RQEP au Québec.

Fluorures : au total, douze (12) échantillons ont montré un dépassement de la CM, dont quatre (4) échantillons prélevés dans les dépôts granulaires, six (6) échantillons dans le socle rocheux fracturé et deux (2) échantillons dans des puits dont on ne connaît pas le type d'aquifère exploité. Les dépassements se rencontrent exclusivement dans le piedmont (cinq (5) échantillons) et les Basses-Terres (sept (7) échantillons). Naturellement présents dans les roches et les sols, les fluorures, à faible concentration, peuvent favoriser la santé dentaire. En revanche, des concentrations trop importantes et prises régulièrement peuvent engendrer de la fluorose dentaire. La CM du fluorure est fixée à 1,5 mg/L.. Les fortes teneurs en fluorures ont été observées dans les aquifères rocheux profonds (Tremblay, 2022) laissant suspecter que la présence des fluorures dans l'eau souterraine est d'origine naturelle sur le territoire.

Plomb : cinq (5) échantillons ont montré un dépassement de la CM, dont quatre (4) prélevés dans les dépôts granulaires et un (1) dans le socle précambrien fracturé. Le dépassement en plomb observé dans le socle rocheux a été identifié dans les Hautes-Terres. Les quatre (4) dépassements de concentration en plomb des puits dans le granulaire ont été identifiés dans le piedmont et les Basses-Terres. La source de plomb dans l'eau potable la plus courante serait du relargage de plomb à partir de matériel de plomberie (tuyaux, soudures, raccords en laiton et branchements en plomb (CEP, 2020). Le plomb pourrait engendrer une baisse de l'intelligence chez les enfants et une pression artérielle élevée ainsi qu'un dysfonctionnement rénal chez l'adulte (CEP, 2020). La CM du plomb est fixée à 0.005 mg/L (bien qu'il n'y ait pas de niveau d'exposition sûr au plomb selon le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable).

Nitrates-Nitrites : un (1) seul échantillon a montré un dépassement de la CM en nitrates sur le territoire. Celui-ci montre une concentration de 12 mg/L (CM = 10 mg/L) et se situe dans un aquifère granulaire au niveau des Basses-Terres. L'aquifère exploité est fort probablement constitué de sables indifférenciés de surface en condition de nappe libre. L'hypothèse d'une telle concentration serait des apports anthropiques de fertilisants agricoles organiques et/ou chimiques, des rejets sanitaires, la décomposition de végétaux ou la réalisation de coupes forestières à blanc. Les nitrates peuvent engendrer une méthémoglobinémie (syndrome des bébés bleus) et engendrer des effets sur le fonctionnement de la glande thyroïde des nourrissons alimentés au biberon (CEP, 2020).

Manganèse : Tel que mentionné précédemment, il n'y a pas pour le moment de normes québécoises (CM) pour le manganèse, mais le gouvernement québécois incite tout de même à la prudence lorsque la concentration dépasse la CMA recommandée par Santé Canada qui est fixée à 0,12 mg/L. La campagne d'échantillonnage a montré que les concentrations en manganèse qui dépassent la CMA se situent à la fois dans les aquifères granulaires et les aquifères de socle rocheux fracturé. Tremblay (2022) a notamment montré que les dépassements en manganèse se situent généralement entre 40 et 700 m d'un marécage, marais ou milieu humide. Ces milieux sont généralement des milieux réducteurs et sont propices à la dissolution du manganèse. Au total, dix-sept (17) échantillons ont montré un dépassement de la CMA, dont douze (12) échantillons prélevés dans les dépôts granulaires, trois (3) échantillons dans le socle rocheux fracturé et deux (2) échantillons dans des puits dont on ne connaît pas le type d'aquifère exploité. Les dépassements en manganèse ont été observés sur l'ensemble du territoire : cinq (5) dépassements dans les Hautes-Terres, quatre (4) dans le piedmont et huit (8) dans les Basses-Terres. Le manganèse provient généralement de la dissolution des minéraux naturels présents dans les roches et les sols. Il peut également avoir une origine anthropique et provenir de rejets industriels, d'activités minières et le lessivage des sites d'enfouissement (CEP, 2020). Selon le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, le manganèse pris à trop fortes doses pourrait avoir des

effets sur le développement et le comportement neurologique (notamment des nourrissons) et engendrer des déficits de mémoire, d'attention et de motricité (CEP, 2020).

Strontium : un (1) seul dépassement de la CMA recommandée par Santé Canada pour le strontium a été observé sur le territoire. L'échantillon provient d'un puits situé dans les Basses-Terres et dont on ne connaît pas le type d'aquifère exploité. La présence de strontium dans l'eau provient généralement de l'érosion des roches, mais peut également être d'origine anthropique (ex. industries minières). De hautes teneurs en strontium peuvent avoir des effets nocifs sur les os, notamment chez les nourrissons (CEP, 2020). La CMA du strontium est fixée à 7 mg/L et il n'existe pas pour le moment de normes québécoises (CM).

Objectifs esthétiques (OE)

Parmi les paramètres mesurés *in situ* et analysés en laboratoire, certains paramètres sont soumis à des **objectifs esthétiques (OE)** selon Santé Canada. Les OE ne sont pas reconnus pour avoir des incidences sur la santé, mais ils peuvent être incommodants pour ce qui est du goût, de la couleur et de l'odeur (i.e. paramètres organoleptiques). Ils peuvent également engendrer de la corrosion ou de l'entartage dans les puits ou dans les réseaux d'alimentation en eau potable, et peuvent donc causer une détérioration de la plomberie et des appareils électroménagers. Le tableau 8-8 présente les paramètres analysés dans le cadre du PACES et présentant des dépassements en OE dans le cadre de cette campagne.

Tableau 8-8 : Paramètres pour lesquels des objectifs esthétiques (OE) sont recommandés par Santé Canada.

Paramètre	Nombre d'analyse ¹	Nombre de détection	Limite de détection	Minimum ²	25%	Médiane	75%	Maximum	OE	Nombre de dépassement
Al (mg/l)	201	34	0.01	0.01	0.005	0.005	0.005	1.6	0.1	1
Cl (mg/l)	201	201	0.05	0.1	2.9	19	58	2200	250	8
Dureté estimée	201	201	-	0.6	37	66.5	131.8	556.8	200	21
Fe (mg/l)	201	51	0.06	0.03	0.03	0.03	0.1	9	0.3	19
MDT estimée	201	201	-	26.5	131.9	247.3	424.5	4497.4	500	41
Mn (mg/l)	201	177	0.0004	0.0002	0.0015	0.0069	0.03	1.3	0.02	59
Na (mg/l)	201	201	0.1	1	4.9	18	73	1400	200	11
pH	180	180	-	5.1	6.3	7.1	7.9	9.31	6.5 - 8.5	74
Sulfures (mg S/l)	195 ³	26	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	9.6	0.05	17
Temp. (°C)	181	181	-	6.1	8.2	9.2	10.2	15.6	15	2

¹ Au total, 218 puits ou sources ont été échantillonnés, mais seuls 201 échantillons respectant l'électroneutralité (EN) ont été évalués.

² Une concentration égale à la moitié de la limite de détection a été considérée pour les éléments non détectés.

³ L'analyse des sulfures n'était pas réalisée systématiquement sur tous les échantillons.

Parmi les deux cent un (201) échantillons sélectionnés sur le territoire, deux cent cinquante-trois (253) dépassements des OE ont été identifiés par les campagnes hydrogéochimiques. La **carte #25 : Qualité de l'eau souterraine en fonction des objectifs esthétiques** présente la localisation des dépassements des échantillons par rapport aux OE. Lors des campagnes hydrogéochimiques réalisées pour le PACES, des dépassements ont été observés pour :

- l'aluminium (1 dépassement);
- les chlorures (8 dépassements);
- la dureté estimée (21 dépassements);
- le fer (19 dépassements);
- la matière dissoute totale (MDT) estimée (41 dépassements);

- le manganèse (59 dépassements);
- le sodium (11 dépassements);
- le pH (74 dépassements);
- les sulfures (17 dépassements) et;
- la température (2 dépassements).

Comme le montre la **carte #25** les échantillons qui montrent le plus grand nombre de dépassements des OE se situent dans les Basses-Terres. Un échantillon dans les Basses-Terres a notamment montré des dépassements de 7 paramètres tels que l'aluminium, le fer, chlorure, manganèse, sodium, dureté et la MDT. Les dépassements des OE des sulfures se situent principalement sur le territoire de la MRC de Joliette. De plus amples détails sur les dépassements en OE sont donnés dans la thèse de maîtrise de Tremblay (2022).

9 CONTRIBUTION À LA RECHERCHE

Le portrait des connaissances sur les eaux souterraines d'un territoire constitue une opportunité à saisir par les universités de créer de nouvelles connaissances par le biais de projets de recherche. Les connaissances acquises dans le cadre de ces projets de recherche permettent de donner un nouvel éclairage régional qui sort du cadre strict des connaissances présentées sous la forme de livrables cartographiques dans le cadre du PACES. Les résultats et les interprétations obtenus des projets de recherche sont diffusés sous la forme d'article scientifique, de mémoire ou de thèse auprès de la communauté scientifique, et accessibles à la population en général via les bibliothèques virtuelles des universités impliquées. Les retombées des projets de recherche sont en partie régionales, mais dépassent généralement ce cadre en contribuant à l'avancée des connaissances hydrogéologiques de manière plus globale (nationale et/ou internationale). Les projets de recherche et les objectifs du PACES sont liés par l'acquisition de nouvelles connaissances. D'une part, ces nouvelles connaissances viennent en appui à l'élaboration des livrables cartographiques requis dans le cadre des PACES, et d'autre part, ils permettent l'atteinte d'objectifs spécifiques à caractère scientifique.

Dans le cadre du PACES-LAMENCN, 4 projets de recherche (2 maîtrises – M.Sc. et 2 doctorats – Ph.D.) ont été réalisés, ou sont en cours de réalisation au moment d'écrire ce rapport. Toutes les données acquises sur le territoire de Lanaudière pour répondre aux objectifs de ces projets de recherche se retrouvent dans la base de données géospatiales PACES (section 4.3) et les données brutes sont archivées dans le dossier *3_References* (section 4.3.3).

La suite du texte présente sommairement chacun des projets en termes de problématique, d'objectif, de méthode et de retombées. Notons qu'un autre projet de M.Sc. est aussi en cours dans le cadre du Projet pilote-Moyenne-Côte-Nord (MCN). Pour ce dernier, les principaux résultats sont présentés dans un rapport spécifique au Projet pilote-MCN.

9.1 Mécanismes de recharge et écoulement des eaux souterraines dans les aquifères cristallins (Ph.D.; M. Abi Attoumane)

Problématique

Généralement, les aquifères dans le roc cristallin sont moins productifs, en ce qui concerne les débits d'exploitation des forages, et sont principalement utilisés pour l'approvisionnement en eau dans les zones rurales avec des populations dispersées (Fornés *et al.*, 2005). Au Québec, ces réservoirs sont fréquemment exploités pour alimenter une résidence privée unifamiliale et dans de rares cas une municipalité de quelques centaines d'habitants. Néanmoins, il arrive que les aquifères de roc cristallin soient très productifs et puissent fournir des débits pouvant atteindre $150 \text{ m}^3/\text{h}$ (Roques *et al.*, 2016). Il existe très peu d'études hydrogéologiques portant sur les aquifères de roc cristallin. Toutefois, la connaissance de la dynamique des écoulements et des mécanismes de recharge des nappes des milieux de socle cristallin permettrait de mieux comprendre le potentiel sous-estimé de ces réservoirs, et surtout, d'évaluer la capacité de renouvellement de la ressource en eau de ces milieux. Pour Wright and Novakowski (2019), il ne fait aucun doute que de nouvelles études à grande échelle (c.-à-d. régionale) sont indispensables pour mieux comprendre la dynamique des écoulements. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet de thèse qui vise à déterminer les mécanismes de recharge et la dynamique des écoulements d'eau dans les aquifères cristallins du Bouclier canadien. De manière plus spécifique, ce projet de thèse porte sur l'étude d'un réservoir cristallin situé dans la partie nord-ouest du territoire PACES-LAMEMCN

section Lanaudière, aux environs des municipalités de Saint-Cuthbert et de Saint-Barthélemy (figure 9-1). La fin du projet est prévue en décembre 2022.

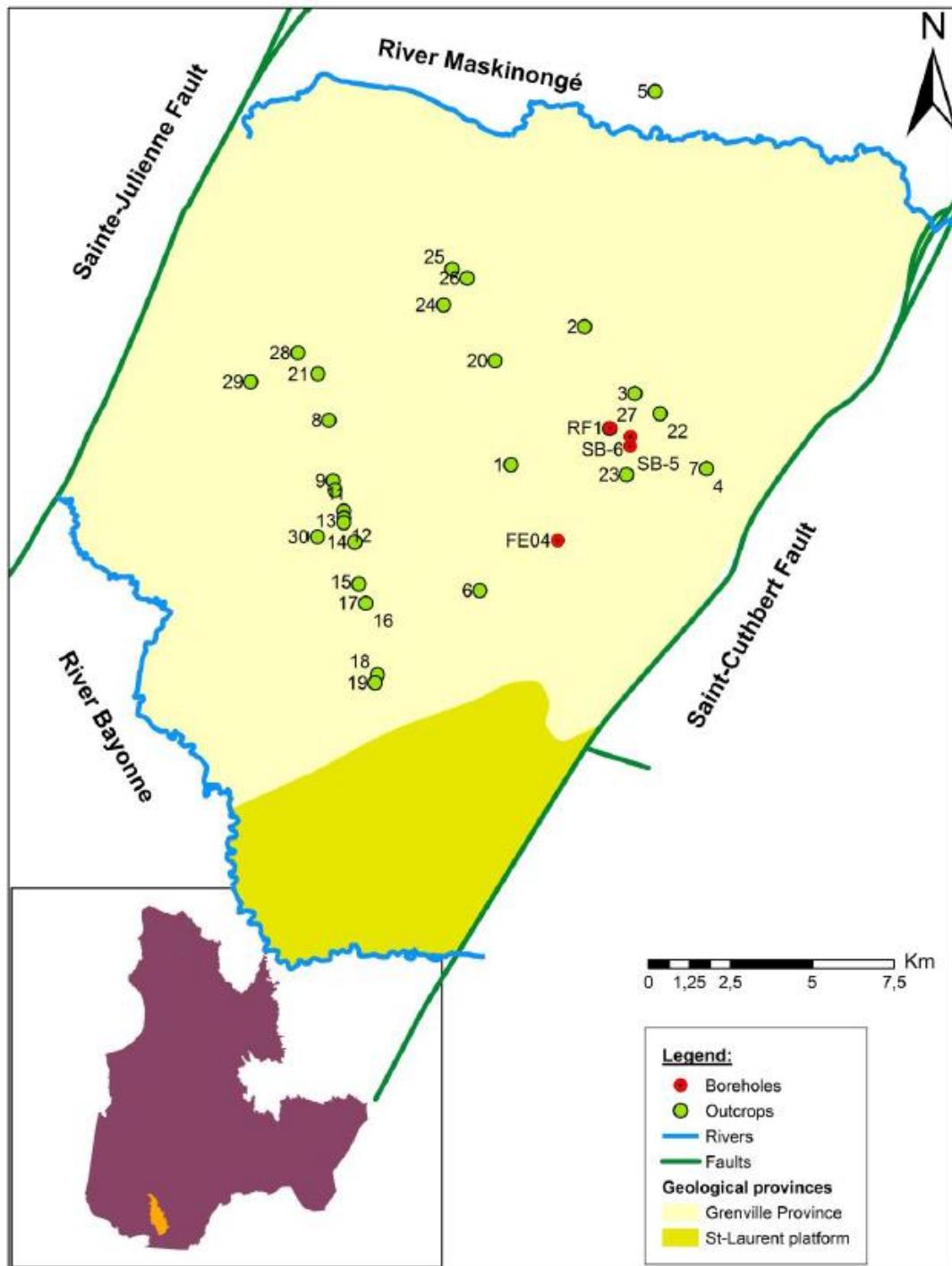


Figure 9-1 : Localisation de la zone d'étude du projet de doctorat de M. Abi Attoumane visant l'amélioration des connaissances des taux de renouvellement et du contrôle des écoulements des eaux souterraines du socle rocheux cristallin du Bouclier canadien (tirée de Abi et al. (2022)).

Objectifs

Les objectifs fixés par le projet sont : 1) l'étude de l'effet d'échelle et de la variabilité des caractéristiques de discontinuité de la masse rocheuse, 2) l'identification des points de recharge de l'aquifère cristallin; 3) la construction d'un modèle d'écoulement d'eau souterraine à l'échelle de la zone d'étude;

Méthodologie

Premièrement, l'étude de l'effet d'échelle implique le portrait des discontinuités du massif fracturé et donc l'échantillonnage de fractures à l'échelle de l'affleurement. Un total de trente (**30**) **affleurements** (SLA01 à SLA30) ont été investigués et caractérisés au cours de l'été 2019 et 2020 (figure 9-1). Ensuite, pour tenter de faire des liens entre la recharge, l'écoulement de l'eau souterraine et les discontinuités mesurées, un réseau de suivi de la fluctuation des niveaux piézométriques est installé sur le territoire. Ce réseau consiste en l'installation de sondes piézométriques automatisées dans une vingtaine de puits servant actuellement à l'alimentation en eau potable des résidents du territoire d'étude. Cette étape a donc nécessité la précieuse collaboration des citoyens qui ont accepté qu'une sonde soit installée dans leurs puits résidentiels. Le suivi a été réalisé sur près de 2 ans et les mesures du niveau d'eau ont été prises chaque heure. La figure 9-2 localise les vingt et un (**21**) **capteurs de pressions** (sondes piézométriques) installés en 2019 et 2020 (en mauve), les cinq (**5**) **sondes barométriques** (en jaune) et indique les limites de la zone d'étude faisant l'objet de cette investigation des variations piézométriques (en mauve).

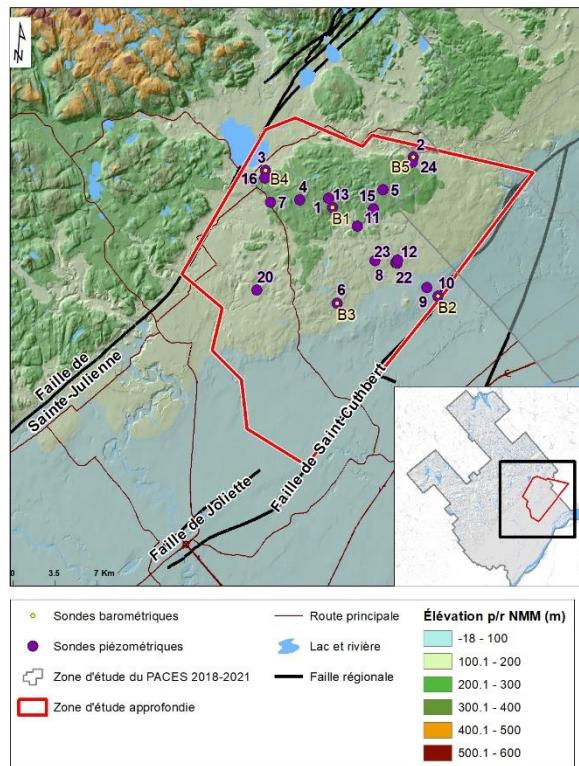


Figure 9-2 : Localisation des sondes piézométriques et barométriques installées.

À cela s'ajoute l'échantillonnage des eaux souterraines et de surface pour l'analyse des isotopes stables de l'eau (^2H and ^{18}O) ainsi que la chimie en ions majeurs, mineurs et traces pour mieux comprendre l'interaction entre les

eaux de surface et les eaux souterraines. Le **point d'échantillonnage d'eau souterraine** et les sept (**7**) **points d'échantillonnage d'eau de surface** (lacs et rivières) sont localisés sur la figure 9-4.

Finalement, des essais d'injection à charge constante entre des obturateurs gonflables ont été réalisés à différentes profondeurs des forages de recherche en eau déjà existants. Ces essais avaient pour but d'évaluer les propriétés hydrauliques du massif rocheux à différentes profondeurs. Un total de **quatre (4) forages** ont été sélectionnés : FE-04-14, RF1, SB5 et SB6 afin de réaliser des travaux de diagraphe et des prélèvements (stations bleues foncées sur la figure 9-4).

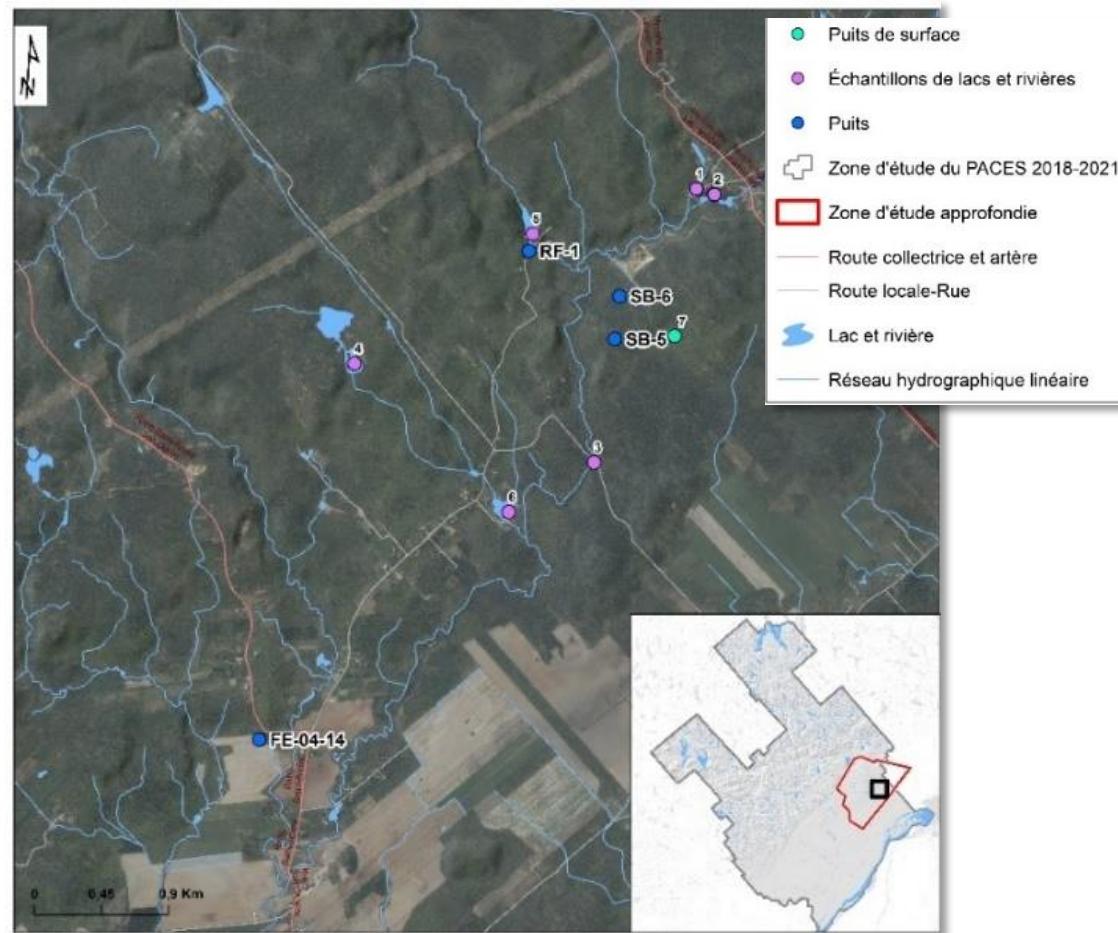


Figure 9-3 : Localisation des quatre forages investigués par les essais hydrogéologiques en forage ainsi que des lacs échantillonnés lors de la campagne d'échantillonnage d'eau de surface.

Résultats préliminaires

Une méthode innovante permettant la compartimentalisation structurale des massifs rocheux en domaines structuraux a été élaborée (Abi *et al.*, 2022). L'analyse préliminaire des variations piézométriques montre que la fluctuation des niveaux piézométriques est sensiblement la même pour tous les forages. Deux catégories de fluctuations de la piézométrie peuvent toutefois être observées, soit une réponse rapide et une réponse diffuse. Une réponse rapide survient peu de temps après un événement hydroclimatique, comme la fonte des neiges et/ou des précipitations sous forme de pluie. Cette observation est caractéristique des forages dont le toit de la nappe d'eau se trouve dans les dépôts granulaires de surface, ou lorsque le toit de la nappe est mesuré dans un forage où l'épaisseur de sédiments est inférieure à deux mètres. Une réponse diffuse et étalée dans le temps

après un événement hydroclimatique est observée dans les forages où la nappe d'eau est dans le roc et où la couverture de dépôts de surface présente une épaisseur importante. De récents travaux de modélisation montrent que la conductivité hydraulique des couches de dépôts de surface semble présenter un plus grand contrôle que leurs épaisseurs sur la recharge des eaux souterraines s'écoulant dans le socle rocheux.

Retombées du projet

La méthode de compartimentalisation du socle rocheux est importante pour caractériser la géomécanique des massifs rocheux pouvant servir à certains ancrages et/ou de fondation de plusieurs infrastructures (Abi *et al.*, 2022). Combinée à la piézométrie, il sera possible de tirer de nouvelles conclusions sur le contrôle ou non des écoulements d'eau souterraine en milieu fracturé. Les travaux de modélisation en cours permettront de mieux comprendre les caractéristiques physiques contrôlant la recharge des nappes contenue dans le roc fracturé. D'un point de vue pratique, les nouvelles connaissances acquises devraient permettre d'identifier les zones de recharge préférentielles du socle rocheux cristallin dans les contextes hydrogéologiques similaires au Québec méridional, et orienteront les aménagements du territoire de manière à protéger la ressource en eau potable de ce type d'aquifère.

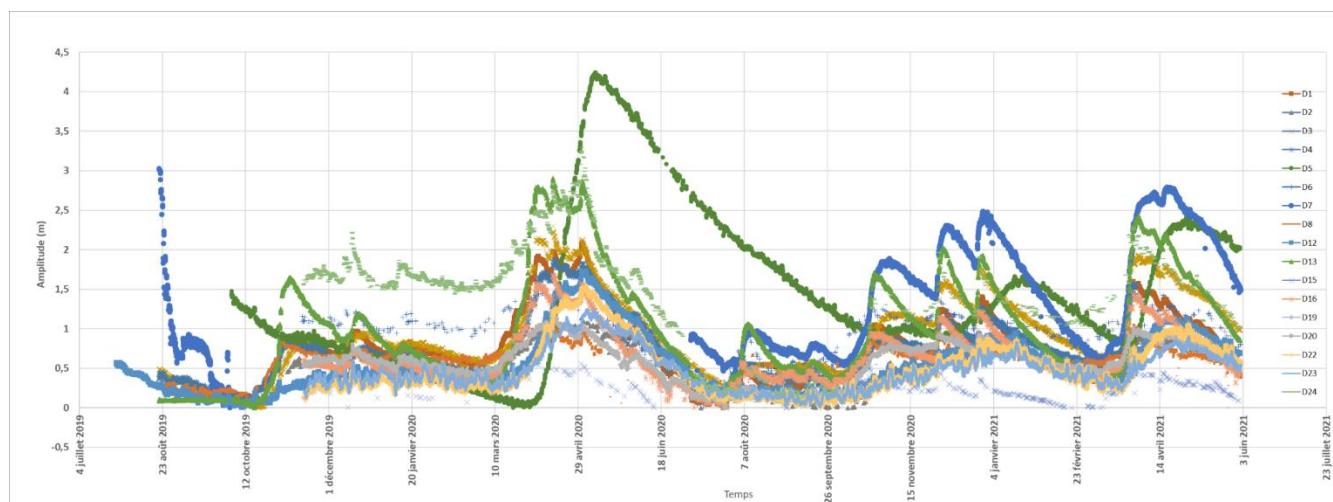


Figure 9-4: Illustration des variations piézométriques des forages dans le temps entre 2019 et 2021.

9.2 Développement d'une approche méthodologique hydrogéophysique pour optimiser l'évaluation du potentiel aquifère des milieux fluvioglaciaires (Ph.D. en cours; M. Yan Levesque)

Problématique

Les milieux aquifères granulaires, particulièrement ceux d'origine fluvioglaciaire, sont souvent les cibles prioritaires dans le cadre de recherche en eau. Comme discuté dans les chapitres précédents de ce rapport, ces milieux présentent généralement une perméabilité élevée favorisant l'exploitation de quantités d'eau suffisantes pour l'alimentation en eau des municipalités. Cependant, ces milieux sont souvent localisés dans les secteurs périurbains, ou enfouis sous d'épaisses couches glaciomarines. Leur localisation n'est donc possible qu'à la faveur des cartes de dépôts de surface, et/ou de forages. Une fois localisé, le potentiel aquifère de ces milieux est évalué à partir de sondage stratigraphique, afin de détecter la présence d'une nappe d'eau. Cette étape est dite « destructive », coûteuse et implique une machinerie lourde et des autorisations d'accès. Depuis plusieurs années, des méthodes différentes dites « non invasives » sont développées. Ces méthodes sont de

nature géophysique, et l'ensemble des résultats acquis à ce jour permettent principalement d'interpréter les assemblages sédimentaires souterrains. Dans le cadre de ce projet doctoral, la problématique générale porte sur l'évaluation du potentiel aquifère des dépôts fluvioglaciaires à l'aide d'outils géophysiques. L'environnement fluvioglaciaire identifié pour mener à bien ce projet correspond à certaines sections de la moraine de St-Narcisse. L'essentiel des travaux est réalisé sur le territoire de la Mauricie, où la moraine est clairement identifiée dans les Basses-Terres et le piedmont (figure 9-5), mais ses résultats sont directement applicables sur le territoire de Lanaudière où la moraine de St-Narcisse est également présente. La fin du projet est prévue en août 2022.

Objectifs

L'objectif principal de ce doctorat est l'élaboration d'un modèle hydrogéologique de la moraine de St-Narcisse à l'aide d'une approche hydrogéophysique de ce dépôt fluvioglaciaire. L'approche hydrogéophysique a été combinée avec les approches conventionnelles de caractérisation des aquifères afin d'identifier les principaux réservoirs présents au sein de la moraine. Les objectifs spécifiques du présent projet de doctorat sont les suivants : 1) Définir le contexte géologique et stratigraphique du système aquifère à l'aide des données géophysiques qui permettront de définir la géométrie du contenant géologique, ainsi que le volume d'eau disponible (le contenu); 2) Investiguer numériquement la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine à l'intérieur de la moraine selon sa perméabilité et la piézométrie; 3) Estimer les quantités d'eau disponibles et tester différents scénarios d'exploitation considérant les modifications climatiques anticipées.

Méthodologie

Ces objectifs seront atteints notamment en développant certaines méthodes géophysiques non invasives, notamment les essais électro-magnétiques dans le domaine du temps (*Transient ElectroMagnetic* ou TEM), la tomographie de résistivité électrique (ERT) et le gérardar (GPR). Les données géophysiques (TEM, ERT et GPR) permettent de déterminer la stratigraphie, l'architecture des sédiments de la moraine et la localisation des nappes d'eau souterraine. Des forages, dont un forage de type rotosonique, des levés piézométriques et des essais de pompage servent à déterminer et décrire l'hétérogénéité des unités stratigraphiques qui composent la moraine et permettent d'expliquer son comportement hydrodynamique. Finalement, afin de quantifier la dynamique d'écoulement à l'intérieur de la moraine, deux modèles 3D ont été générés: un modèle stratigraphique 3D avec le logiciel Leapfrog Geo et un modèle d'écoulement 3D avec le logiciel Feflow. Les types de données mentionnés dans le tableau 9-1 sont associés à chacun des objectifs spécifiques.

Tableau 9-1 : Types de données collectées avec le nombre de points et leur emplacement.

Type de données recueillies	Nb de points	Localisation
Coupes stratigraphiques	44	Moraine de Saint-Narcisse, Mauricie
Transient electromagnetic (TEM)	104 stations (~ 8 km)	Idem
Tomographie électrique (ERT)	27 lignes (~ 6 km)	Idem
Géoradar 160 MHz (GPR)	57 levés (~ 14 km)	Idem
Géoradar 450 MHz (GPR)	40 levés (~ 8 km)	Idem
Levés de roc en surface	16 levés	Idem
Relevés de toit de nappe	18 levés	Idem
Forage rotosonique	1	Idem

Résultats préliminaires

Une charte des valeurs de résistivité électrique a été construite pour les sédiments saturés et non saturés de la moraine de Saint-Narcisse en Mauricie-Est (Levesque et al., en révision). Cette charte fait le lien entre les faciès granulométriques, leurs valeurs de résistivité et leur teneur en eau associée. La nouvelle charte proposée permet entre autres d'utiliser de nombreux profils géophysiques (i.e. TEM, ERT et GPR) et de caractériser de grandes portions des aquifères de la moraine, ce qui serait difficilement réalisable par des campagnes de forage coûteuses. Les résultats nous permettent jusqu'à maintenant d'identifier deux aquifères granulaires non confinés recouvrant le substratum rocheux, à l'ouest de la rivière Batiscan (Lévesque *et al.*, 2021).

Retombées du projet

Les nouvelles connaissances géophysiques appliquées à l'hydrogéologie (i.e. hydrogéophysique) développées dans le cadre de ce projet doctoral permettent la mise sur pied d'outils innovants visant une meilleure définition du potentiel aquifère des environnements fluvioglaciaires. La méthode permet d'augmenter le nombre de levés sur le territoire, selon un rapport coût/temps raisonnable et accessible, et par le fait même, d'augmenter la quantité de données de qualités utiles dans le cadre de recherche en eau. De manière générale, les nouvelles connaissances sont utiles pour une saine gestion et pour la protection de la ressource en eau potable. Elles ouvrent aussi la voie au développement d'outils similaires appliqués à d'autres contextes géologiques présentant un potentiel aquifère important (sable et gravier glaciomarins et alluvionnaire, socle rocheux) au Québec, au Canada ou dans le monde.

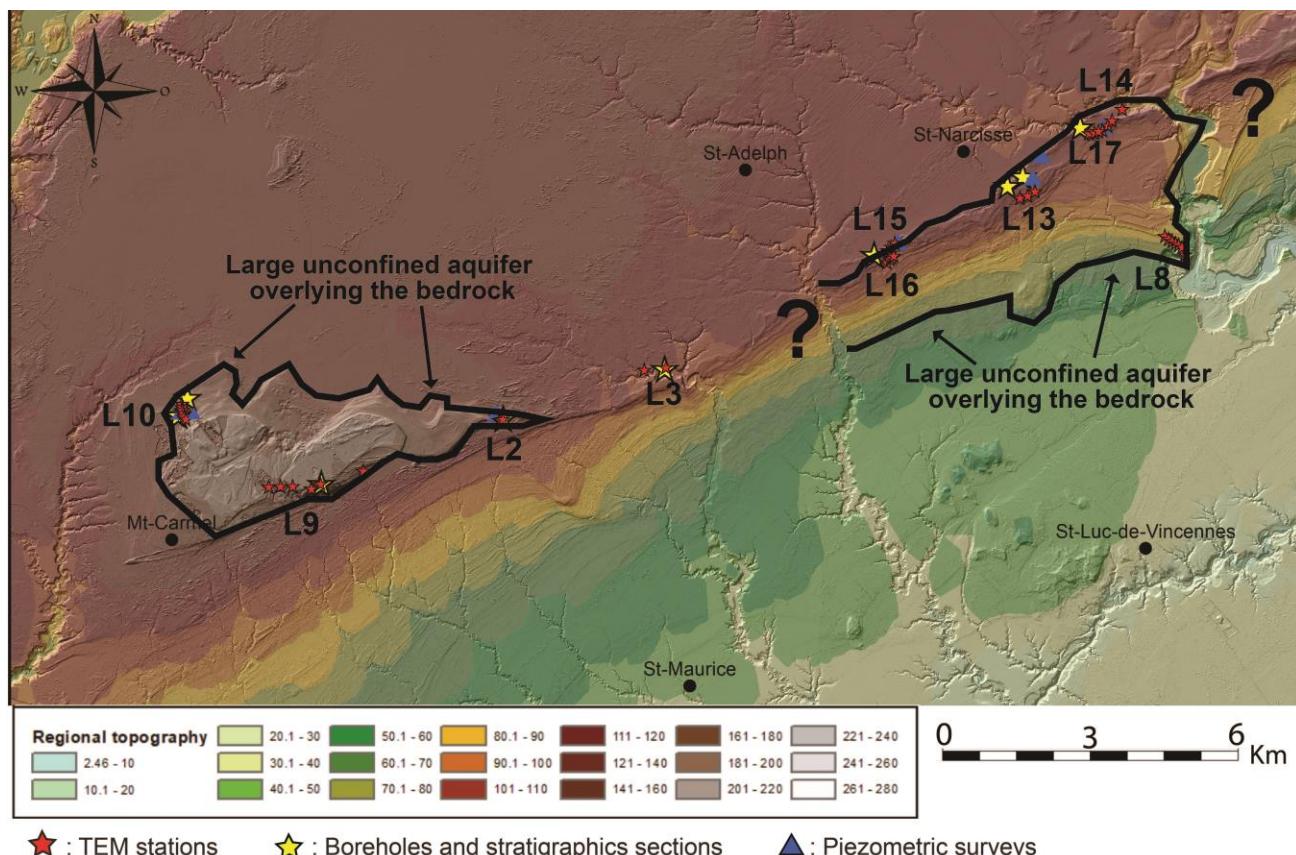


Figure 9-5: Localisation du territoire d'étude du projet doctoral de M. Yan Levesque (tiré de Lévesque *et al.* (2021)).

9.3 Étude de la chimie analytique de l'eau souterraine lors de la purge à haut débit d'un puits avec suivi des paramètres mesurés *in situ* (M.Sc. en cours; Mme Laura-Pier Perron Desmeules).

Problématique

Les projets PACES réalisés avant 2018 ont déjà permis la collecte de plus de 3 000 échantillons d'eau souterraine à l'échelle du Québec méridionale et selon un protocole uniformisé. Ce protocole favorise l'utilisation d'une purge à haut débit concomitante à un suivi des paramètres mesurés *in situ* (température (°C), pH, oxygène dissous (mg/L ou %), potentiel d'oxydoréduction (mV), et conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)) avec échantillonnage lors de leur stabilisation. Dans la plupart des cas, les paramètres se stabilisent rapidement. Dans d'autres cas, des variations parfois importantes de certains paramètres *in situ* ont été observées. Ainsi, ce projet vise l'investigation des variations chimiques de l'eau souterraine lors de la purge, afin de porter un regard critique et quantitatif sur le protocole d'échantillonnage. Les territoires de Lanaudière et de l'est de la Mauricie sont considérés dans le cadre de cette étude. La fin du projet est prévue en décembre 2022.

Objectifs

Pour atteindre l'objectif principal de ce projet de maîtrise, 2 principaux objectifs ont été fixés : 1) Décrire et quantifier l'évolution de la chimie analytique (analyses des isotopes, des éléments mineurs et traces) des eaux souterraines au fur et à mesure de la purge. 2) Tester différents traceurs de l'eau souterraine afin de tirer des hypothèses quant à l'origine probable des variations.

Méthodologie

Trois sites d'étude ont été identifiés, dont deux dans Lanaudière (municipalités de Saint-Zénon et de Mandeville) et l'autre dans l'est de la Mauricie (Sainte-Adelphe). Les sites d'étude correspondent à des puits dont l'eau souterraine provient du socle rocheux (tableau 9-2), et présente un contenu minéral supérieur à la médiane des puits échantillonnés dans le cadre du PACES. Un échantillonnage aux 5 minutes a été effectué dans les 3 puits au cours d'une purge de 75 minutes (15 échantillons par puits) avec suivi des paramètres *in situ*. Les échantillons pour l'analyse des isotopes ont été prélevés au sein d'une cellule d'écoulement (figure 9-6). Des échantillons ont aussi été prélevés au cours de 3 années (2019, 2020 et 2021), afin d'évaluer les variations naturelles interannuelles et de pouvoir les comparer avec les variations lors de la purge.

Tableau 9-2 : Caractéristiques physiques des stations d'échantillonnage sélectionnées dans le cadre du projet de maîtrise de Mme Laura-Pier Perron Desmeules.

Caractéristiques	H2021LA2001	H2021LA2002	H2021ME2001
Localisation	Saint-Zénon (Lanaudière)	Mandeville (Lanaudière)	Saint-Adelphe (Mauricie)
Altitude	Hautes-terres	Piedmont (près limite Hautes-terres)	Piedmont
Stratigraphie simplifiée	0 ~ 15 mètres : Till ou fluvioglacielle (Dépôts non-consolidés comme gravier, sable et blocs selon SIH) 15 ~ 90 mètres : Roc	1 ~ 8 mètres : dépôts (Sable sur argile) 8 ~ 105 mètres : Roc	0 ~ 9 mètres : Sable 9 ~ 34 mètres : Argile 34 ~ 93 mètres : Roc
Environnement proximal	La station est dans une vallée. Présence d'un ruisseau et d'un lac à proximité de la station.	La station est très près d'une rivière qui se dirige vers le lac Maskinongé.	La station est située près de la rivière Batiscan (elle est visible de la station).
Dépôts de surface	Dépôt d'origine glaciaire (till) et périglaciaire (fluvioglaciaire)	Dépôt d'origine marine (argile), dépôt alluvionnaire et glacio-lacustre	Dépôt d'origine marine (argile) et dépôts d'alluvions récents
Géologie du socle	Paragneiss, gneiss pélitique, marbre, quartzite et formation de fer. Présence commune de roches intrusives massives	Orthogneiss granitoïde	Paragneiss, gneiss pélitique, marbre, quartzite et formation de fer. Présence commune de roches intrusives massives. Près d'une unité de basalte/andésite/amphibolite

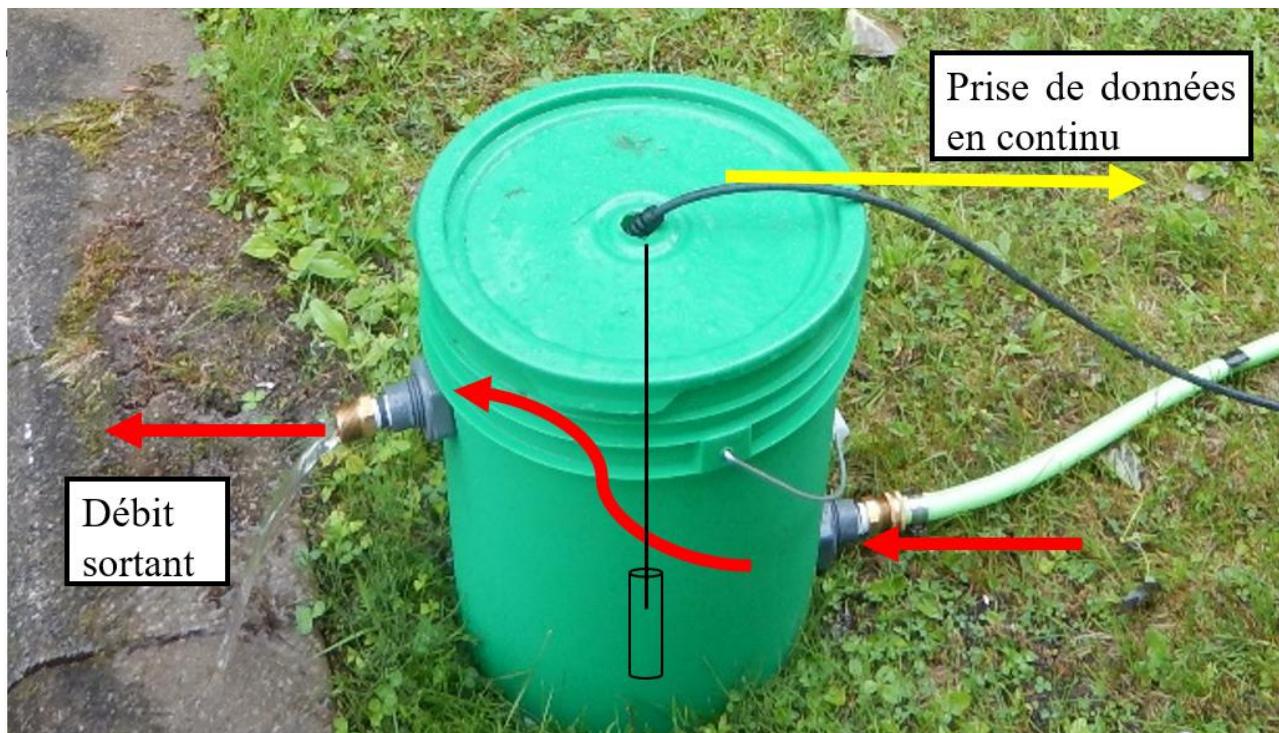


Figure 9-6 : Photo de la cellule d'écoulement utilisée pour l'échantillonnage des isotopes et le suivi des paramètres physico-chimiques en continu.

La composition chimique en termes d'éléments majeurs, mineurs, traces (terres rares et métaux lourds), et isotopiques (^{18}O , ^2H et ^{13}C) de l'eau souterraine a été obtenue à l'aide de méthodes analytiques haute résolution dans un laboratoire agréé.

Résultats

Les résultats préliminaires montrent que la purge influence de différentes façons l'évolution temporelle de certains paramètres chimiques et qu'une stabilisation des paramètres *in situ* n'est pas nécessairement représentative d'une stabilité de la chimie analytique de l'eau souterraine. Les paramètres les plus influencés sont caractéristiques du contexte hydrogéologique (par exemple Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Mg^{2+} , K^+). De plus, ces différences semblent aller dans le sens des variations interannuelles. Contrairement aux autres stations, les variations interannuelles des signatures en isotopes stables de l'eau (^{18}O et ^2H) de Saint-Zénon montrent que l'eau du puits est influencée par la recharge saisonnière et qu'il semble très réactif aux variations hydroclimatiques (figure 9-7). Le puits de Saint-Zénon est le seul des puits échantillonnés qui soit exempt d'argile en surface, ce qui peut expliquer la réactivité observée; ceci suggère aussi que ce puits est influencé par des interactions avec les eaux de surface. L'influence de la matière organique sur les conditions d'oxydoréduction de l'eau souterraine est suggérée par les teneurs en ^{13}C . La plus forte influence de la matière organique est observée à la station de Sainte-Adelphe, où se trouve la plus grande épaisseur d'argile superposée au roc. Un effet important du pompage est l'augmentation des teneurs de l'eau en ions redox (par exemple : uranium, fer et manganèse). Cette observation est renforcée par des patrons de terres rares très distincts d'un puits à l'autre et évoluant au cours de la purge. Les résultats préliminaires suggèrent que les changements des conditions d'oxydoréduction peuvent avoir 2 principales origines : 1) l'interaction avec les eaux de surface oxydantes, et 2) l'interaction avec des eaux ayant été en contact avec la matière organique réductrice. Afin de vérifier ces hypothèses, les variations hydrogéochimiques enregistrées lors de la purge et à différentes années doivent être investiguées plus en profondeur, et plus de liens doivent être faits avec les contextes hydrogéologiques des stations d'échantillonnage.

Retombées du projet

Les résultats de cette étude de MSc permettront de porter un regard critique et quantitatif sur le protocole d'échantillonnage communément appliqué lors des projets PACES des dix dernières années. Des recommandations pourront notamment être formulées à l'effet que le protocole devrait être adapté au contexte hydrogéologique locale des puits échantillonnés. De plus, une fois le contrôle des variations hydrogéochimiques bien compris, des activités de sensibilisation destinées aux propriétaires de puits privés résidentiels pourront être mises sur pied. Ces activités viseront à sensibiliser les propriétaires à l'importance du contexte hydrogéologique de leur aire de captage d'eau potable, et à l'influence de ce contexte sur les possibles variations de la qualité de leur eau potable.

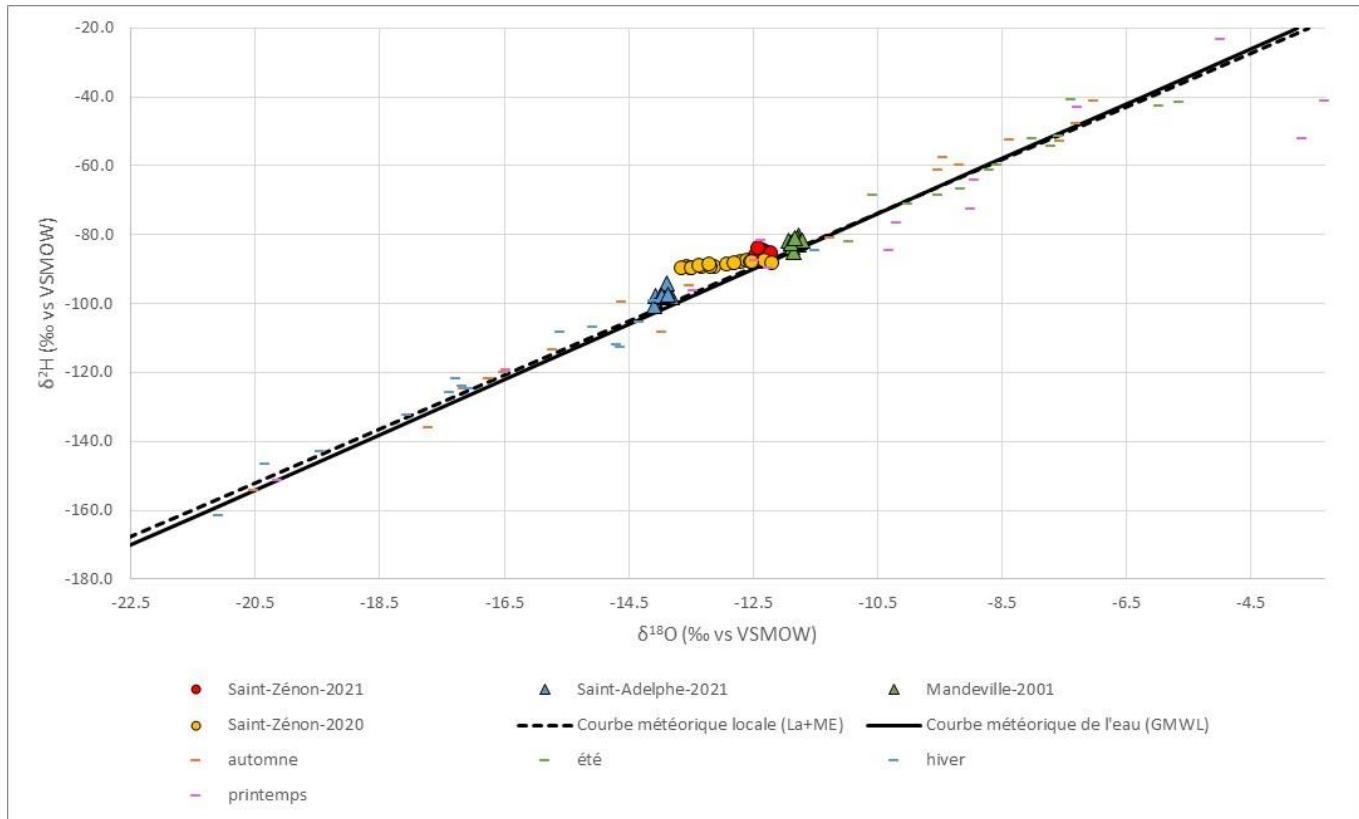


Figure 9-7 : Variations annuelles et variations lors de la purge de la signature en isotopes stables de l'eau souterraine prélevée aux 3 stations sélectionnées du projet de maîtrise de Mme Laura-Pier Perron Desmeules.

9.4 Caractérisation hydrogéochimique des régions de Lanaudière et de l'est de la Mauricie (M.Sc.; Mme Roxane Tremblay - projet complété)

Problématique

Les régions de Lanaudière et l'est de la Mauricie font l'objet d'une caractérisation hydrogéologique régionale dans le cadre du PACES. Chacune de ces deux régions administratives présentes des territoires appartenant à deux provinces géologiques distinctes soit la province de Grenville et la plate-forme du Saint-Laurent (figure 9-8). Les processus géochimiques dépendent de la lithologie et du temps de résidence des eaux souterraines. Considérant que les lithologies diffèrent selon la province géologique, la chimie de l'eau souterraine est présumée différente. D'une part, les Hautes-Terres sont constituées majoritairement de roches cristallines de la province de Grenville surmontées localement de dépôts glaciaires (till, dépôts fluvioglaciaires et glaciolacustres). Les eaux souterraines correspondent à des eaux de recharge ainsi que des eaux ayant subi un échange cationique. D'autre part, les Basse-Terre sont constituées de roches calcaires de la succession sédimentaire de la plate-forme du Saint-Laurent surmontées par des dépôts glaciaires recouverts de dépôts glaciomarins lors de l'invasion de la mer de Champlain formant un aquifère captif.

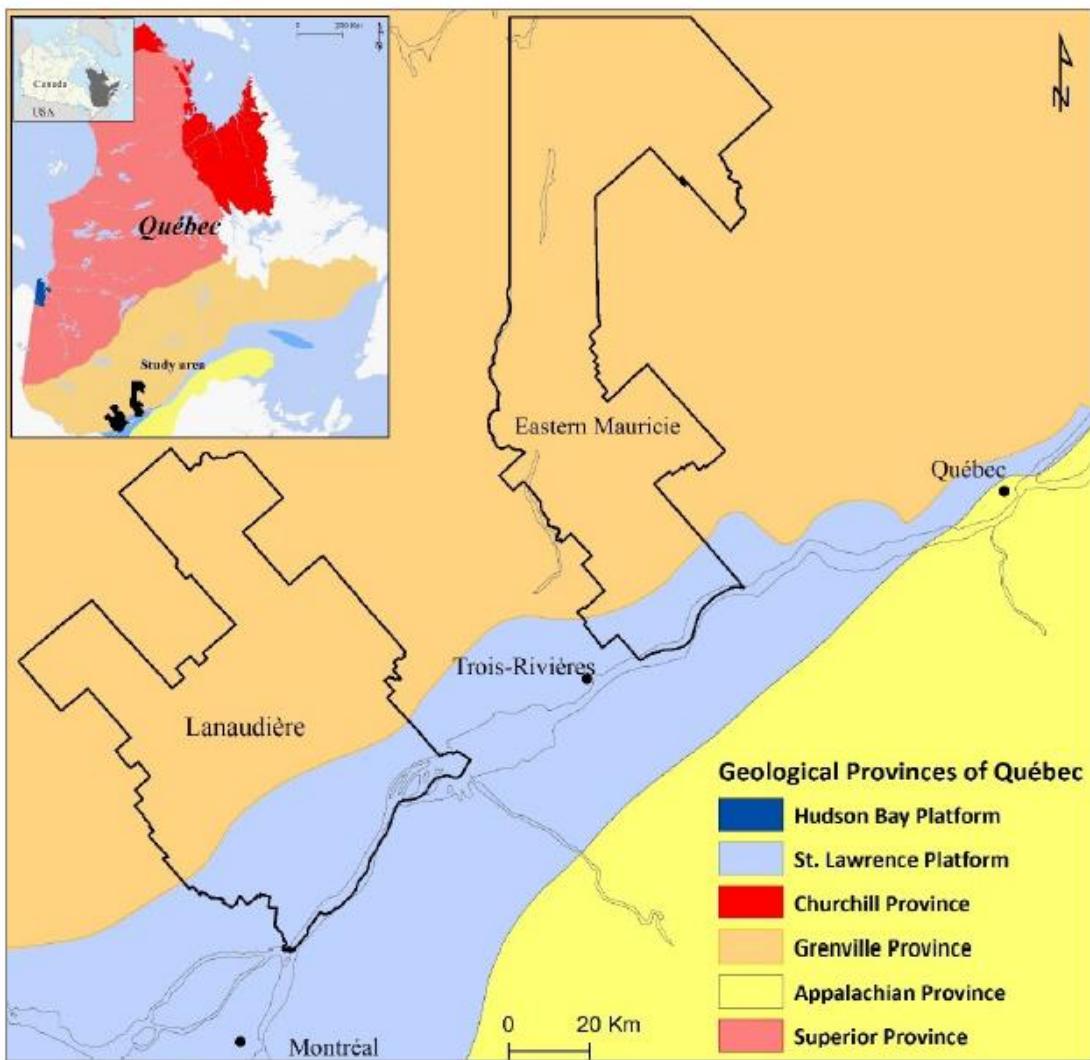


Figure 9-8 : Localisation et provinces géologiques des territoires d'étude du projet de maîtrise de Mme Roxane Tremblay (tiré de Tremblay (2022)).

Objectifs

L'objectif principal est d'étudier les différences de compositions chimiques des eaux souterraines des provinces géologiques de Grenville et de la plate-forme du Saint-Laurent de manière à déduire les principaux mécanismes d'acquisition de la signature chimique de l'eau souterraine. Les objectifs spécifiques sont : 1) étudier les différents processus à l'origine de la chimie de l'eau et vérifier s'ils sont distincts selon la province géologique ; 2) identifier s'il y a présence de contaminants naturels et s'ils sont spatialement corrélés à une province géologique en particulier.

Méthodologie

La méthodologie préconisée dans ce projet de maîtrise repose sur l'échantillonnage des eaux souterraines des 2 territoires d'étude (Lanaudière et l'est de la Mauricie) selon un protocole d'échantillonnage uniformisé à l'échelle du Québec. Le protocole d'échantillonnage comprend le suivi en continu de paramètres mesurés *in situ*. L'échantillonnage était réalisé lorsque les paramètres *in situ* atteignaient une apparente stabilité. Les

échantillons ont été analysés pour les paramètres chimiques majeurs, mineurs, trace et isotopiques (^2H et ^{18}O). La campagne d'échantillonnage a permis la collecte de deux cent vingt-trois (**223**) échantillons d'eau souterraine prélevés sur deux cent dix-huit (**218**) stations, dans le roc et dans les dépôts granulaires de surface, le tout réparti le plus uniformément possible entre les territoires d'étude. Les détails de cette campagne sont présentés à la section 3.3 et les stations d'échantillonnage sont localisées sur les cartes de qualité de l'eau souterraine (*carte #24* et *carte #25*) présentées à la section 8.3. La figure 9-9 présente, quant à elle, la répartition des onze (**11**) échantillons sélectionnés sur le territoire de Lanaudière pour la campagne isotopique.

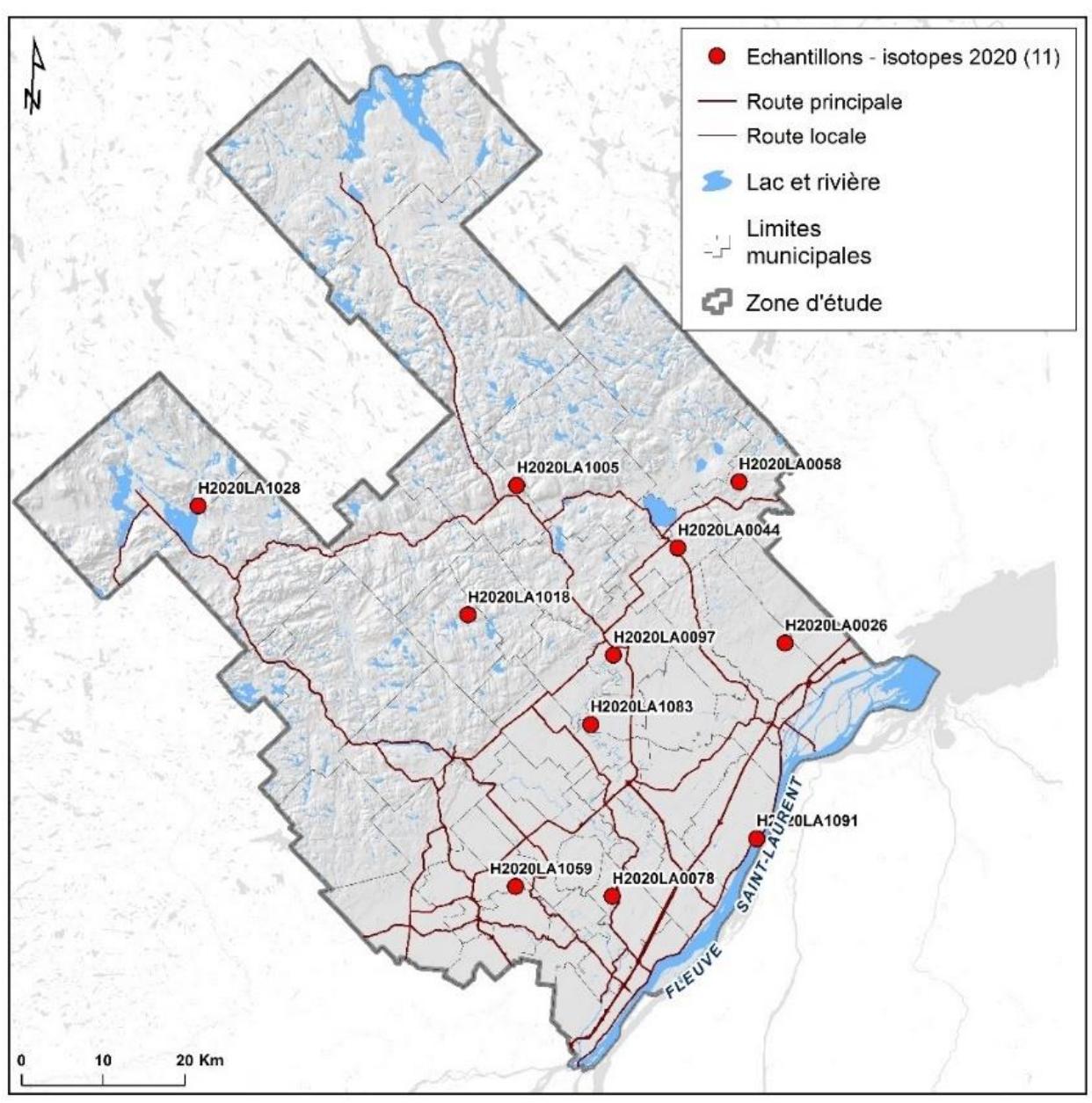


Figure 9-9 : Localisation des échantillons d'eau souterraine (pour analyses des isotopes) effectués dans des puits de particuliers dans le cadre de la campagne de caractérisation hydrogéochimique régionale réalisée au cours de l'été 2020.

Deux (2) stations pluviométriques (figure 9-10a) ont aussi été installées sur le territoire afin d'obtenir la signature en isotopes stables de l'eau de pluie. Ces stations ont été installées à deux stations d'altitudes différentes. La première a été installée dans les Hautes-Terres Laurentienne, à Saint-Michel-des-Saints et la deuxième a été installée dans le piedment à Saint-Ambroise de Kildare qui se situe à la limite entre les Hautes-Terres Laurentiennes et les Basses-Terres du Saint-Laurent (figure 9-10b). Un total de **vingt-trois (23) échantillons d'eau de pluie** a été collecté à l'été 2020 dont treize (13) échantillons proviennent de la station de Saint-Michel-des-Saints et dix (10) de la station de Saint-Ambroise-de-Kildare. L'ensemble des résultats d'analyse a été traité statistiquement (statistique descriptive et multivariée) et a été représenté à l'aide de différents graphiques.

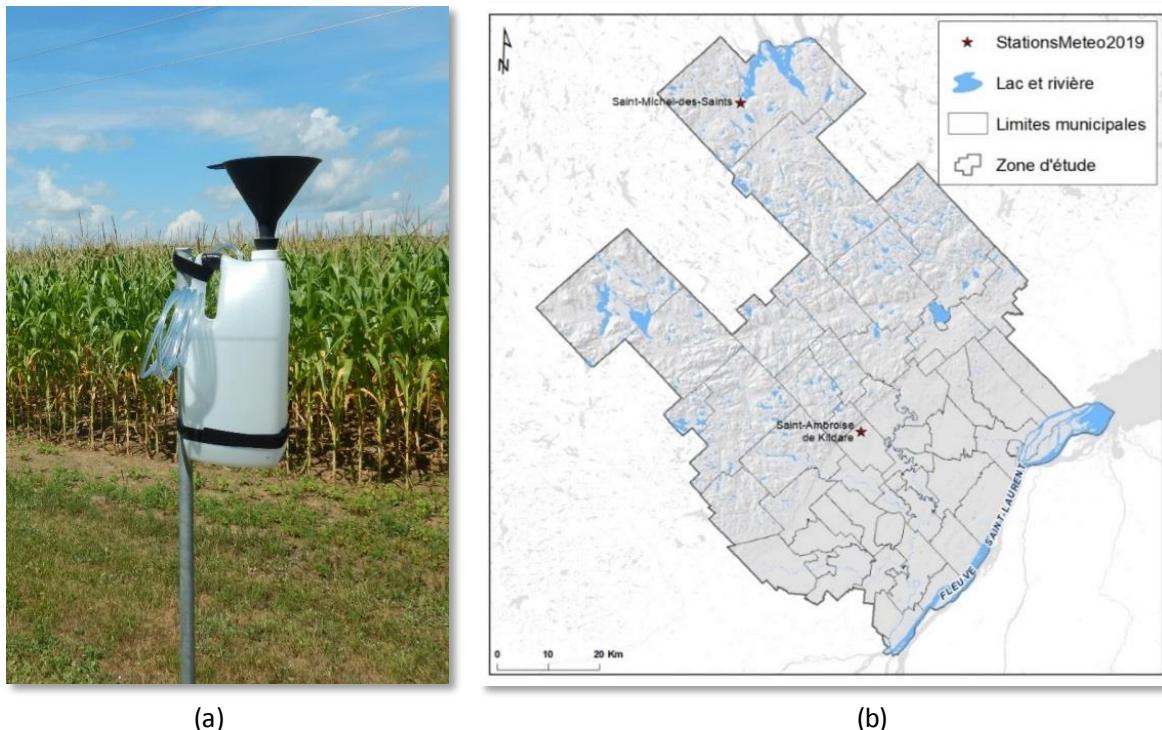


Figure 9-10 : Échantilleur d'eau de pluie. (a) Photo d'un échantilleur d'eau de pluie; (b) Localisation des deux échantilleurs d'eau de pluie sur le territoire.

Résultats

Les statistiques multivariées et les analyses graphiques ont permis de constater que les principaux mécanismes de l'évolution chimique des eaux souterraines sont similaires malgré les différences importantes des deux provinces géologiques. L'évolution chimique des ions majeurs de l'eau souterraine se sépare en 3 mécanismes principaux: i) l'infiltration des précipitations dans les zones de recharge, ii) la dissolution des carbonates et des silicates, iii) les échanges cationiques entre Ca^{2+} et Na^+ par les interactions entre les eaux souterraines et le socle rocheux ainsi que le mélange entre l'eau de mer et l'eau douce. Les concentrations de certains paramètres ont été comparées aux normes en vigueur en termes de potabilité (RQEP c. Q-2, r. 40 et les recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada). Certains échantillons ont des concentrations en manganèse dépassant les concentrations maximales acceptables (CMA) recommandées par Santé Canada dues à la géologie du socle rocheux ainsi qu'à un milieu réducteur facilitant la dissolution du manganèse dans l'eau. Les échantillons ayant des dépassements de l'objectif esthétique (OE) pour les sulfures sous forme de H_2S sont situés dans les roches

sédimentaires de la plate-forme du Saint-Laurent. Les échantillons possédant des concentrations supérieures à la concentration maximale (CM) prescrite par le RQEP en fluorures ont été observés dans des aquifères rocheux. La géologie du socle rocheux semble être la source principale de fluorures dans les eaux souterraines du territoire. Enfin, les dépassements de la CM en plomb sont probablement dus à des agents anthropiques, mais des travaux additionnels sont requis pour mieux expliquer ces anomalies locales. Les éléments traces permettent d'améliorer les connaissances sur les relations chimiques entre les eaux souterraines et le socle rocheux. Il faut toutefois des limites de détection relativement basses pour pouvoir utiliser ces paramètres comme traceurs des interactions eau-roche à l'échelle régionale. Toutefois, une conclusion importante est à l'effet que la chimie en éléments majeurs de l'eau souterraine semble clairement contrôlée par les conditions physico-chimiques de l'environnement indépendantes du contexte géologique. Cela peut s'expliquer par la présence des mêmes minéraux solubles (calcite par exemple), quel que soit le contexte, ou par des connexions hydrauliques entre les Hautes-Terres et les Basses-Terres, les premières s'écoulant naturellement vers les secondes.

Retombées du projet

Cette étude ne se limite pas à la qualité de l'eau souterraine sur le territoire à l'étude, elle contribue à une meilleure compréhension de la chimie des eaux souterraines et de leurs mécanismes d'évolution selon différents contextes hydrogéologiques (province géologique et type d'aquifère). Les résultats obtenus définissent un premier état de référence de la qualité de l'eau à l'échelle régionale, et locale (par station échantillonnée). Un programme d'échantillonnage et de suivi pourrait maintenant permettre d'évaluer une éventuelle évolution (dégradation?) de la qualité de l'eau potable. De plus, les données cartographiées peuvent conduire à la mise sur pied d'un plan de gestion et de protection de la ressource en eau potable, notamment en identifiant des secteurs où l'eau présente une qualité moindre en regard des normes et des recommandations en vigueur au Québec et au Canada.

10 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le projet PACES-LAMEMCN a été réalisé de 2018 à 2022 selon trois phases, soit 1) la compilation des données existantes, 2) l'acquisition de données additionnelles par des levés de terrain et 3) l'intégration et l'analyse de toutes ces données. L'ensemble des résultats du PACES-LAMEMCN section Lanaudière sont présentés dans les chapitres précédents et atteignent les principaux objectifs de ce projet :

- 1) dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines sur le territoire;
- 2) établir l'état de cette ressource, sa recharge et sa vulnérabilité;
- 3) développer des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire afin de favoriser une saine gestion de la ressource;
- 4) répondre aux préoccupations du milieu en ce qui concerne la ressource en eaux souterraines.

Un comité de gestion regroupant des représentants du monde municipal, du milieu de la recherche et d'organismes gouvernementaux a été créé pour définir les orientations de recherche et cibler les objectifs des partenaires régionaux à l'égard du PACES.

Le projet PACES a permis d'acquérir de nombreuses données à caractère hydrogéologique qui sont archivées et centralisées dans une base de données à référence spatiale. L'analyse de ces données a permis la création de 29 cartes thématiques en format d'impression A0 décrites et présentées avec l'ensemble des résultats dans le présent rapport scientifique. Un atlas hydrogéologique de la région de Lanaudière a également été élaboré. Ces livrables sont disponibles en format numérique à partir de différentes sources :

- L'ensemble des livrables et résultats du projet PACES-LAMEMCN sont disponibles sur le site web du MELCC (www.environnement.gouv.qc.ca) ainsi que sur le site web de l'UQAC : <https://cerm.uqac.ca/paces>.
- Un grand nombre de données ponctuelles contenues dans la base de données à référence spatiale, et certaines cartes sont disponibles sur site web de Données Québec : (<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/projets-d-acquisition-de-connaissances-sur-les-eaux-souterraines-paces>).
- Le rapport scientifique et l'atlas sont aussi disponibles sur le site du Réseau québécois sur les eaux souterraines : <https://rques.ca/rapports-paces>.

Les conclusions du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière sont d'abord présentées et elles sont suivies des faits saillants de chacun des chapitres précédents. Enfin, viennent les recommandations qui se distinguent suivant trois catégories :

- présentation des limites et recommandations pour l'utilisation des livrables du projet PACES-LAMEMCN, notamment les cartes;
- recommandations pour l'amélioration des connaissances hydrogéologiques pour le territoire de Lanaudière;
- recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine.

10.1 Conclusions et faits saillants du projet PACES-LAMEMCN section Lanaudière

Avant la réalisation du projet PACES, les connaissances sur les eaux souterraines sur le territoire d'étude étaient inégales, dispersées et, surtout, n'étaient pas du domaine public. Ce dernier point résulte du fait que la majeure partie des connaissances hydrogéologiques proviennent d'études hydrogéologiques visant surtout l'alimentation en eau potable des municipalités et qui appartiennent à chacune des municipalités. Le projet PACES-LAMEMCN contribue de façon très importante à l'augmentation des connaissances sur les eaux souterraines du territoire québécois, autant par l'intégration des données existantes, par la cartographie des milieux aquifères, par l'établissement du portrait des principaux paramètres caractérisant l'eau souterraine que par l'évaluation de l'état de cette ressource en eau. Il demeure qu'un projet de ce type dresse un premier portrait de la ressource en eau souterraine et des connaissances qui l'accompagnent, mais ne renseigne pas sur les volumes disponibles et exploitables sur le territoire cartographié. Cette estimation, d'échelle plus locale, devrait être facilitée considérant qu'en date de parution du présent rapport, les données permettant cette estimation sont rassemblées et accessibles facilement.

Le processus d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines s'est effectué sur une période de quatre ans au cours desquelles une importante base de données à référence spatiale a été élaborée, qui inclut autant les connaissances déjà existantes que celles acquises au cours du projet PACES. L'analyse de ces données a permis de créer près de trente cartes thématiques présentant des informations géographique, géologique ou hydrogéologique, dans un format homogène et continu sur l'ensemble du territoire de Lanaudière.

Bien que les résultats du projet PACES soient significatifs, l'acquisition de connaissances constitue un processus évolutif. En effet, le projet a permis d'élaborer de façon distincte la cartographie des milieux aquifères et le portrait des paramètres caractéristiques des eaux souterraines et des milieux géologiques qui les contiennent. Il serait très intéressant de donner suite au projet PACES en poursuivant les travaux d'acquisition de connaissances. Ces nouveaux travaux pourraient d'une part permettre d'attribuer à chaque milieu aquifère les paramètres caractérisant les eaux souterraines (propriétés hydrauliques, hydrogéochimie, piézométrie, recharge, vulnérabilité, etc.) qui lui sont propres. D'autre part, la cartographie des milieux aquifères pourrait être améliorée de façon ciblée en commençant par les milieux aquifères exploités ou les plus vulnérables ou encore ceux sur lesquels les pressions sur la ressource sont importantes.

Les sections suivantes reprennent les faits saillants concernant la base de données à référence spatiale, laquelle inclut les données existantes et celles acquises en cours de projet, suivi des conclusions spécifiques au portrait du territoire, au portrait géologique, au bilan hydrologique, au portrait hydrogéologique et au portrait de la ressource en eau souterraine.

10.1.1 Base de données géospatiales

Une particularité de la base de données géospatiales PACES-LAMEMCN est qu'elle contient autant les données sources, c'est-à-dire les données qui ont servi à l'analyse et la création des cartes, que l'ensemble des résultats d'analyse et les produits cartographiques. La base de données géospatiales PACES section Lanaudière contient des données sur plus de 42 000 stations réparties sur tout le territoire.

Les données sources sont réparties sur 42 256 stations dont :

- 10 495 correspondent à des affleurements;

- 31 433 sont des stations déjà documentées provenant principalement de jeux de données gouvernementales (SIH du MELCC, forages et données géotechniques du MTQ, SIGÉOM du MERN), du projet de cartographie des dépôts de surface, des projets PACES avoisinants et des rapports de consultant obtenus des municipalités;
- 328 stations où des données ont été acquises par les travaux de terrain effectués dans le cadre du PACES, soit :
 - 30 stations correspondant à des affleurements visités lors de levés de fracturation;
 - 219 stations correspondant à des puits individuels ou des sources échantillonnées dans le cadre de la campagne d'hydrogéochimie;
 - 4 stations correspondant aux sondages réalisés par rotpercussion convertis en piézomètres et récupérées soit par une municipalité soit par le RSESQ;
 - 57 stations stratigraphiques.
 - 18 stations de niveau d'eau en continu (*datalogger*)

La base de données géospatiales PACES, section Lanaudière, contient également 3 118 points correspondant à des forages virtuels représentant la stratigraphie interprétée à partir des coupes stratigraphiques.

Les informations reliées à ces stations sont organisées en quatre-vingt-six tables thématiques constituant la base de données.

- la classe d'objets centrale intitulée *Station* dans laquelle toutes les stations ponctuelles existantes et acquises au cours du PACES sont localisées;
- les 7 tables caractérisant l'information hydrogéologique;
- les 5 tables caractérisant le milieu aquifère ou l'eau souterraine;
- les 4 tables contenant de l'information spécialisée en hydrogéologie;
- les 6 tables du protocole « Fiabilité et validation des forages »;
- les 20 tables ou classes d'objets supplémentaires qui contiennent de l'information intermédiaire, mais nécessaire à la réalisation des livrables (ex. : forages virtuels) ou de nouveaux résultats calculés;
- les 3 tables identifiant les stations utilisées pour la création et la validation des livrables finaux;
- les 40 classes d'objets ou matrices correspondant aux livrables cartographiques finaux.

10.1.2 Description du territoire

Le territoire municipalisé de Lanaudière est l'un des plus densément peuplés du Québec avec une population de 337 601 habitants répartie sur un territoire d'une superficie 5 962 km². La région présente une topographie composée de 3 zones avec des altitudes et des reliefs différents : les Hautes-Terres Laurentiennes, le piedmont et les Basses-Terres du Saint-Laurent. L'hydrographie du territoire se caractérise par un réseau dense de lacs et de cours d'eau. Les principales rivières suivent un axe NNO-SSE et sont tributaires de la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Le territoire de Lanaudière comprend 9 principales rivières, à savoir les rivières Ouareau, L'Assomption, de l'Achigan, Bayonne, Noire et Saint-Esprit, Maskinongé, Mastigouche et Matawin. Les principaux lacs retrouvés sur le territoire de Lanaudière sont les lacs Archambault, Ouareau, Maskinongé et le réservoir Taureau. Le territoire comprend 21 bassins versants (de niveau 1), dont les 3 principaux, le bassin versant des rivières de L'Assomption, de Maskinongé et de Saint-Maurice représentent respectivement 53%, 14% et 13% de

la superficie du territoire municipalisé de Lanaudière. Certains bassins versants, tels que celui de la rivière des Outaouais, représentent une superficie totale importante ($96\ 230\ km^2$), mais n'occupent qu'une très petite portion (<0.1%) du territoire cartographié dans le cadre de ce projet. Une importante zone de tourbière boisée est présente sur une trentaine de kilomètres au sud de la municipalité de Saint-Thomas. Les milieux humides sont omniprésents sur le territoire de Lanaudière, et représentent 4% du territoire d'étude. Avec une superficie de $67\ km^2$, la tourbière de Lanoraie constitue l'un des milieux humides les plus importants du territoire. En raison de sa proximité avec la région de Montréal, le sud de la région de Lanaudière est caractérisé par une urbanisation accrue et accélérée, induisant une forte pression sur la ressource en eau souterraine. Les industries retrouvées dans le nord sont principalement des entreprises de transformation des produits de la forêt. Parmi les activités industrielles, plusieurs carrières et sablières sont exploitées sur l'ensemble du territoire, ce qui peut occasionner des conflits d'usage en lien avec la ressource en eau potable. Le sud de la région de Lanaudière se caractérise par les cultures de céréales et de légumes, ainsi que la production d'oléagineux. Des fermes d'élevage sont également présentes sur le territoire principalement dans le piedmont. Le territoire de Lanaudière connaît une industrie touristique importante dans le nord du territoire (Saint-Donat et Saint-Michel-des-Saints). La proximité de la région avec la métropole favorise cette industrie.

10.1.3 Portrait géologique

La géologie du territoire de Lanaudière comprend plusieurs ensembles lithologiques variés, dont les principaux sont: des roches cristallines de la Province géologique de Grenville du Bouclier canadien (métasédimentaires, métavolcaniques, intrusives felsiques) principalement retrouvées dans les Hautes-Terres, et des roches sédimentaires stratifiées de la Province géologique de la Plate-Forme du Saint-Laurent, principalement retrouvées dans les Basses-Terres. Ces roches sédimentaires de la Plate-forme du Saint-Laurent reposent en discordance angulaire ou en contact de faille normale sur le socle précambrien. Dans la région de Lanaudière, les principales failles normales sont : la faille de New-Glasgow, la faille de Sainte-Julienne (aussi appelée faille de Rawdon ou faille de Saint-Maurice), la faille de Joliette, et la faille de Saint-Cuthbert. La faille de Sainte-Julienne est bien connue dans la partie est de la région de Lanaudière où elle est marquée par un escarpement bien visible orienté environ N25-E et qui traverse les municipalités de Sainte-Julienne et de Bissonnette. Dans la partie ouest du territoire de Lanaudière, cette faille marque le contact entre les roches précambriques et les roches sédimentaires ordoviciennes. À l'est du territoire, la zone de contact entre le socle précambrien et les roches sédimentaires de l'Ordovicien se situe à l'est de la faille de Saint-Cuthbert. Sur le socle rocheux (cristallin et sédimentaire), se trouvent les dépôts meubles. Au Québec, la plupart des dépôts de surface sont hérités de la dernière phase de glaciation, celle du Wisconsinien, qui a eu lieu entre 80 000 et 10 000 ans. En plus des dépôts meubles, les glaciers ont fortement modelé le relief du Bouclier canadien et des Basses-Terres du Saint-Laurent, érodant les montagnes et laissant derrière eux des traces de leur passage telles que des roches moutonnées, des drumlins, des stries glaciaires, des vallées glaciaires et des creusements plus prononcés à l'endroit des zones plus intensément fracturées. Une récente cartographie des dépôts de surface du territoire de Lanaudière a été réalisée en appui au PACES. Les lecteurs sont invités à consulter le rapport du MERN disponible sur la plate-forme SIGEOM de ce ministère. Les principales unités cartographiées sont : les sédiments glaciaires (till), les sédiments fluvioglaciaires (esker, moraines, ...), les sédiments glaciolacustres et lacustres (dépôts fins à moyen associés à d'anciens lacs, ou des lacs actuels), les sédiments glaciomarins (dépôts littoraux ou deltaïque, et de fond marin), et les sédiments alluviaux associés aux rivières actuelles. Dans les Basses-Terres, l'épaisseur des dépôts peut atteindre 110 m. L'épaisseur des dépôts est la plus importante près de Berthierville et de Saint-Ignace-de-Loyola. Dans les Hautes-Terres, les vallées contiennent des épaisseurs de dépôts

généralement comprises entre 10 et 40 m et pouvant atteindre localement plus de 100 m particulièrement dans le secteur de Saint-Jean-de-Matha. Les secteurs de Saint-Donat, Saint-Michel-des-Saints et Saint-Zénon montrent également quelques zones de dépôts relativement épais (50 – 80 m).

10.1.4 Contexte hydrogéologique et potentiel aquifère (propriétés hydrauliques)

Sur le territoire municipalisé de Lanaudière, **43** coupes stratigraphiques d'échelle kilométrique ont été réalisées et livrées aux partenaires du projet. Pour ce faire, la géologie du socle a été simplifiée en 2 grandes unités : les roches cristallines et les roches sédimentaires ordoviciennes de la Plate-Forme du Saint-Laurent. Les dépôts meubles ont aussi été simplifiés sur la base de leur composition granulométrique. Cette simplification a donné naissance à 6 unités distinctes : 1) le till, 2) le gravier et le sable des sédiments fluvioglaciaires, 3) l'argile et le silt des sédiments glaciomarins, marins et lacustres déposés en eau profonde, 4) le sable et le gravier indifférencié des sédiments glaciolacustres, glaciomarins et marins; 5) les dépôts du Quaternaire ancien utilisés localement dans Lanaudière pour expliquer des incongruités stratigraphiques locales; et 6) les sédiments organiques présents en couches minces à la surface. Aux fins de contrôle qualité, ces 43 coupes ont été projetées dans un environnement numérique tridimensionnel sous la forme d'un *diagramme barrière* d'échelle régionale. Ce diagramme barrière a aussi permis de cartographier la continuité latérale des unités de dépôts meubles observées en 2D dans une coupe stratigraphique. L'empilement, et l'enchaînement des unités stratigraphiques de dépôts meubles sont ensuite traduits en contextes hydrogéologiques.

Au total, 9 contextes hydrogéologiques sont interprétés pour le territoire municipalisé de Lanaudière (Contextes A à I). Les Hautes Terres sont marquées par 4 grands types de contextes : le roc affleurant (contexte A, 51% du territoire), les contextes où une couche confinante constituée de silt ou d'argile est présente (contexte F et G, respectivement 5% et 18% du territoire), et finalement le contexte de dépôts granulaires perméables d'origine fluvioglaciaire affleurants (contexte D, 10% du territoire). Les Basses-Terres quant à elles sont dominées par les contextes avec la présence des argiles marines soit affleurantes (contextes I et E) ou surmontées par des sables indifférenciés (G et F). Les Basses-Terres sont aussi caractérisées par la présence de l'aquifère de roc fracturé sédimentaire (contexte B, 2% du territoire).

Le PACES a aussi permis un premier inventaire à l'échelle régionale des propriétés hydrauliques, et surtout de spatialiser individuellement ces propriétés. Au total, **341 données** de propriétés hydrauliques ont été extraites des rapports de consultants soit: **45 valeurs de conductivités hydrauliques** (39 valeurs estimées dans le granulaire et 6 dans le roc fracturé); **235 valeurs de transmissivité** (162 dans le granulaire, 64 dans le roc fracturé et 9 dans un aquifère inconnu) et; **61 valeurs d'emmagasinement** (45 dans le granulaire, 15 dans le roc fracturé, 1 dans un aquifère inconnu). La conductivité hydraulique des aquifères granulaires varie entre $3,1 \times 10^{-5}$ et $4,1 \times 10^{-3}$ m/s, avec une moyenne géométrique de $4,6 \times 10^{-4}$ m/s et une valeur médiane de $4,1 \times 10^{-4}$ m/s. Ces valeurs de conductivité hydraulique correspondent à la gamme des sables moyens aux graviers fins. La transmissivité des aquifères granulaires varie entre $5,9 \times 10^{-5}$ et $1,2 \times 10^{-1}$ m²/s, avec une moyenne géométrique de $2,0 \times 10^{-3}$ m²/s et une valeur médiane de $1,6 \times 10^{-3}$ m²/s. Ces valeurs de transmissivité caractérisent de relativement bons aquifères. L'emmagasinement des aquifères granulaires varie entre $2,1 \times 10^{-5}$ et 0,8, avec une moyenne géométrique de $5,2 \times 10^{-3}$ et une valeur médiane de $6,5 \times 10^{-3}$. La conductivité hydraulique des aquifères de roc fracturé varie entre $1,2 \times 10^{-7}$ et $4,4 \times 10^{-4}$ m/s, avec une moyenne géométrique de $1,3 \times 10^{-5}$ m/s et une valeur médiane de $5,8 \times 10^{-5}$ m/s. Ces données caractérisent généralement des roches relativement bien fracturées et perméables. La transmissivité des aquifères de socle rocheux fracturé varie entre $1,9 \times 10^{-6}$ et $2,9 \times 10^{-2}$ m²/s, avec une moyenne géométrique de $6,0 \times 10^{-4}$ m²/s et une valeur médiane de $5,3 \times 10^{-4}$ m²/s. Les

valeurs de transmissivité des roches fracturées correspondent à celles d'aquifères perméables à peu perméables. L'emmagasinement des aquifères de socle rocheux fracturé varie entre $3,0 \times 10^{-5}$ et $3,2 \times 10^{-2}$ avec une moyenne géométrique de $1,3 \times 10^{-3}$ et une valeur médiane de $1,9 \times 10^{-3}$. La création des coupes stratigraphiques et de la carte des contextes hydrogéologiques a permis de mettre en évidence des milieux fluvioglaciaires très importants (en termes d'étendue, d'épaisseur et de perméabilité) qui sont enfouis sous les argiles de la mer de Champlain et qui se situent dans le Piedmont. Un tel système aquifère enfoui forme une bande longue d'environ 23 km, large d'environ 6 km et d'une épaisseur atteignant jusqu'à 40 m; il a été identifié dans le secteur des municipalités de Sainte-Mélanie, Saint-Félix-de-Valois et Saint-Gabriel-de-Brandon. Une étude plus locale permettrait d'évaluer le réel potentiel de cet aquifère.

Localement, une zone très fracturée a été détectée dans la municipalité de Saint-Barthélemy. Les puits interceptant la zone très fracturée sont très productifs. Selon le rapport de consultant responsable de l'étude, l'un des puits peut être exploité avec un débit de $68 \text{ m}^3/\text{h}$ (300 GUSPM) sur du long terme (au moins 30 jours). C'est non loin de la municipalité de Saint Cuthbert que se trouve localisée l'entreprise d'embouteillage d'eau Amaro, qui soutire l'eau du socle rocheux cristallin. D'autres municipalités telles que Saint-Ambroise-De-Kildare et Saint-Jean-de-Matha puisent aussi leur eau dans le roc cristallin pour l'alimentation en eau potable des citoyens. L'exploitation de volume d'eau dépassant $75 \text{ m}^3/\text{j}$ (seuil pour être considéré un « grand préleveur ») dans le socle rocheux cristallin suggère que localement en Lanaudière, le roc cristallin présente une perméabilité importante, possiblement causée par une intensification de la fracturation le long des corridors de déformations associés à la faille de Sainte-Julienne et Saint-Cuthbert.

La transmissivité moyenne des roches sédimentaires de la région de Lanaudière est de $1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ alors que celle des roches cristallines est $4,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ soit environ 10 fois plus faible. Sur le territoire, les roches sédimentaires regroupent différents types de milieux géologiques aux perméabilités variables. Les mudstones constituent des roches sédimentaires avec une granulométrie très fine, étant composées à l'origine d'argile ou de boue. Ces roches présentent une faible perméabilité. Les shales (Shales d'Utica), également nommés schistes, schistes argileux ou argile litée, constituent des roches sédimentaires d'aspect feuilletté ou lité, composée à l'origine de boue et d'argile. Les shales présentent une faible perméabilité. Les calcaires présentent une perméabilité variable selon la fracturation ou la karstification de la roche. Peu de karstification a été observée sur le territoire de Lanaudière, mis à part au sud-ouest de Joliette (8 km) où l'on peut trouver la grotte du Pont-des-Dalles, nommée « Trou de la Fée ». Cette grotte constitue un réseau de 200 m de galeries développées horizontalement à travers les joints de stratification. Les roches calcaires présentent généralement une fracturation principale horizontale recoupée par une fracturation verticale ce qui en fait des aquifères relativement perméables selon la densité et la connectivité des fractures. Finalement, les grès constituent des roches composées majoritairement de grains de quartz. Ils présentent généralement une bonne perméabilité à travers la porosité primaire de la roche.

10.1.5 Piézométrie, recharge et résurgence, vulnérabilité DRASTIC du premier aquifère rencontré

Une représentation de la piézométrie à l'échelle régionale a été réalisée en posant l'hypothèse que l'hydrographie et les données de niveau piézométrique appartiennent à une seule masse d'eau régionale, non circonscrites à l'intérieur des limites des milieux aquifères. La piézométrie régionale a ainsi été obtenue en interpolant l'élévation de l'hydrographie surfacique. La piézométrie est présentée en termes d'élévation ce qui correspond en fait à la charge hydraulique. Les écoulements souterrains, comme les écoulements de surface, sont principalement contrôlés par la gravité, et donc par la différence de charge hydraulique (aussi appelée le

gradient hydraulique). Dans les Hautes-Terres, les élévations de la nappe d'eau souterraine varient entre 83 et 815 m. Ces variations sont moins accentuées dans le piedmont où elles varient entre 50 et 270 m. Dans les Basses-Terres, les élévations de la nappe d'eau souterraine se situent à 110 m d'élévation le long du piedmont pour atteindre 6 m au niveau du fleuve Saint-Laurent. La variation de la charge hydraulique y est donc nettement plus faible ce qui s'explique par la présence d'une topographie moins escarpée. Des élévations sous le niveau moyen des mers (NMM) sont notées au sud de la municipalité de Saint-Barthélemy et sont liées à la présence d'une importante carrière de calcaire. Régionalement, l'écoulement s'effectue des Hautes-Terres vers le fleuve Saint-Laurent. Localement, les écoulements sont orientés vers le creux des vallées des Hautes-terres, et en direction du réseau hydrique principal (rivières Ouareau et l'Assomption, lac Maskinongé, le lac Ourareau et le réservoir Taureau).

La recharge annuelle du milieu souterraine a été calculée en millimètres par année (mm/an) pour des cellules de 250x250m sur l'ensemble du territoire. Les valeurs de la recharge présentées dans le cadre de cette étude sont une moyenne calculée sur 10 ans (2000 à 2009) et sont calculées à partir de la méthode du bilan hydrogéologique.

Sur le territoire de Lanaudière, les apports verticaux annuels moyens estimés à partir des précipitations liquides et solides (modèle de fonte de la neige) varient entre 775 mm/an et 1 000 mm/an, les valeurs annuelles moyenne de l'ETPr varient entre 532 mm/an et 602 mm/an alors que celles du ruissellement annuel moyen varient entre 5 mm/an et 300 mm/an. Les estimations de la recharge annuelle moyenne varient entre 43 mm/an et 412 mm/an. Les zones qualifiées de forte recharge sont celles où la recharge annuelle est estimée supérieure à 250 mm/an. Ces zones sont représentatives des vallées dans les Hautes-Terres et de certains secteurs dans les Basses-Terres.

Les zones de recharge préférentielles ont été cartographiées lorsque plus de 25% des eaux de précipitation atteignent la nappe d'eau. Dans les **Hautes-Terres**, les sites de recharge préférentielle sont situés dans des fonds de vallée, puisque c'est à ces endroits que sont généralement accumulées les plus grandes proportions de sédiments perméables. Dans les **Basses-Terres**, même si la topographie est plane, la présence de l'argile en surface empêche l'infiltration de l'eau des précipitations dans le sol et favorise plutôt le ruissellement. Lorsqu'il y a présence d'une couche de sable en surface, les données quantitatives de recharge sont plus élevées et définissent des zones de recharge préférentielles. La localisation des **zones de résurgence** ou d'affleurement potentiel de la nappe a été déterminée en soustrayant la piézométrie aux valeurs de topographie de surface. Selon cette interprétation, les zones de résurgence correspondent aux secteurs où localement la piézométrie se situe au-dessus de la surface du sol. À l'échelle régionale, les zones de suintement ou de résurgence potentielle sont localisées dans des zones de fortes variations topographiques (ruptures de pente, falaises) et en bordure des cours d'eau. Compte tenu de la méthode utilisée, dans le secteur des **Hautes-Terres**, la hauteur du toit de la nappe se trouve généralement au-dessus de la surface du sol dans les fonds de vallées. Ces fonds de vallée constituent donc des zones de résurgence préférentielle.

Dans le cadre du PACES, le calcul de l'indice DRASTIC a été réalisé à l'échelle régionale à partir d'opérations géomatiques. Le résultat de ces opérations est une donnée matricielle possédant une résolution de 250x250m. La vulnérabilité est présentée pour l'aquifère le plus près de la surface. Les portions de territoire pour lesquelles la vulnérabilité est faible correspondent principalement aux secteurs de hautes élévations où le premier aquifère rencontré est constitué de roc ou de till mince en couverture peu perméable. Les secteurs où la vulnérabilité est moyenne sont retrouvés dans les Hautes-Terres, en bordure de certaines vallées, et dans les Basses-Terres, aux endroits où l'argile est affleurante et où du till en couverture continue est présent. Les secteurs où la vulnérabilité est élevée se trouvent principalement dans le sud des Basses-Terres, soit là où il y a

présence d'une couche de sable perméable en surface, une topographie relativement plane et où la nappe d'eau souterraine est proche de la surface, et dans le fond des vallées des Hautes-Terres où les dépôts de surface perméables sont présents (généralement d'origine fluvioglaciaire). Ces secteurs correspondent d'ailleurs aussi à des zones préférentielles d'infiltration et de recharge. De façon générale, la cartographie de la vulnérabilité des aquifères du territoire est représentative du type de dépôt présent en surface. Améliorer l'estimation de la vulnérabilité dans une zone particulière nécessite, de ce fait, d'améliorer les connaissances sur la dynamique de transfert des eaux de la surface au sous-sol, ce qui requiert des travaux de terrain spécifiques.

10.1.6 Utilisation et qualité de l'eau souterraine

Les 2/3 de l'eau utilisée pour l'ensemble du territoire proviennent d'eau de surface et l'autre 1/3 provient d'eau souterraine. Des 55 municipalités du territoire de Lanaudière, **35 municipalités** approvisionnent en entier ou en partie leur **réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine** ce qui représente **64%** des municipalités du territoire à l'étude. Cet approvisionnement se fait via **96 installations de captage municipal** d'eau souterraine. On compte aussi 7 installations prélevant de l'eau souterraine pour alimenter en eau potable un seul établissement (salle communautaire ou un établissement touristique). Ce dernier type d'installation se retrouve dans les municipalités Saint-Norbert, Joliette, L'Épiphanie, Rawdon, Saint-Michel-des-Saints, Saint-Zénon, Saint-Norbert et Sainte-Julienne. De plus, **100 installations** sous la responsabilité d'un organisme institutionnel (ex. : commission scolaire), privé (ex. : camping privé) ou une entreprise (ex. : club de golf) captent aussi une nappe d'eau souterraine. Quinze (15) municipalités captent un aquifère de roc fracturé et dix-neuf (19) captent un aquifère granulaire. Au total, **23 municipalités** distribuent dans leur réseau une eau souterraine en **nappe captive**. Les municipalités de Saint-Cuthbert et Sainte-Geneviève-de-Berthier ne possèdent pas d'installation de captage d'eau souterraine. Ces deux municipalités n'approvisionnent qu'une partie de leur réseau via une installation de captage d'eau souterraine et cette source d'eau provient des municipalités voisines, en l'occurrence Saint-Barthélemy pour Saint-Cuthbert et Sainte-Élizabeth pour Sainte-Geneviève-de-Berthier. L'eau souterraine de la municipalité de Lanoraie est captée dans l'aquifère de sable de surface à l'aide de plusieurs pointes filtrantes (système unique à Lanaudière). Lors des visites des municipalités à l'été 2018-2019, au moins **8 municipalités** (Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Barthélemy, Saint-Donat, Sainte-Béatrix, Sainte-Julienne, Sainte-Mélanie et Saint-Jacques) sur le territoire de Lanaudière réalisaient ou prévoyaient réaliser une recherche en eau pour pouvoir répondre à la demande croissante. Puisque la municipalité de Saint-Sulpice manque régulièrement d'eau et que ses dernières recherches en eau se sont avérées négatives dû à la présence d'eau salée), son réseau a été raccordé aux réseaux d'aqueduc de Repentigny et de l'Assomption. La municipalité de Lanoraie prévoit des problèmes de quantité d'eau disponible dans un avenir rapproché. Sur le territoire de Lanaudière, une expansion démographique importante de 7.8% est prévue d'ici l'année 2030 ce qui se traduira par une demande plus élevée en eau potable. La proximité de la métropole montréalaise favorise la croissance importante de la population dans les municipalités de l'ouest de Lanaudière.

La moitié de la population de la région de Lanaudière consomme de l'eau souterraine à partir du réseau d'aqueduc municipal ou d'un puits privé. L'eau souterraine distribuée par les réseaux municipaux ou par les puits individuels sert à différents usages qui se divisent en trois catégories : domestique, agricole et industriel-commercial-institutionnel (ICI). Une quatrième catégorie correspond aux pertes dans les réseaux d'aqueduc. Le volume total d'eau souterraine utilisée est estimé à 6 296 592 m³/an dont 56% sont destinés à l'usage domestique, 27% servent à l'usage agricole; 10% servent aux ICI, et 7% correspondent à des fuites dans les réseaux de distribution. Le portrait réalisé dans le cadre du PACES montre aussi que les MRC de L'Assomption,

Matawinie et Montcalm utilisent le quart de l'eau souterraine pour des pourcentages de population de 37%, 15% et 16% respectivement. De plus, les MRC D'Autray et Joliette utilisent 13% des volumes d'eau souterraine prélevés régionalement, et leurs populations correspondent respectivement à 13% et 20% de la population totale.

Un premier portrait de la qualité de l'eau souterraine a aussi été réalisé dans le cadre du PACES. La campagne hydrogéochimique a permis l'échantillonnage de 218 stations (209 puits et 9 sources) sur le territoire. Un contrôle de qualité sur les analyses chimiques a permis de sélectionner **201 échantillons** respectant l'électroneutralité. Parmi eux, **36 dépassements des concentrations maximales** prescrites par le RQEP ou recommandées par Santé Canada ont été identifiés. Les éléments chimiques qui concernent ces dépassements sont : les fluorures (12 dépassements), le plomb (5 dépassements), les nitrites-nitrates (1 dépassement) , le manganèse (17 dépassements) et le strontium (1 dépassement). De plus, parmi les 201 échantillons, **253 dépassements des objectifs esthétiques (OE)** ont été identifiés dont l'aluminium (1 dépassement), les chlorures (8 dépassements), la dureté (21 dépassements), le fer (19 dépassements), la matière dissoute totale (MDT) (41 dépassements), le manganèse (59 dépassements), le sodium (11 dépassements), le pH (74 dépassements), les sulfures (17 dépassements) et la température (2 dépassements). Les échantillons avec le plus grand nombre de dépassements des OE se situent dans les Basses-Terres. Les dépassements des OE des sulfures sont localisés dans la municipalité de Joliette.

10.2 Limites et recommandations pour l'utilisation des livrables du PACES-LAMEMCN

Le projet PACES-LAMECN consiste en l'acquisition de connaissances hydrogéologiques à l'échelle régionale. Ces connaissances se présentent notamment sous forme de données ponctuelles incluses dans la base de données à référence spatiale ou encore sous forme de cartes thématiques grand format à l'échelle 1 : 150 000. Cette section discute des utilisations et des limites de la base de données à référence spatiale, de certaines cartes thématiques et des coupes stratigraphiques.

10.2.1 Base de données géospatiales

La base de données géospatiales PACES section Lanaudière est une photographie dans le temps qui illustre l'état des informations disponibles concernant les eaux souterraines du territoire de Lanaudière. De nouveaux forages, de nouveaux puits ou encore de nouveaux levés géophysiques seront certainement réalisés au cours des années à venir et ont même peut-être déjà été réalisés depuis la récupération des données auprès des ministères, organismes et municipalités. Ces nouvelles données ne se retrouvent donc pas dans la base de données. De plus, certaines données sur le territoire sont manquantes dans la base de données géospatiales simplement parce qu'elles n'ont pu être récupérées. C'est le cas notamment des données appartenant à des entreprises, comme Hydro-Québec, telles les données de sondages géotechniques réalisés pour les postes et les lignes de transport d'électricité ou d'autres infrastructures.

L'information disponible dans la base de données est de précision variable et l'utilisateur doit considérer l'organisme qui a fourni les données originales pour en évaluer la qualité.

Pour faire une utilisation adéquate des informations incluses dans la base de données géospatiales, l'utilisateur doit savoir à quelles informations réfèrent chaque tableau et chacun des champs caractérisant ces tableaux. De ce fait, l'ensemble des métadonnées associées à la base de données doit être consulté avant l'utilisation.

10.2.2 Avertissement et mise en garde applicable à toutes les cartes

Les données d'entrée utilisées pour la création des cartes sont mentionnées sur chacune d'elle à l'intérieur d'un encadré intitulé « Métadonnées ». Pour comprendre de quelles données ou de quelles méthodes résultent les cartes et les coupes stratigraphiques, l'utilisateur doit consulter ces métadonnées ou les protocoles.

Sur chacune des cartes un encadré intitulé « Avertissement et mise en garde » indique les limites d'utilisation des cartes par le texte suivant :

« Cette carte est représentative des conditions régionales à l'échelle 1/150 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attaché ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de cette carte, et ils n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par la carte ou des données y étant rattachées. »

10.2.3 Coupes stratigraphiques

Les 43 coupes stratigraphiques sont construites à partir de données représentatives à des échelles différentes, notamment la carte #12 – Géologie du Quaternaire qui a été faite à une échelle 1 : 50 000 et les stratigraphies des forages pour lesquelles l'information est disponible au centimètre près. Puisque les objectifs des coupes stratigraphiques sont de délimiter les milieux aquifères régionaux et de déterminer l'épaisseur des dépôts sur l'ensemble du territoire, les données sources cartographiques et de forages ont été simplifiées pour ne présenter que deux types de roc (cristallin et sédimentaire) et 6 types de dépôts meubles (till, quaternaire ancien, gravier, sable, argile et dépôts organiques). Ces simplifications permettent d'identifier les principaux contextes stratigraphiques régionaux.

La précision de l'information contenue dans les coupes stratigraphiques dépend de la qualité et de la quantité de l'information stratigraphique disponible. Par conséquent, les coupes stratigraphiques ne remplacent pas les études locales. Aussi, au fur et à mesure que de nouvelles connaissances stratigraphiques seront disponibles, les coupes stratigraphiques pourront être modifiées.

10.2.4 Cartes #15 – Épaisseur des dépôts meubles et #16 – Topographie du roc

L'épaisseur des dépôts meubles est modélisée en partie par l'interpolation de l'épaisseur des dépôts issue principalement des forages virtuels, lesquels sont extraits de chacune des coupes stratigraphiques suivant un pas régulier de 500 m. Par conséquent, l'épaisseur des dépôts résulte d'une estimation qui dépend de l'interprétation et de la précision de l'information stratigraphique de chacune des coupes stratigraphiques. Les cartes de la topographie du roc dépendent de la précision de l'estimation de l'épaisseur des dépôts et donc de la précision des mêmes données sources; ces cartes rencontrent donc les mêmes limites d'utilisation.

La faible quantité d'information sur l'épaisseur des dépôts, principalement dans les zones où ils sont les plus épais, augmente le niveau d'incertitude du modèle de topographie du roc. L'acquisition de nouvelles données est nécessaire dans ces secteurs pour pouvoir améliorer la précision du modèle. De plus, la création de nouvelles coupes stratigraphiques dans des endroits stratégiques comme les vallées ou dans les zones présentant peu

d'informations permettrait de raffiner le maillage des forages virtuels et ainsi augmenter la précision du modèle d'épaisseur des dépôts.

Un autre élément qui permettrait d'améliorer les modèles serait de numériser les principales lignes de fractures (*breaklines*) associées au roc et de les ajouter comme données sources dans l'interpolation. La sélection des données pour diminuer l'effet de grappes des données sources permettrait certainement d'améliorer le modèle dans les zones de forte densité d'information. Les différences risquent cependant d'être peu significatives à une échelle régionale.

Le fait de fixer l'épaisseur des dépôts à la profondeur des forages n'atteignant pas le roc sous-estime l'épaisseur des dépôts à la verticale de ces stations. Les stations où le forage n'atteint pas le roc pourraient être ajoutées comme données sources à l'interpolation de telle sorte que la profondeur du forage corresponde à une épaisseur minimale de dépôts. Ainsi, à proximité de ces stations, l'interpolateur pourra estimer une valeur d'épaisseur supérieure à la profondeur de la station.

10.2.5 Cartes #17 – Contextes hydrogéologiques et #18 – Limites des aquifères régionaux

La cartographie constitue une image de l'état des connaissances hydrogéologiques à un temps donné. La précision des limites des aquifères est de l'ordre du km. De plus, l'ensemble de la méthodologie de découpage des milieux aquifères se base sur une délimitation en termes de potentiel aquifère, de type de perméabilité, de type de porosité et de degré de confinement de la nappe. Il aurait été pertinent de tenir aussi compte des propriétés hydrauliques et hydrogéo-chimiques, mais la faible quantité de données disponibles sur ces aspects ne le permettait pas. De plus, la cartographie n'inclut pas les quantités d'eau disponibles dans les milieux aquifères ni les niveaux piézométriques observés dans les forages et les puits. La carte représente donc la délimitation et la localisation des milieux géologiques avec un potentiel aquifère et non des aquifères réellement présents sur le territoire. Cette carte serait grandement bonifiée en intégrant les charges hydrauliques propres à chacun des aquifères enfouis et en surface. Enfin, la carte des contextes hydrogéologiques représente l'étendue interprétée des milieux aquifères, mais ne reflète pas les épaisseurs propres à chacun de ces milieux. Des cartes thématiques réalisées par contexte hydrogéologique (de A à I) pourraient refléter l'épaisseur des aquifères. L'épaisseur des milieux aquifères peut être appréciée grâce aux coupes stratigraphiques et au diagramme barrière.

Les limites de contextes hydrogéologiques et d'aquifères sont établies à l'échelle régionale. Elles sont de bons indicateurs et permettent de définir des cibles d'investigation futures, mais elles ne peuvent remplacer des études locales spécifiques effectuées par un hydrogéologue et comprenant des forages, des interprétations stratigraphiques ou des essais de pompage réalisés ponctuellement (échelle locale).

10.2.6 Carte #19 – Piézométrie

La piézométrie régionale est estimée à partir des valeurs de cotes issues de l'élévation du réseau hydrographique. Les mesures d'élévation de l'hydrographie de la base de données topographiques du Québec (BDTQ; présentées sous la forme de données linéaires ou surfaciques) sont converties en données ponctuelles à l'aide du logiciel *ArcMap* d'*ArcGIS*, et leur élévation est extraite du modèle numérique d'altitude (MNA). La piézométrie régionale a été obtenue en interpolant l'élévation de l'hydrographie surfacique. L'utilisation unique des points d'élévation hydrographique induit indéniablement un biais dans l'estimation de la surface piézométrique régionale. Dans ce contexte, l'élévation de l'eau souterraine est considérée comme identique à

l’élévation des eaux de surface. Cette méthode est donc discutable d’un point de vue quantitatif (profondeur ou élévation de la nappe).

10.2.7 Carte #21 – Paramètres hydrogéologiques

Parmi les données disponibles, certaines ont été jugées non représentatives, notamment les données obtenues à la suite de l’analyse d’essais de pompage simultanés et en interférence, et d’essais de pompage suivant la réhabilitation d’un puits, le développement ou le réaménagement d’un puits. Les deux derniers cas informent sur la capacité spécifique qui caractérise davantage l’ouvrage de captage que le milieu hydrogéologique. De plus, les données pour lesquelles il n’y a pas d’information sur le type de milieu hydrogéologique capté (granulaire ou socle rocheux fracturé) ont également été retirées.

Aussi, pour plusieurs des puits d’observation, la base de données géospatiales contient plus d’une valeur pour une même propriété hydraulique. Afin d’associer une seule valeur par paramètre pour un puits donné, sachant que ces valeurs se situent dans le même ordre de grandeur, la moyenne arithmétique de chaque paramètre a été estimée et utilisée.

De ce fait, les valeurs extrêmes (minimum et maximum) peuvent représenter la précision des interprétations et non la valeur du paramètre considéré. Régionalement, il est donc conseillé d’analyser en priorité les valeurs moyennes et médianes de chaque paramètre. Pour les mêmes raisons, la caractérisation hydrogéologique quantitative des paramètres hydrauliques des aquifères ne présente pas d’analyse de la variation spatiale de ces paramètres, mais plutôt un portrait statistique des valeurs moyennes pour un environnement donné.

10.2.8 Carte #22 – Vulnérabilité des aquifères selon la méthode DRASTIC

L’indice de vulnérabilité calculé selon la méthode DRASTIC s’applique au premier milieu aquifère rencontré à partir de la surface des terrains. Un milieu aquifère correspond à un milieu dont les propriétés sont favorables à l’écoulement de l’eau souterraine, que ce milieu contienne de l’eau ou non. Dans certaines situations, il arrive que la vulnérabilité soit estimée pour un milieu aquifère moins important et moins vulnérable, alors qu’un milieu aquifère à plus fort potentiel et plus vulnérable est situé juste en dessous; c’est le cas notamment d’un dépôt de till qui recouvre un roc calcaire. La vulnérabilité à elle seule ne comporte pas de notion de risque pour laquelle il est nécessaire d’identifier un aléa, soit une activité anthropique ou une condition naturelle qui pourrait altérer la qualité de l’eau souterraine.

L’indice de vulnérabilité selon la méthode DRASTIC résulte de la combinaison de plusieurs données cartographiques disponibles, dont la profondeur du toit de la nappe qui a le poids le plus élevé (5), la recharge qui a un poids de 4 et l’impact de la zone vadose qui a également un poids élevé de 5. Ces trois paramètres influencent de façon significative la valeur de l’indice de vulnérabilité. Deux de ces paramètres dépendent de la profondeur du toit de la nappe extraite de la carte piézométrique obtenue par interpolation et dont le résultat indique des profondeurs importantes aux variations brusques de topographie (rupture de pente), souvent à proximité des cours d’eau. Ceci reflète un manque de cohérence avec le postulat qui indique que chaque cours d’eau correspond à un affleurement de la nappe.

Plusieurs intrants de la méthode DRASTIC utilisent ou sont issus d’une donnée commune, notamment la carte #12 – *Géologie du Quaternaire*. En effet, cette carte est utilisée pour 1) estimer le ruissellement dans le calcul de la recharge, 2) identifier le premier aquifère rencontré, 3) identifier le type de sol qui est issu d’une reclassification de cette carte et 4) caractériser le milieu correspondant à la zone vadose. Par conséquent, la

carte #12 – *Géologie du Quaternaire* contrôle l'indice de vulnérabilité qui pourrait presque correspondre à une reclassification de cette carte.

Plusieurs autres méthodes d'estimation de la vulnérabilité peuvent être adoptées. Il serait fort intéressant de réaliser un projet comparatif de l'estimation de la vulnérabilité obtenue avec différentes méthodes. Cet exercice permettrait une analyse plus objective des résultats présentés sur la carte #22 – *Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface*.

10.2.9 Carte #23 – Activités potentiellement polluantes

La densité des activités potentiellement polluantes a été obtenue à partir d'une classification des activités telles qu'elles apparaissent dans les Codes d'utilisation des biens-fonds (CUBF). Bien qu'un effort remarquable ait été réalisé pour classifier l'impact potentiel sur l'eau souterraine des activités apparaissant dans les CUBF, toutes les activités n'apparaissent pas dans ces codes. Aussi, la nature des activités peut contribuer à évaluer les impacts potentiels sur l'eau souterraine. De plus, beaucoup d'autres sources de pollution ne sont pas considérées parmi ces activités. C'est pourquoi l'impact potentiel sur l'eau souterraine doit être évalué à partir de visites sur les sites afin de considérer toutes les sources de contamination potentielle.

Bien que les activités anthropiques puissent représenter un aléa qui pourrait altérer la qualité de l'eau souterraine, elles doivent être mises en relation avec la vulnérabilité pour identifier ou estimer un risque potentiel. Ainsi, une activité peut avoir un impact potentiel élevé sur l'eau souterraine, mais présenter un faible risque si elle ne se situe pas dans une zone vulnérable.

10.2.10 Cartes #24 – Qualité (critères eau potable) et #25 – Qualité (objectifs esthétiques)

Les paramètres caractérisant la qualité de l'eau dans le cadre du projet PACES sont essentiellement de caractères physique et chimique. Toutefois, les paramètres analysés sont incomplets pour qualifier la potabilité de l'eau. En effet, parmi les paramètres chimiques les cyanures et le mercure n'ont pas été analysés et aucun paramètre microbiologique n'a été analysé. Ainsi, même si certains puits ne présentent pas de dépassement pour les paramètres analysés, ils pourraient en présenter pour les paramètres qui n'ont pas été analysés.

Aussi, la qualité de l'eau est variable dans le temps. Par conséquent, un suivi de la qualité de l'eau est recommandé pour l'eau souterraine captée par les puits individuels, comme pour les puits desservant une communauté.

10.2.11 Carte #26 – Utilisation de l'eau

L'estimation de l'utilisation de l'eau, tant de surface que souterraine, a été obtenue à partir de données disponibles tels que les volumes d'eau prélevés annuellement par les réseaux municipaux et les grands préleveurs (plus de 75 m³/jour). Les valeurs estimées reposent aussi sur un certain nombre d'hypothèses, notamment :

- la consommation domestique journalière par individu estimée à 250 l/jour;
- la consommation journalière par tête pour différents élevages, laquelle provient de chartes du MAPAQ;
- le pourcentage de pertes d'eau dans les réseaux de distribution estimé à 20%. Ce pourcentage correspondant à l'objectif visé par la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable du MAMH; cette valeur de 20% représente donc fort probablement une sous-estimation du pourcentage réel de perte.

Pour obtenir une estimation plus précise des quantités d'eau utilisées, des sondages et des études devraient être menés. L'ajout de compteurs d'eau localisés de façon stratégique sur le réseau et à la tête des puits municipaux ou collectifs permettrait également de préciser les volumes d'eau utilisée au quotidien ou sur une base annuelle.

10.2.12 Carte #28 – Zones de recharge préférentielles et de résurgence

Les zones où la recharge annuelle estimée est supérieure à 250 mm sont considérées des zones de forte recharge. Cette valeur est arbitraire et elle représente environ 25% des précipitations annuelles. Les zones de recharge préférentielle quant à elles correspondent aux limites des milieux aquifères de dépôts meubles présents en surface desquelles ont été soustraites les zones affichant un ratio inférieur à 25% des précipitations annuelles converties en recharge.

Les zones de résurgence ou d'affleurement potentiel de la nappe ont été déterminées par la soustraction de la piézométrie aux valeurs de topographie de surface. Ces zones correspondent aux secteurs où localement la piézométrie interprétée se situe au-dessus de la surface du sol. Par conséquent, les limitations applicables à la carte piézométrique s'appliquent également à la détermination de ces zones.

10.3 Recommandations pour l'amélioration des connaissances hydrogéologiques pour le territoire de Lanaudière

Les résultats du PACES constituent les connaissances hydrogéologiques du territoire municipalisé des MRC D'Autray, Matawinie, Montcalm, L'Assomption et Joliette. Ces connaissances résultent d'informations locales obtenues à des stations disséminées sur le territoire; leur intégration régionale repose sur des estimations et des interprétations permettant des interpolations entre les stations d'observation. La qualité des connaissances hydrogéologiques à l'échelle régionale dépend donc en grande partie de la qualité et de la quantité de données disponibles à l'échelle locale.

Cette section formule 12 recommandations et propositions d'actions pour l'acquisition de nouvelles données dans le but d'améliorer les connaissances visant à protéger et à valoriser la ressource « Eau souterraine ».

10.3.1 Estimations et suivi de la qualité des eaux souterraines

La chimie et, par extension, la qualité des eaux souterraines sont des enjeux majeurs du XXI^{ème} siècle, puisqu'elles conditionnent la potabilité et de ce fait l'utilisation du terme « ressource » pour désigner les eaux souterraines. Les campagnes de levés géochimiques du PACES ont ainsi révélées que l'eau d'un certain nombre de puits individuels présente des dépassements de normes de potabilité. Or, aucun suivi n'est présentement effectué sur la géochimie de l'eau et sa variation dans le temps. Aussi les mécanismes d'acquisition des caractéristiques chimiques ou minérales des eaux souterraines de cette région sont encore inconnus.

De plus, les travaux du PACES portent essentiellement sur les caractéristiques chimiques des eaux souterraines, mais leur potabilité dépend également de leurs compositions bactériologiques et virologiques. Actuellement ce type de suivi est facilité sporadiquement par des organismes de bassin versant sur une base volontaire, mais il devrait être développé de façon plus systématique. L'amélioration des connaissances sur la chimie et la qualité des eaux souterraines est donc une problématique majeure d'intérêt scientifique, mais également un devoir moral sociopolitique lié à la Santé publique.

Dans les Basses-Terres, les pratiques agricoles et les importantes surfaces cultivées rendent les aquifères de surface qui sont situés dans les sables indifférenciés de surface (deltaïques, littoraux, etc.) susceptibles d'être contaminés par des produits agricoles tels que les pesticides et les engrais. Le seul dépassement des CM en nitrites et nitrates qui a été observé pendant les campagnes hydrogéochimiques de 2019 à 2021 a été observé dans les Basses-Terres.

Enfin, lors d'un pompage de l'eau souterraine, il est possible d'observer des variations chimiques de l'eau souterraine. Ainsi, deux échantillons récoltés à des temps différents peuvent montrer une chimie très différente. Il est donc important d'apporter un regard critique sur le protocole d'échantillonnage de l'eau souterraine, voir éventuellement, ajuster le protocole d'échantillonnage proposé dans le cadre des projets PACES. Le projet de maîtrise de Mme Perron-Desmeules (en cours de réalisation) se propose d'investiguer les variations chimiques de l'eau souterraine lors de la purge d'un puits.

Recommandation 1: Sensibiliser les citoyens s'alimentant en eau potable à partir d'un puits privé sur l'importance d'effectuer des suivis de la chimie de leur eau.

Recommandation 2: Appui aux campagnes d'échantillonnage et d'analyse bactériologique de l'eau des puits d'eau souterraine menées par les OBV et ajout des nitrites-nitrates dans les paramètres analysés régulièrement.

Recommandation 3 : Sensibiliser la population à des pratiques agricoles moins gourmandes en produits phytosanitaires et en engrais chimiques.

10.3.2 Estimation et suivi de la quantité des eaux souterraines

Les eaux souterraines font partie d'un grand cycle hydrologique naturel facilement impacté par des activités anthropiques. L'estimation de la quantité d'eau souterraine en circulation ou en stockage dans les réservoirs souterrains ne peut donc s'effectuer que par l'acquisition de données de façon continue et pérenne notamment sur les aspects suivants :

1. météorologie et hydrométrie;
2. stratigraphie des terrains;
3. piézométrie;
4. extraction et utilisation de l'eau souterraine.

Réseau de suivi météorologique et des changements climatiques

Les quantités d'eau de précipitations et leurs variations au cours du temps représentent le premier facteur d'importance dans l'estimation des volumes d'eau souterraine. Elles conditionnent l'intégralité du cycle de l'eau : plus il pleut, plus les niveaux et les volumes d'eau souterraine sont élevés. Ainsi le Service de l'information du milieu atmosphérique (SIMAT) à la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSÉE) du MELCC possède un grand nombre de stations constituant un réseau de suivi climatique dont les données sont traitées par la direction de l'expertise hydrique (DEH). Toutefois, les conditions météorologiques sont d'une grande variabilité spatiale et ce réseau devrait être densifié pour permettre une estimation continue et plus exacte de ces variations.

Quant aux changements climatiques, leurs effets sur les quantités d'eau souterraine peuvent être détectés par un réseau de piézomètres judicieusement localisés sur le territoire et soumis à des mesures de niveau d'eau.

Seulement cinq piézomètres de ce type sont implantés actuellement sur le territoire de Lanaudière dans le cadre du plan d'action sur les changements climatiques du MELCC.

Recommandation 4: Optimisation et densification des réseaux de suivi météorologique, hydrogéologique pour documenter l'impact des changements climatiques.

Acquisition de données stratigraphiques

On ne peut quantifier un volume d'eau souterraine sans connaître les volumes du sol et du sous-sol qui contiennent cette eau. Or, l'état des connaissances stratigraphiques pour la région de Lanaudière est encore limité. Les mécanismes de mise en place des dépôts meubles quaternaires sont très complexes; ces dépôts nécessiteraient des études plus poussées et un grand nombre de forages pour être caractérisés.

Une campagne provinciale de forages stratigraphiques serait très intéressante, mais financièrement discutable. De façon plus pragmatique, il serait préférable d'envisager un système de recensement ou de déclaration obligatoire des forages réalisés dans un contexte privé comme il se fait déjà pour les forages réalisés dans le cadre municipal.

Recommandation 5: Déclaration obligatoire auprès des organismes gouvernementaux des forages réalisés autant dans le cadre privé que gouvernemental et municipal.

Acquisition de données piézométriques

Comme il est souvent mentionné, les eaux souterraines sont soumises à un écoulement dynamique et continu, elles ne sont pas statiques. La connaissance du niveau des nappes, quotidienne ou hebdomadaire, permettrait à long terme d'évaluer plus précisément les volumes d'eau disponibles, mais également les modifications saisonnières des écoulements souterrains. Un tel système de surveillance du niveau des eaux souterraines permettrait également aux municipalités exploitantes de prévoir ou d'anticiper d'éventuelles baisses d'approvisionnement en eau potable.

Recommandation 6: Densifier le réseau de suivi des eaux souterraines du Québec (RSEQ).

Acquisition de données sur l'utilisation des eaux souterraines

L'objectif d'une gestion durable de la ressource en eaux souterraines ne peut être atteint sans une évaluation de l'impact de l'exploitation des eaux souterraines. Cette évaluation doit prendre en compte l'intégralité des quantités d'eau prélevée ou ajoutée. Dans la pratique, l'estimation exacte de ces quantités n'est possible qu'à l'aide de compteurs d'eau placés à la sortie des puits privés et avant chaque consommateur raccordé à un réseau municipal. Dans le cadre d'un réseau municipal, ce type d'installation a le double avantage de fournir une mesure précise des consommations, mais également, par soustraction des volumes prélevés, d'évaluer et possiblement de minimiser les pertes le long du réseau d'adduction.

Recommandation 7: Mise en place d'un système permettant d'estimer les quantités d'eau prélevée.

Centralisation et valorisation des données hydrogéologiques

L'ensemble des quatre années d'études dans le cadre du projet PACES a permis la compilation et l'interprétation des données existantes sur les eaux souterraines, pour obtenir un premier portrait des connaissances hydrogéologiques sur le territoire de Lanaudière en 2022.

La collecte de données relatives aux eaux souterraines doit se poursuivre dans le futur, notamment par les associations, les municipalités, les entreprises et par les organismes gouvernementaux. Le défi réside dans la mise en place de mécanismes permettant d'assurer le suivi et le maintien des données hydrogéologiques dans une base de données à jour.

Recommandation 8: Mise en place de mécanismes permettant d'assurer le maintien et la mise à jour en continu des données hydrogéologiques dans une base de données centralisées.

Recommandation 9: Mise en place de dispositions permettant d'assurer l'interprétation des données hydrogéologiques pour un maintien et une amélioration des connaissances régionales sur les eaux souterraines.

10.3.3 Assurer la pérennité de la ressource

L'aménagement du territoire et la gestion des eaux souterraines devraient prendre en compte l'ensemble des informations de la base de données colligées dans le cadre du PACES ainsi que les cartes qui les présentent, ceci afin d'assurer la pérennité et la protection de la ressource en eau. Par exemple, la carte des contextes hydrogéologiques (qui représente l'étendue latérale des milieux aquifères) combinée aux coupes stratigraphiques (qui représentent l'épaisseur des milieux aquifères) permet d'estimer les dimensions des milieux aquifères à l'échelle régionale et aide ainsi de jauger les capacités des différents réservoirs.

L'utilisation combinée des différentes cartes (carte de vulnérabilité, carte des zones préférentielles de recharge, carte de l'occupation du sol, carte de la position des rivières et des milieux humides, etc.) permet une vision intégrée et ainsi d'exercer une saine gestion de la ressource en eau souterraine.

Une augmentation démographique de 7,8% est prévue d'ici 2030 dans le sud du territoire (Bellehumeur, 2020). La hausse croissante de la démographie et l'augmentation de résidences secondaires (chalets, maisons secondaires) constituent une pression sur la ressource en eau souterraine, notamment en été où les résidences secondaires sont généralement occupées. Cette pression se fait déjà sentir dans certaines municipalités les plus proches de métropole de Montréal et pourrait devenir un enjeu pour certaines municipalités. Le stress sur la ressource en eau concerne à la fois les installations individuelles et les municipalités.

- La qualité de la ressource est notamment mise à risque par l'augmentation du nombre de chalets qui sont souvent éloignés des agglomérations et qui peuvent être installés à proximité de milieux vulnérables (lac, rivières, milieux humides). Chacun de ces chalets doit disposer de son propre puits et de sa propre installation septique individuelle, laquelle constitue une source de contamination potentielle.
- La quantité de la ressource disponible pour les municipalités est aussi mise à risque. Au moins 8 municipalités (Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Barthélemy, Saint-Donat, Sainte-Béatrix, Sainte-Julienne, Sainte-Mélanie et Saint-Jacques) sur le territoire de Lanaudière réalisent actuellement ou prévoient réaliser une nouvelle recherche en eau afin de répondre à la demande croissante en eau potable. Des municipalités telles que Saint-Lin-Laurentides présentent déjà des difficultés en termes de quantité d'eau.

Recommandation 10: Une gestion de la ressource inter-MRC pourrait aider à instaurer une « solidarité hydrique » entre les municipalités et pallier le manque d'eau de certaines agglomérations.

Recommandation 11: Inciter la mise en commun des installations (alimentation en eau potable et fosses septiques) des petits hameaux composés de chalets en milieux éloignés.

10.4 Recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine

L'amélioration des connaissances sur les eaux souterraines permettra une valorisation et une meilleure protection de la ressource en eau. Cette valorisation et cette protection doivent toutefois s'inscrire dans une perspective de développement durable de la ressource, ce qui nécessite une gouvernance et une gestion cohérente et concertée. Afin de structurer une gouvernance efficiente, il est important de définir les différents intervenants dans la gestion des eaux souterraines.

10.4.1 Les producteurs de données

La production de données sur les eaux souterraines est réalisée quotidiennement tant dans le secteur public que privé. Annuellement, un grand nombre d'études sont ainsi réalisées chaque année par des consultants ou des organismes publics pour répondre aux besoins scientifiques, réglementaires ou environnementaux. Ces producteurs de données incluent les suivants :

- entreprises de forages ;
- consultants, notamment en hydrogéologie, géologie, environnement et en géotechnique;
- municipalités ;
- universités ;
- OBNL.

Cette liste est non-exhaustive et peut être complétée suivant les organismes d'intérêt existants dans chaque région.

10.4.2 Les gestionnaires de données

La gestion des données est réalisée depuis 4 ans par le CERM de l'UQAC dans le cadre du projet PACES-LAMEMCN. Le mandat du CERM en ce sens a pris fin le 31 mars 2022. Il est donc important de se pencher sur la suite à donner au projet PACES en ce qui concerne le stockage et la gestion des données récemment acquises. Ce sont les objectifs visés par la **recommandation 8** et la **recommandation 9**.

10.4.3 Les diffuseurs de la donnée

Une saine gestion et valorisation de la ressource en eau passe également par un système de communication publique des connaissances, pour former, informer et sensibiliser le public et les utilisateurs des données hydrogéologiques. Les organismes de bassin versant (OBV) présents sur le territoire de l'est de la Mauricie jouent actuellement un rôle dans la sensibilisation des intervenants et la diffusion des informations sur l'eau. Le réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES) réalise des ateliers de transfert des connaissances acquises au cours des PACES qu'il diffuse ensuite sur leur site web accompagné de notions hydrogéologiques de base et des faits saillants de chacun des PACES. Le gouvernement du Québec diffuse les données PACES sur sa plateforme de partage de données ouvertes *Données Québec* ou encore diverses informations via son *Portail des connaissances sur l'eau* (PCE).

10.4.4 La concertation

Dans une perspective de développement régional, il est important de souligner l'intérêt de la concertation pour une gouvernance éclairée d'une ressource aussi importante que les eaux souterraines. Cette concertation devrait regrouper l'ensemble des intervenants mentionnés ci-dessus ainsi que les ministères concernés afin de

définir les cadres réglementaires et les grandes orientations régionales pour une meilleure gestion de la ressource.

La gestion de la ressource en eau souterraine relevé de différents organismes. Le ministère gère la ressource en eau en émettant des autorisations de prélèvements de la ressource. De leur côté, les municipalités et MRC développent et aménagent le territoire avec la responsabilité de protéger la ressource en eau souterraine. Enfin, les OBV ont des mandats de concertation et de sensibilisation.

Recommandation 12: Mise sur pied d'un comité rassemblant plusieurs entités ayant un intérêt pour l'eau souterraine et l'aménagement du territoire, dont l'objectif serait la mise à jour de la base de données sur les eaux souterraines et les milieux aquifères de la région, ainsi que la diffusion et l'utilisation efficiente des données et des cartes produites dans le cadre du PACES.

Le schéma de la figure 10-1 illustre une structure de gestion de l'eau souterraine applicable régionalement. Le territoire de Lanaudière devrait avoir à sa disposition les ressources humaines et matérielles pour supporter les MRC et les OBV dans la gestion des données et l'orientation d'interventions portant sur les eaux souterraines. Une telle structure de gestion permettrait une bonne gouvernance des eaux souterraines à l'échelle régionale.

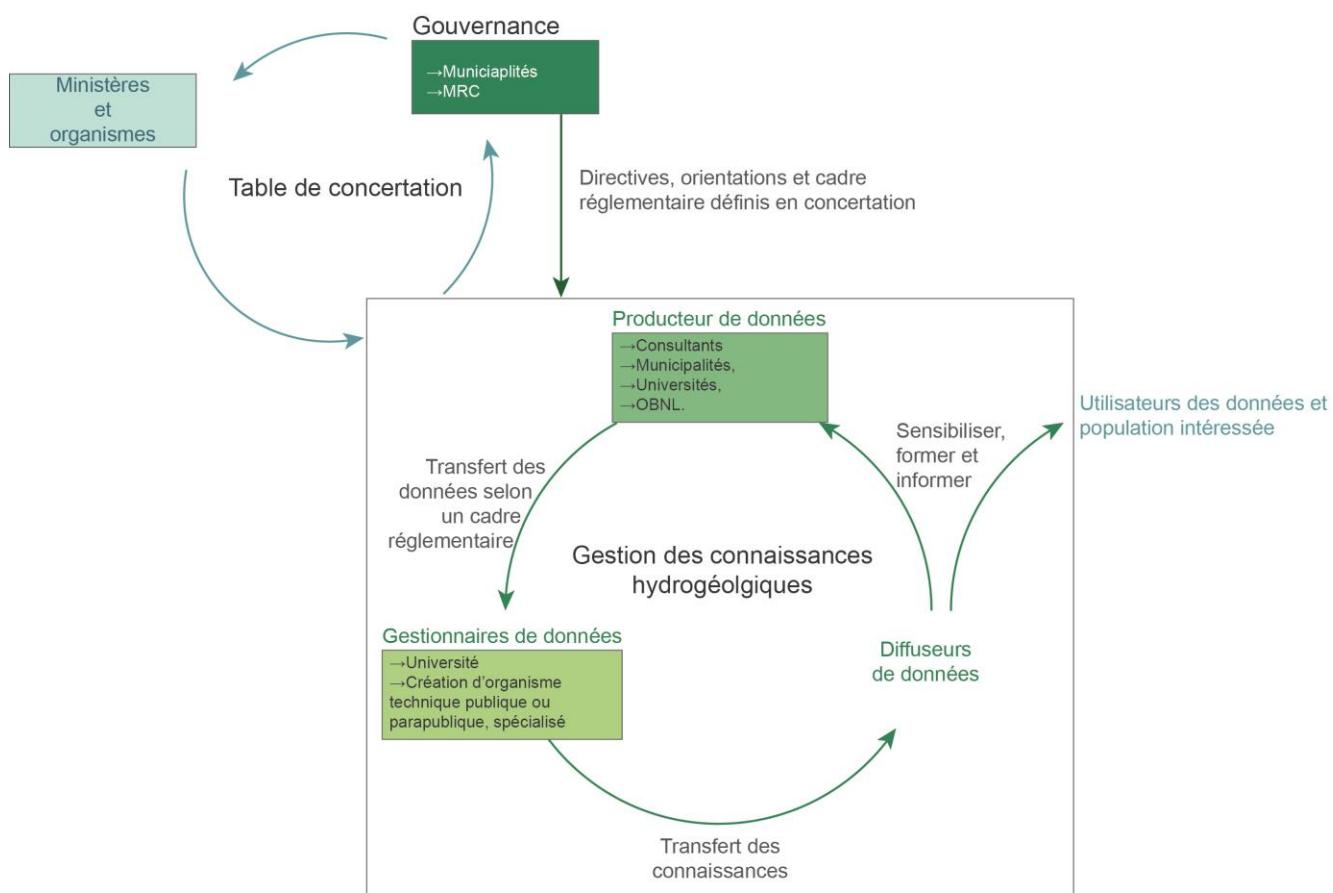


Figure 10-1 : Proposition de structure de gestion régionale de la ressource en eau souterraine.

BIBLIOGRAPHIE

- Abi, A., Walter, J., Saeidi, A. et Chesnaux, R. (2022). A cluster-based multiparametric similarity test for the compartmentalization of crystalline rocks into structural domains. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, qjegh2021-136. <https://doi.org/10.1144/qjegh2021-136>
- Aller, L., Bernnett, T., Lejr, J., Petty, R. et Hackett, G. (1987). *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings* (EPA-600/2-87-035) [Research and Development]. National Water Well Association.
- Beaudry, C., Lefebvre, R., Rivard, C. et Cloutier, V. (2018). Conceptual model of regional groundwater flow based on hydrogeochemistry (Montérégie Est, Québec, Canada). *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 43(2), 152-172. <https://doi.org/10.1080/07011784.2018.1461579>
- Bédard, J. (1971). *Carte géologique de la région de Cartier-Tracy, comtés de Montcalm, Joliette et Berthier (Carte du rapport géologique No 147)* Échelle : 1/63 360. Ministère des richesses naturelles.
- Béland. (1953). *Geology of the Shawinigan map-area, Champlain and St-Maurice Counties, Québec*, [Ph.D., Princeton university].
- Béland, R. (1958). *Carte géologique de la région de Saint-Gabriel-de-Brandon, municipalités de Joliette, Berthier et Maskinongé (Carte du rapport géologique No 133)* Échelle : 1/63 360. Ministère des richesses naturelles.
- Béland, R. (1959). *Carte géologique de la région de Rawdon, districts électoraux de Joliette et Montcalm (Carte du rapport géologique No 92)* Échelle : 1/63 360. Ministère des mines.
- Bellavance, D. (2012). *Synthèse des événements quaternaires dans les Basses-Terres du Saint-Laurent*. Développement durable, Environnement et Parcs, Provinde de Québec.
- Bellehumeur, P. (2020). *Combien serons-nous en 2030? Projections de la population de Lanaudière, Janvier 2020*. Service de surveillance, recherche et évaluation, Direction de santé publique du Québec.
- Benítez, L. M. (2005). *Deutsch: Glaziale Landschaftsformen*. . Translation of Image:Receding glacier-en.svg. Image renamed from Image:Receding glacier FR Glacier en recul.svg This W3C-unspecified vector image was created with CorelDRAW. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Receding_glacier-fr.svg
- Bisson, J. et Roberge, F. (1983). Prévisions des apports naturels: Expérience d'Hydro-Québec. Workshop on flow predictions. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE),.
- Boumaiza, L., Walter, J., Chesnaux, R., Lambert, M., Jha, M. K., Wanke, H., Brookfield, A., Batelaan, O., Galvão, P., Laftouhi, N. et Stumpp, C. (2022). Groundwater recharge over the past 100 years: Regional spatiotemporal assessment and climate change impact over the SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN region, Canada. *Hydrological Processes*, 36(3). <https://doi.org/10.1002/hyp.14526>
- Bourdet, D., Ayoub, J. A. et Pirard, Y. M. (1989). Use of pressure derivative in well test interpretation. *SPE Formation Evaluation*, 4(2), 293-302. <https://doi.org/10.2118/12777-PA>
- Budyko, M. I. (1974). *Climate and life* (vol. 18). Academic Press.

- Buteau, P. (1989). *Atlas des tourbières du Québec méridional* Échelle : 1/250 000. Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources, Direction générale de l'exploration géologique et minérale.
- Castonguay, S., Dietrich, J., Shinduke, R. et Laliberté, J.-Y. (2006). *Nouveau regard sur l'architecture de la Plate-forme du Saint-Laurent et des Appalaches du sud du Québec par le retraitement des profils de sismique réflexion M-2001, M-2002 et M-2003* [Dossier Public 5328, 19p, 2 feuillets]. Commission géologique du Canada.
- CEP. (2020). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - tableau sommaire / préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé* (H129-24F-PDF). Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable. publications.gc.ca/pub?id=9.503820&sl=1
- CERM-PACES. (2013). *Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région Saguenay-Lac-Saint-Jean*. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.
- CERM-PACES. (2015). *Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines des territoires municipalisés de Charlevoix, de Charlevoix-Est et de La Haute-Côte-Nord*. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.
- Chapuis, R. P. et Saucier, A. (2013). A Leaky Aquifer below Champlain Sea Clay: Closed-Form Solutions for Natural Seepage. *Groundwater*, 51(6), 960-967. <https://doi.org/10.1111/gwat.12023>
- Chesnaux, R., Lambert, M., Walter, J., Dugrain, V., Rouleau, A. et Daigneault, R. (2017). A simplified geographical information systems (GIS)-based methodology for modeling the topography of bedrock: illustration using the Canadian Shield. *Applied Geomatics*, 9(1), 61-78. <https://doi.org/10.1007/s12518-017-0183-1>
- Clark, T. H. (1954). *Région des Laurentides (moitié Est): manuscrit inédit*. Ministère des mines.
- Clark, T. H. et Globensky, Y. (1976a). *Carte géologique de la région de Sorel et la partie sud-est de Saint-Gabriel-de-Brandon, districts électoraux de Berthier, Joliette, Richelieu et Maskinongé* Échelle : 1/63 360. Ministère des richesses naturelles, Direction générales des mines.
- Clark, T. H. et Globensky, Y. (1976b). *Région de Sorel (RG 155)* [Rapport géologique]. Ministère des Richesses naturelles.
- Comeau, F.-A., Bédard, K. et Malo, M. (2013, juin). *Lithostratigraphie standardisée du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent basée sur l'étude des diagraphies : Rapport final*. (INRS CO2-2013-V1.4). INRS, Centre Eau, Terre et Environnement. <http://espace.inrs.ca/1645/>
- Cronshey, R. (1986). *Urban hydrology for small watersheds* (Technical Release 55) [TR-55]. Soil Conservation Service, Engineering Division.
- Daigneault, R.-A. et Occhietti, S. (2006). Les moraines du massif Algonquin, Ontario, au début du Dryas récent, et corrélation avec la Moraine de Saint-Narcisse. *Géographie physique et Quaternaire*, 60(2), 103-118. <https://doi.org/10.7202/016823ar>
- Deblois, R. (1959). *Renseignement concernant les puits forés pour le gaz et le pétrole dans la région des Basses Terres du Saint-Laurent* (S-49).

- Denis, R. (1972). *Géologie du Quaternaire de la région de Saint-Gabriel-de-Brandon (Moitié est); comté de Maskinongé, Berthier et Saint-Maurice* (DP-65). Ministère des Richesses naturelles.
- Denis, R. (1976a). *Carte géologique de la région de Saint-Grabriel-de-Brandon, districts électoraux de Berthier, Joliette, Maskinongé et Saint-Maurice (carte du rapport géologique N 168)* Échelle : 1/63 360. Ministère des richesses naturelles, Direction générales des mines.
- Denis, R. (1976b). *Rapport géologique de la région de Saint-Gabriel-de-Brandon* (168). Ministère des richesses naturelles.
- Ducruc, J.-P., Tingxian, L., Bissonnette, J. et Direction du patrimoine écologique et du développement durable. (2000). *Aires protégées au Québec: les provinces naturelles: niveau I du cadre écologique de référence du Québec* (2. éd). Direction du patrimoine écologique et du développement durable du Ministère de l'environnement du Québec.
- Dugrain, V. (2011). *Utilisation d'ArcGIS pour l'interpolation du socle rocheux – Mise en place d'une méthodologie et application à la région du Saguenay – Lac Saint-Jean (Québec, Canada)* [Rapport de TFE]. Cycle Ingénieur de l'Ecole nationale des sciences géographiques.
- Faure, S., Tremblay, A. et Malo, M. (2004). Reconstruction of Taconian and Acadian paleostress regimes in the Quebec and northern New Brunswick Appalachians. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41(5), 619-634. <https://doi.org/10.1139/e04-020>
- Ferroud, A. (2018). *Analyse des dimensions d'écoulement et caractérisation hydrodynamique des aquifères complexes : du pompage à l'interprétation diagnostique* [Ph.D., Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)].
- Fleury, M. (2008). *Paléogéographie quaternaire de la région de Saint-Michel-des-Saints : cartographie, stratigraphie et sédimentologie* [Mémoire accepté]. <https://archipel.uqam.ca/1700/>
- Fornés, J. M., Hera, Á. la et Llamas, M. R. (2005). The silent revolution in groundwater intensive use and its influence in Spain. *Water Policy*, 7(3), 253-268. <https://doi.org/10.2166/wp.2005.0016>
- Freeze, A. R. et Cherry, J. A. (1979). *Groundwater* (1^{re} éd.). Prentice Hall.
- Girard, F. (2001). *Architecture et hydrostratigraphie d'un complexe morainique et deltaïque dans la région de Saint-Raymond de Portneuf, Québec*. [masters, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique]. <http://espace.inrs.ca/1560/>
- Globensky, Y. (1985). *Carte géologique des basses-terres du Saint-Laurent (Carte N 199 du rapport MM 85-02)* Échelle : 1/250 000. Ministère de l'énergie, des mines et des ressources, Ottawa.
- Globensky, Y. (1987). *Géologie des Basses-terres du Saint-Laurent* (MM 85-02) [carte 1999 (échelle 1:250 000)]. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. <http://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/MM8502/>
- Grenier, C. et Denis, R. (1974). Etude hydrogeomorphologique dans la region du Lac MaskinongC, QuCbec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 11(6), 733.
- Hardy, F., Daigneault, R.-A., Milette, S., Kenny, C.-A., Robitaille, A., Raymond, H., Lefebvre-Fortier, C., Desrochers, C., Imbeault, A., Roy, M. et Lamothe, M. (2018, mai). *Cartographie des formations superficielles*

cielles de la région de Lanaudière - Territoire couvert par les feuillets cartographiques SNRC 31I04, 31I05, 31I06, 31I11, 31I12, 31I13, 31J09 et 31J16 (MB 2018-43). Université du Québec à Montréal.

Hawkins, R. H., Jiang, R., Woodward, D. E., Hjelmfelt, A. T. et Van Mullem, J. A. (2002). Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio. Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference.

Hocq, M. et Ministère des ressources naturelles. (1994). *Géologie du Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère des ressources naturelles.

Konstantinovskaya, E. A., Rodriguez, D., Kirkwood, D., Harris, L. B. et Theriault, R. (2009). Effects of Basement Structure, Sedimentation and Erosion on Thrust Wedge Geometry: An Example from the Quebec Appalachians and Analogue Models. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 57(1), 34-62. <https://doi.org/10.2113/gscpgbull.57.1.34>

Konstantinovskaya, E. et Malo, M. (2010a). *Lithostratigraphie et structure des Basses-terres du Saint-Laurent dans les régions de Joliette, de Trois-Rivières et de Nicolet (étude du terrain)* (INRSCO2-2010-V2.2). Institut national de la recherche scientifique, Centre, Eau, Terre, Environnement.

Konstantinovskaya, E. et Malo, M. (2010b). *Lithostratigraphie et structure des Basses-terres du Saint-Laurent dans les régions de Joliette, de Trois-Rivières et de Nicolet (étude du terrain)* (INRSCO2-2010-V2.2). Institut national de la recherche scientifique, Centre, Eau, Terre, Environnement.

Lacasse, K. (2013). *Caractérisation géochimique et isotopique des aquifères du Sud-Ouest de la Mauricie* [MSc., Université du Québec à Trois-Rivières].

Lamarche, L., Garneau, M., Lamothe, M., Larocque, M., Loisel, J., Pellerin, S., Richard, P. J. H., Rosa, É. et van Bellen, S. (2006). Histoire holocène de la région de Lanoraie-lac-Saint-Pierre. Excursion du 8 juin 2006. Réunion annuelle de l'AQQUA, Association Québécoise pour l'étude du Quaternaire.

Larocque, M., Gagné, S., Tremblay, L. et Meyzonnat, G. (2013). *Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Bécancour et de la MRC de Bécancour - Rapport synthèse*. [Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs.]. Université du Québec à Montréal.

LaSalle, P. (1973). *Géologie des sédiments meubles de la région de Joliette-Sorel* (DP-140) [Rapport préliminaire]. Ministère des Richesses naturelles.

LaSalle, P. (1985). *Stratigraphie du Québec : une revue* (MB-85-11). Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

Leblanc, Y., Légaré, G., Lacasse, K., Parent, M. et Campeau, S. (2013). *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* [Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec Département des sciences de l'environnement]. Département des sciences de l'environnement.

Lemieux, Y., Tremblay, A. et Lavoie, D. (2003). Structural analysis of supracrustal faults in the Charlevoix area, Quebec: relation to impact cratering and the St-Laurent fault system. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40(2), 221-235.

- Levasseur, D. (1995). *Les eskers : essai de synthèse bibliographique*. <http://id.erudit.org/iderudit/033066ar>
- Lévesque, Y., Walter, J. et Chesnaux, R. (2021). Transient Electromagnetic (TEM) Surveys as a First Approach for Characterizing a Regional Aquifer: The Case of the Saint-Narcisse Moraine, Quebec, Canada. *Geosciences*, 11(10), 415. <https://doi.org/10.3390/geosciences11100415>
- MacCormack, K. E., Brodeur, J. J. et Eyles, C. H. (2011). Assessing the Impact of Data Quantity, Distribution, and Algorithm Selection on the Accuracy of 3D Subsurface Models. Dans *Congrès conjoint de l'Association canadienne pour l'étude du Quaternaire (CANQUA) et de la Section canadienne de l'Association internationale des hydrogéologues* (p. 6).
- MacPherson, J. B. (1967). Raised Shorelines and Drainage Evolution in the Montréal Lowland. *Cahiers de géographie du Québec*, 11(23), 343. <https://doi.org/10.7202/020731ar>
- Mayzonnat, G. et Larocque, M. (2011). Étude de la vulnérabilité de l'eau souterraine sur la zone Bécancour (Centre-du-Québec). GeoHydro 2011, Congrès conjoint de l'Association canadienne pour l'étude du Quaternaire (CANQUA) et de la Section canadienne de l'Association internationale des hydrogéologues.
- MELCC. (1997). *Bassin versant de la rivière L'Assomption* (1997). http://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_agri/pratiques-agri/assomption/qualite.htm
- Mockus, V. (1949). *Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms* [Exhibit A in Appendix B]. Interim Survey Report (Neosho) River Watershed USDA.
- Mockus, V. (1964). Letter to Orrin Ferris, communication personnelle.
- Monfet, J. (1979). *Évaluation du coefficient de ruissellement à l'aide de la méthode SCS modifiée*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300330134>
- Murat, V. (2000). *Étude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la pollution: application aux aquifères granulaires du piedmont laurentien* [M.Sc., Université du Québec INRS-Géoressources].
- Nadeau, L. et Brouillette, P. (1995). *Carte structurale de la région de Trois-Rivières (SNRC 311), Province de Grenville* Échelle : 1/250 000 (Dossier Public 3012). Commission géologique du Canada. ftp://ftp.geogratis.gc.ca/pub/nrcan_rncan/publications/ess_sst/205/205047/gscf_3012_e_1995_mg1.pdf
- O'Brien, T. M. et van der Pluijm, B. A. (2012). Timing of Iapetus Ocean rifting from Ar geochronology of pseudotachylytes in the St. Lawrence rift system of southern Quebec. *Geology*, 40(5), 443-446. <https://doi.org/10.1130/G32691.1>
- Occhietti, S. (1990). Lithostratigraphie du Quaternaire de la vallée du Saint-Laurent : méthode, cadre conceptuel et séquences sédimentaires. *Géographie physique et Quaternaire*, 44(2), 137-145. <https://doi.org/10.7202/032813ar>
- Osborne, F. F. et Clark, T. H. (1960). *Région de New-Glasgow - St-Lin* (Rapport géologique 91).
- Pagé, P. (1999). *Les grandes glaciations: l'histoire et la stratigraphie des glaciations continentales dans l'hémisphère Nord*. Guérin. <http://books.google.com/books?id=IH4oAQAAQAAJ>

- Parent, M. et Occhietti, S. (1999). Late Wisconsinan deglaciation and glacial lake development in the Appalachians of southeastern Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 53(1), 117. <https://doi.org/10.7202/004859ar>
- Poirier, C., Fortier Filion, T.-C., Turcotte, R. et Lacombe, P. (2012). *Apports verticaux journaliers estimés de 1900 à 2010 – version 2012. Contribution au Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES)*. Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Direction de l'expertise hydrique.
- Prest, V. K., Grant, D. R. et Rampton, V. N. (1970). *Carte glaciaire du Canada* (1253A). <https://doi.org/10.4095/221127>
- Prichonnet, G. (1977). La déglaciation de la vallée du Saint-Laurent et l'invasion marine contemporaine. *Géographie physique et Quaternaire*, 31(3-4), 323-345. <https://doi.org/10.7202/1000281ar>
- Prichonnet, G., Doiron, A. et Cloutier, M. (1982). Le mode de retrait glaciaire tardiwisconsinien sur la bordure appalachienne au sud du Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 36(1-2), 125-137. <https://doi.org/10.7202/032473ar>
- Rivers, T. (2009). The Grenville Province as a large hot long-duration collisional orogen – insights from the spatial and thermal evolution of its orogenic fronts. *Geological Society, London, Special Publications*, 327(1), 405-444. <https://doi.org/10.1144/SP327.17>
- Rivers, T., Culshaw, N., Hynes, A., Indares, A., Jamieson, R. et Martignole, J. (2012). The Grenville orogen – A post-lithoprobe perspective. Dans J. A. Percival, F. A. Cook et R. M. Clowes (dir.), *Tectonic Styles in Canada: The LITHOPROBE Perspective* (vol. 1, p. 97-236). Geological Association of Canada.
- Rivers, T., Martignole, J., Gower, C. F. et Davidson, A. (1989). New tectonic divisions of the Grenville Province, Southeast Canadian Shield. *Tectonics*, 8(1), 63-84. <https://doi.org/10.1029/TC008i001p00063>
- Roques, C., Bour, O., Aquilina, L. et Dewandel, B. (2016). High-yielding aquifers in crystalline basement: insights about the role of fault zones, exemplified by Armorican Massif, France. *Hydrogeology Journal*, 24(8), 2157-2170. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1451-6>
- Rosa, É. (2007). *Caractérisation hydrogéologique du complexe tourbeux de Lanoraie, Québec, Canada* [MSc., Université du Québec à Montréal].
- Saby, M., Larocque, M., Pinti, D. L., Barbicot, F., Sano, Y. et Castro, M. C. (2016). Linking groundwater quality to residence times and regional geology in the St. Lawrence Lowlands, southern Quebec, Canada. *Applied Geochemistry*, 65, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.10.011>
- Simard, P. P. (1959). *Cartographie des puits forés pour le gaz et le pétrole dans la région des Basses Terres du Saint-Laurent*. Service de cartographie du ministère des mines.
- St-Julien, P. et Hubert, C. (1975). Evolution of the Taconian orogen in the Quebec Appalachians. *American Journal of Science*, 275A, 337-362.
- TechnoRem. (2008). *Cartographie hydrogéologique approfondie dans la zone de production horticole de la MRC de Montcalm - Lanaudière*.
- Technorem. (2009). *Cartographie hydrogéologique régionale de la zone de production maraîchère des MRC de Joliette et d'Autray (PRO8-74)*. PAECQ 5440.

- Thériault, R. (2012). *Caractérisation du shale d'Utica et du groupe de Lorraine, basses-terres du Saint-Laurent* (Québec (Province)). Géologie Québec. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2214210>
- Tremblay, A., Long, B. et Massé, M. (2003). Supracrustal faults of the St. Lawrence rift system, Québec: kinematics and geometry as revealed by field mapping and marine seismic reflection data. *Tectonophysics*, 369(3), 231-252. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00227-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00227-0)
- Tremblay, G. (1957). *Carte géologique du Quaternaire: région de Rawdown - Laurentides - Shawbridge - Sainte-Agathe-des-Monts* Échelle : 1/50 000. Ministère des mines et des études techniques.
- Tremblay, G. (1977). *Géologie du Quaternaire: région de Rawdown - Laurentides - Shawbridge - Sainte-Agathe-des-Monts* (DP-551). Ministère des richesses naturelles.
- Tremblay, R. (2022). *Caractérisation hydrogéochimique des régions de Lanaudière et de l'est de la Mauricie, Québec, Canada* [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi].
- Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmfelt, Jr., A. T., Van Mullem, J. A. et Quan, Q. D. (2003). Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio. Dans *World Water & Environmental Resources Congress 2003* (p. 1-10). American Society of Civil Engineers. [https://doi.org/10.1061/40685\(2003\)308](https://doi.org/10.1061/40685(2003)308)
- Wright, S. N. et Novakowski, K. S. (2019). Groundwater recharge, flow and stable isotope attenuation in sedimentary and crystalline fractured rocks: Spatiotemporal monitoring from multi-level wells. *Journal of Hydrology*, 571, 178-192. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.028>