

**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 l'est de la Mauricie***

**PACES LAMEMCN – section Mauricie-Est**

**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 Mauricie-Est**. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. 204 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 l'est de la Mauricie. 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 **Mauricie-Est** 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 **6 718** stations ponctuelles d'information géologique ou hydrogéologique (puits, piézomètres, forages, levés stratigraphiques ou géophysiques, etc.) ont été récupérées. Parmi ces dernières, **390** 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 ont permis l'extraction de **414** descriptions stratigraphiques, **250** résultats d'analyses chimiques, plus de **171** estimations de propriétés hydrauliques, de **25** cartes piézométriques et de **5** 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 **106** échantillons hydrogéochimiques, **114** levés stratigraphiques, **1** forage à percussion, **158** levés géophysiques et plusieurs données pour répondre aux objectifs de **4** projets de recherche. De plus, ces travaux ont permis l'installation d'un piézomètre dans une formation granulaire. Après la phase 2, la base de données géospatiales contenait **7 112** 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 **44 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 :

- 77% des municipalités alimentent leur réseau d'aqueduc municipal à partir d'eau souterraine;
- 62% de la population est alimentée en eau potable à partir d'eau souterraine;
- 34% de l'eau souterraine est utilisée pour un usage domestique, 38% pour un usage agricole et 17% pour un usage industriel, commercial ou institutionnel (ICI);
- 8% de l'eau utilisée provient d'eau souterraine et 92% 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;
- Les dépôts granulaires d'origine glaciaire ou postglaciaire sont le type de milieux aquifères principalement exploité pour l'alimentation en eau potable par les municipalités;
- Plusieurs secteurs sur le territoire sont susceptibles d'abriter d'importants réservoirs aquifères encore non exploités, notamment le secteur de la moraine de Saint-Narcisse et 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 73% des échantillons prélevés sur le territoire n'affichent aucun dépassement des normes de potabilité. Cependant, il révèle aussi qu'environ 43% des échantillons prélevés dépassent le critère esthétique (0,02 mg/l) établi pour le manganèse (16% dépassent aussi la valeur de 0,12 mg/l recommandée par Santé Canada, et à partir de laquelle le gouvernement du Québec 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, deux municipalités régionales de comté (MRC), soit la MRC Les Chenaux et la MRC de Mékinac, l'agglomération de La Tuque ainsi que la participation de certains organismes, dont l'OBV pour la zone de gestion intégrée de l'eau Batiscan-Champlain (rivière Batiscan et rivière Champlain) (SAMBBA), l'OBV Saint-Mauricie (BVSM) et l'OBV Rivière-Sainte-Anne (CAPSA).

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<sup>me</sup> 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<sup>me</sup> Laura-Pier Perron-Desmeules, Josu Otaegi Alcaide, M<sup>me</sup> Roxane Tremblay, M. Abi Attoumane, M. Yan Lévesque, M. Pierre Saint-Hilaire, M. Mike Bellemare, M<sup>me</sup> Frédéric Lalancette, M. Alexandre Leclerc, M<sup>me</sup> Anne-Marie Proulx, M. Alireza Shahbazi, M<sup>me</sup> 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<sup>me</sup> Mélodie Lachapelle, M<sup>me</sup> 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. Éric Lesage (MRC Des Chenaux), M. Louis Filteau (MRC Mékinac), M. Justin Proulx (Agglomération de La Tuque), M<sup>me</sup> Évelyne Giroux (BVSM), M. Marc-André Demers (CAPSA) et M. Anthony Champagne (SAMBBA). Nous remercions M<sup>me</sup> Édith Bourque et M. Louis Ricard du MELCC pour la réalisation de travaux de forage sur le territoire.

Nous soulignons aussi la participation de M. Rénald Vaugeois, M. Yvon Marcotte et M. Roger Jeffrey, 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
<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
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
<b>2 COLLECTE DES DONNÉES EXISTANTES</b>	<b>7</b>
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
<b>3 ACQUISITION DE DONNÉES COMPLÉMENTAIRES SUR LE TERRITOIRE</b>	<b>14</b>
3.1 Stations stratigraphiques	14
3.2 Levés géophysiques sur la moraine de Saint-Narcisse	17
3.3 Forages rotosonique et installation	20
3.4 Échantillonnage hydrogéochimique de l'eau souterraine	22
3.5 Essais de pompage courte durée et levés piézométriques	26
3.5.1 Objectifs	26
3.5.2 Description de la méthode	26
3.5.3 Localisation	27
3.6 Données acquises pour les projets de recherche	28
<b>4 UNIFORMISATION ET CENTRALISATION DES DONNÉES</b>	<b>29</b>
4.1 Uniformisation des données existantes	30
4.1.1 Traitements sur les données numériques structurées	30
4.1.2 Saisi et archivage des données non numériquement structurées	31

<b>4.2 Uniformisation des données acquises sur le terrain</b>	<b>35</b>
4.2.1 Numérisation et archivage	36
4.2.2 Saisie et organisation numérique de la donnée	36
<b>4.3 Intégration et centralisation dans une base de données géospatiales</b>	<b>37</b>
4.3.1 Fiabilité et validation des données ponctuelles	38
4.3.2 Modèle d'implantation	38
4.3.3 Les références	41
4.3.4 Les métadonnées	42
<b>4.4 Transfert des données dans la base de données du ministère</b>	<b>42</b>
<b>5 DESCRIPTION DU TERRITOIRE</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Aspect physique</b>	<b>43</b>
5.1.1 Topographie et pentes du sol	43
5.1.2 Hydrographie et bassins versants	45
5.1.3 Climat	48
5.1.4 Pédologie	49
5.1.5 Couverture végétale et milieux humides	49
<b>5.2 Aspect humain</b>	<b>49</b>
5.2.1 Superficies et découpages administratifs	49
5.2.2 Voies de communication	51
5.2.3 Activités humaines	52
5.2.4 Affectations du territoire	52
5.2.5 Occupation du territoire	53
5.2.6 Activités potentiellement polluantes	53
<b>6 PORTRAIT GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE</b>	<b>58</b>
<b>6.1 Géologie du socle rocheux</b>	<b>58</b>
6.1.1 Répartition géographique des provinces géologiques	58
6.1.2 Stratigraphie et géologie du socle rocheux	59
<b>6.2 Géologie du Quaternaire</b>	<b>69</b>
6.2.1 Les sédiments glaciaires (Tc, Tm)	70
6.2.2 Les sédiments fluvioglaciaires (Gx, GxT, Go)	70
6.2.3 Les sédiments glaciolacustres (LGb) et lacustres	73
6.2.4 Les sédiments glaciomarins (MGa, MGb, MGd)	73
6.2.5 Les sédiments marins (Ma, Mb)	73
6.2.6 Les sédiments alluviaux (Ax, Ap)	73
<b>6.3 Coupes stratigraphiques</b>	<b>74</b>
6.3.1 Simplification de l'information stratigraphique	75
6.3.2 Identification des données sources	76
6.3.3 Projection des stations dans une vue en coupe	76
6.3.4 Interprétation des coupes stratigraphiques	78
6.3.5 Mise en forme finale des coupes stratigraphiques	79
6.3.6 Création des diagrammes barrières	80

<b>6.4</b>	<b>Épaisseur des dépôts et topographie du roc</b>	<b>81</b>
6.4.1	Épaisseur estimée des dépôts meubles	81
6.4.2	Topographie du roc	88
<b>7</b>	<b>LES MILIEUX AQUIFÈRES DE L'EST DE LA MAURICIE</b>	<b>91</b>
<b>7.1</b>	<b>Les milieux aquifères constitués de roches fracturées</b>	<b>91</b>
7.1.1	Les roches précambriennes cristallines	92
7.1.2	Les roches sédimentaires carbonatées – calcaires	92
<b>7.2</b>	<b>Les milieux aquifères de type granulaire</b>	<b>93</b>
7.2.1	Milieux aquifères de sable indifférencié de surface	94
7.2.2	Milieux aquifères d'origine fluvioglaciaire	95
<b>7.3</b>	<b>Modèle conceptuel des contextes stratigraphiques régionaux</b>	<b>97</b>
7.3.1	Contextes stratigraphiques régionaux	97
7.3.2	Coupe conceptuelle	102
<b>7.4</b>	<b>Contextes hydrogéologiques</b>	<b>103</b>
7.4.1	Contexte dominé par le milieu aquifère cristallin fracturé	104
7.4.2	Contexte dominé par le milieu aquifère sédimentaire fracturé	106
7.4.3	Contexte dominé par les milieux aquifères granulaires composés des dépôts quaternaires	107
7.4.4	Les sédiments fluvioglaciaires et glaciolacustres	108
7.4.5	Synthèse des contextes hydrogéologiques	110
<b>7.5</b>	<b>Les propriétés hydrauliques</b>	<b>112</b>
7.5.1	Définitions sur les propriétés hydrauliques	112
7.5.2	Sélection et traitement des données	112
7.5.3	Propriétés hydrauliques des milieux aquifères granulaires	117
7.5.4	Propriétés hydrauliques des milieux aquifères de roc fracturé	118
7.5.5	Amélioration de l'estimation des propriétés hydrauliques	120
<b>7.6</b>	<b>Piezométrie et écoulements régionaux</b>	<b>121</b>
7.6.1	Piezométrie régionale	122
7.6.2	Écoulements régionaux	122
7.6.3	Profondeur de l'eau souterraine	123
<b>7.7</b>	<b>Recharge et résurgence des milieux aquifères régionaux</b>	<b>124</b>
7.7.1	Méthode du bilan hydrologique pour l'estimation de la recharge	125
7.7.2	Quantification de la recharge moyenne régionale	131
7.7.3	Zones de recharge préférentielle et de résurgence	135
<b>7.8</b>	<b>Vulnérabilité des milieux aquifères</b>	<b>135</b>
7.8.1	Intrants du modèle DRASTIC et pondération	137
7.8.2	Carte DRASTIC	143
7.8.3	Limites d'utilisation de la carte #22	144
<b>8</b>	<b>ÉTAT DE LA RESSOURCE EN EAU</b>	<b>146</b>
<b>8.1</b>	<b>Prélèvements d'eau potable par les municipalités</b>	<b>146</b>
8.1.1	Origines de l'eau prélevée et distribuée dans les réseaux municipaux	146

8.1.2	Aquifères approvisionnant les réseaux d'aqueduc municipaux	150
<b>8.2</b>	<b>Estimation des quantités d'eau prélevée par MRC</b>	<b>153</b>
8.2.1	Eau de surface	153
8.2.2	Eau souterraine par catégories d'usage	154
8.2.3	Eau souterraine et eau de surface	157
<b>8.3</b>	<b>Qualité de la ressource</b>	<b>160</b>
8.3.1	Études géochimiques précédentes	160
8.3.2	Campagne hydrogéochimique réalisée dans le cadre du PACES	160
<b>9</b>	<b>CONTRIBUTION À LA RECHERCHE</b>	<b>165</b>
9.1	Mécanismes de recharge et écoulement des eaux souterraines dans les aquifères cristallins (Ph.D.; M. Abi Attoumane)	165
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)	169
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).	172
9.4	Caractérisation hydrogéochimique des régions de Lanaudière et de l'est de la Mauricie (M.Sc.; Mme Roxane Tremblay - projet complété)	175
<b>10</b>	<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b>	<b>180</b>
<b>10.1</b>	<b>Conclusions et faits saillants du projet PACES-LAMEMCN section Mauricie-Est</b>	<b>181</b>
10.1.1	Base de données géospatiales	181
10.1.2	Description du territoire	182
10.1.3	Portrait géologique	183
10.1.4	Contexte hydrogéologique et potentiel aquifère (propriétés hydrauliques)	183
10.1.5	Piézométrie, recharge et résurgence, vulnérabilité DRASTIC du premier aquifère rencontré	185
10.1.6	Utilisation et qualité de l'eau souterraine	186
<b>10.2</b>	<b>Limites et recommandations pour l'utilisation des livrables du PACES-LAMEMCN</b>	<b>187</b>
10.2.1	Base de données géospatiales	187
10.2.2	Avertissement et mise en garde applicable à toutes les cartes	187
10.2.3	Coupes stratigraphiques	188
10.2.4	Cartes #15 – Épaisseur des dépôts meubles et #16 – Topographie du roc	188
10.2.5	Cartes #17 – Contextes hydrogéologiques et #18 – Limites des aquifères régionaux	189
10.2.6	Carte #19 – Piézométrie	189
10.2.7	Carte #21 – Paramètres hydrogéologiques	190
10.2.8	Carte #22 – Vulnérabilité des aquifères selon la méthode DRASTIC	190
10.2.9	Carte #23 – Activités potentiellement polluantes	191
10.2.10	Cartes #24 – Qualité (critères eau potable) et #25 – Qualité (objectifs esthétiques)	191
10.2.11	Carte #26 – Utilisation de l'eau	191
10.2.12	Carte #28 – Zones de recharge préférentielles et de résurgence	192

<b>10.3 Recommandations pour l'amélioration des connaissances hydrogéologiques pour le territoire de l'est de la Mauricie</b>	<b>192</b>
10.3.1 Estimations et suivi de la qualité des eaux souterraines	192
10.3.2 Estimation et suivi de la quantité des eaux souterraines	193
10.3.3 Assurer la pérennité de la ressource	195
<b>10.4 Recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine</b>	<b>196</b>
10.4.1 Les producteurs de données	196
10.4.2 Les gestionnaires de données	196
10.4.3 Les diffuseurs de la donnée	196
10.4.4 La concertation	196
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>198</b>

## Liste des figures

---

<i>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.</i>	1
<i>Figure 1-2 : Localisation des territoires considérés dans le projet PACES-LAMEMCN*</i>	3
<i>Figure 1-3 : Structure organisationnelle du projet PACES-LAMEMCN</i>	4
<i>Figure 3-1 : Photos d'une sablière visitée lors de la campagne de caractérisation stratigraphique réalisée au cours de l'été 2020 sur la moraine de Saint-Narcisse.</i>	15
<i>Figure 3-2 : (a) Photo d'un dépôt fluvioglaciaire prise au cours de la campagne stratigraphie de l'été 2020 sur la moraine de Saint-Narcisse, (b) Exemple d'une fiche quaternaire remplie à la station 041.</i>	15
<i>Figure 3-3 : Localisation des stations d'observation de la géologie (été 2018)</i>	16
<i>Figure 3-4 : Localisation des relevés de géophysique de surface réalisés au cours de l'été (ligne bleue) 2019 et 2020 (hexagone rouge) et localisation des stations stratigraphiques réalisées à l'été 2020 le long de la moraine de Saint-Narcisse.</i>	16
<i>Figure 3-5 : Exemple de profil électrique réalisé au TEM le long de la moraine de Saint-Narcisse.</i>	17
<i>Figure 3-6 : Photos de la campagne géophysique réalisée au cours de l'été 2020. (a) Photo du transmetteur Nano TEM et, (b) photo de l'installation des boucles électriques sur le terrain.</i>	18
<i>Figure 3-7 : Localisation des levés géophysiques, été 2019.</i>	19
<i>Figure 3-8 : Forage rotosonique : (a) Photo de la foreuse sonique et du site de forage de ME-F01; (b) Carotte d'échantillonnage des dépôts meubles. Longueur de la carotte : 3 m (10 pieds).</i>	20
<i>Figure 3-9 : Carte des dépôts quaternaires et localisation du forage ME-F01. Nota bene, les dépôts fluvioglaciaires (en orange) sur cette carte correspondent à la moraine de Saint-Narcisse.</i>	21
<i>Figure 3-10 : Le prélèvement d'échantillon d'eau souterraine se fait dans des bouteilles approuvées par le laboratoire d'analyse.</i>	22
<i>Figure 3-11 : Localisation des 104 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques montrant le type d'aquifère, i.e. roc fracturé ou dépôts granulaires.</i>	24
<i>Figure 3-12 : Localisation des 218 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques et indication du type de captage.</i>	25
<i>Figure 3-13 : Mesure du niveau d'eau dans le puits pendant l'essai de pompage.</i>	26
<i>Figure 3-14 : Localisation des essais de pompage effectués lors de la campagne de terrain réalisée au cours de l'été 2019..</i>	27
<i>Figure 3-15 : Localisation des levés terrain réalisés dans le cadre du PACES pour répondre aux objectifs des projets de recherche (chapitre 9).</i>	28
<i>Figure 4-1 : Processus d'acquisition et de centralisation des données.</i>	29
<i>Figure 4-2 : Formulaire #4 qui permet la saisie des couches stratigraphiques dans la base de données de saisie.</i>	34
<i>Figure 4-3 : Formulaire numérique de saisie Access; exemple de la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique.</i>	37
<i>Figure 4-4: Modèle d'implantation de la base de données géospatiales.</i>	39
<i>Figure 4-5: Architecture du dossier contenant les références.</i>	41
<i>Figure 4-6 : Fichier Excel de métadonnées de la BD PACES.</i>	42
<i>Figure 5-1 : Carte topographique du territoire municipalisé de l'est de la Mauricie et délimitation des Hautes-Terres Laurentiennes et des Basses-Terres du Saint-Laurent.</i>	44
<i>Figure 5-2 : Principales rivières présentes sur le territoire.</i>	46
<i>Figure 5-3 : MRC de la région de l'est de la Mauricie.</i>	50
<i>Figure 6-1 : Localisation de la zone d'étude par rapport aux provinces géologiques du Québec.</i>	59
<i>Figure 6-2 : Tracé exposé et présumé de la province de Grenville.</i>	60
<i>Figure 6-3 : Subdivision géologique de l'ouest de la Province de Grenville (Morin et al., 1987).</i>	62
<i>Figure 6-4 : Colonne stratigraphique de la Plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent (Comeau et al., 2013).</i>	63

<i>Figure 6-5 : Carte de la localisation des carrières et des mines. Source SIGÉOM 2018, MERN.</i>	65
<i>Figure 6-6 : 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>	66
<i>Figure 6-7 : Schéma conceptuel d'une faille normale associé à l'ouverture du rift continental et à l'ouverture de l'océan Iapetus dans le secteur nord du Saint-Laurent. Exemple de la faille Saint-Prosper située à l'est de la Mauricie (Clark et Globensky, 1976a).</i>	67
<i>Figure 6-8 : Carte de localisation des principales failles de la région.</i>	68
<i>Figure 6-9 : Contexte structural le long de la vallée Saint-Maurice (Clibbon, 1969).</i>	68
<i>Figure 6-10 : Bloc diagramme des différentes formations glaciaires (Benítez, 2005).</i>	71
<i>Figure 6-11 : Divers environnements de sédimentation glaciaires ainsi que les profils typiques de faciès développés lors d'une phase d'avancée et de retrait glaciaire. Source : tiré de Fagnan (1998) qui l'avait modifié de Walker et al. (1992).</i>	72
<i>Figure 6-12 : Stratigraphie du complexe morainique de Saint-Narcisse à la marge du lobe du Saint-Maurice dans la mer de Champlain (Occhietti, 2007a).</i>	72
<i>Figure 6-13 : Localisation des 44 coupes stratigraphiques interprétées sur l'ensemble du territoire d'étude.</i>	74
<i>Figure 6-14 : Exemple de gabarit utilisé pour l'interprétation des coupes stratigraphiques.</i>	77
<i>Figure 6-15 : Coupes stratigraphiques #9.</i>	80
<i>Figure 6-16 : Représentation des 44 coupes stratigraphiques sous forme de diagrammes barrières.</i>	81
<i>Figure 6-17 : (a) Répartition des stations atteignant le roc et (b) Densité des stations atteignant le roc.</i>	82
<i>Figure 6-18 : Localisation des affleurements pour le territoire de l'est de la Mauricie.</i>	83
<i>Figure 6-19 : Forages virtuels créés le long d'une coupe stratigraphique (exagération verticale de 30x).</i>	84
<i>Figure 6-20 : Quadrillage de points créés sur les dépôts minces (points verts) ou nuls (points rouges).</i>	85
<i>Figure 6-21 : Effet de l'ajout des forages n'atteignant pas le roc sur la modélisation de l'épaisseur des dépôts. Modifié de Dugrain (2011).</i>	87
<i>Figure 7-1 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères de roc fracturé.</i>	91
<i>Figure 7-2 : Modèle conceptuel d'une cuesta qui pourrait illustrer la présence des affleurements de roches sédimentaires dans les Basses-Terres du territoire.</i>	93
<i>Figure 7-3 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères granulaires.</i>	93
<i>Figure 7-4 : Puits municipaux et privés installés dans les dépôts perméables de la moraine de Saint-Narcisse.</i>	96
<i>Figure 7-5 : Découpage et interprétation des grands ensembles géomorphologiques et géologiques de l'est de la Mauricie.</i>	97
<i>Figure 7-6 : Exemples de contextes géologiques particuliers observés dans le territoire de l'est de la Mauricie.</i>	98
<i>Figure 7-7 : Coupe stratigraphique conceptuelle d'orientation nord – Sud réalisé à la hauteur de la rivière Maskinongé (tirée de Belleavance, 2012).</i>	99
<i>Figure 7-8 : Coupe stratigraphique n°3. L'encadré rouge localise la vue en coupe de la moraine de Saint-Narcisse tel qu'elle a été interprétée sur le territoire de l'est de la Mauricie.</i>	100
<i>Figure 7-9 : Coupe conceptuelle des grands ensembles géomorphologiques et géologiques de l'est de la Mauricie.</i>	102
<i>Figure 7-10 : 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>	103
<i>Figure 7-11 : 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>	104
<i>Figure 7-12 : Stratigraphie du complexe morainique de Saint-Narcisse à la marge du lobe du Saint-Maurice dans la mer de Champlain (Occhietti, 2007b).</i>	109
<i>Figure 7-13 : Stations extraites des rapports de consultant et ayant une ou plusieurs propriétés hydrauliques.</i>	114
<i>Figure 7-14 : Valeurs statistiques indiquées sur les boîtes à moustache.</i>	115
<i>Figure 7-15 : Valeurs typiques de la conductivité hydraulique avec les gammes de valeurs des données récoltées pour les aquifères granulaires (double flèche verte) (modifié de Freeze et Cherry, 1979).</i>	116

<i>Figure 7-16 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères granulaires.....</i>	118
<i>Figure 7-17 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères de roc fracture.....</i>	119
<i>Figure 7-18 : Distribution des valeurs de transmissivité (<math>m^2/s</math>) dans les aquifères de roches sédimentaires et dans les roches cristallines.....</i>	120
<i>Figure 7-19 : Directions des écoulements régionaux de l'eau souterraine.....</i>	123
<i>Figure 7-20 : Profondeur de la nappe d'eau souterraine (profondeur toit du premier aquifère rencontré depuis la surface).....</i>	124
<i>Figure 7-21 : Composantes du bilan hydrologique (adaptée de (CERM-PACES, 2013)).....</i>	125
<i>Figure 7-22 : Répartition des valeurs ponctuelles des températures minimales et maximales ainsi que les apports verticaux estimés par le CEHQ.....</i>	126
<i>Figure 7-23 : Carte des curve number moyen (<math>CN_i</math>) pour le territoire de l'est de la Mauricie.....</i>	129
<i>Figure 7-24 : Graphique des classes de condition d'humidité moyenne en fonction des indices API et de la saison (Cronshey, 1986).....</i>	130
<i>Figure 7-25 : Méthode de calcul géomatique de la recharge annuelle par bilan hydrologique.....</i>	132
<i>Figure 7-26 : 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>	133
<i>Figure 7-27 : Taux de recharge sur le territoire : La recharge en mm/an divisée par les apports verticaux (mm/an).....</i>	134
<i>Figure 7-28 : 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>	136
<i>Figure 7-29 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau (a) et pour chaque classe de recharge efficace (b).....</i>	138
<i>Figure 7-30 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour a) le premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface, et b) chaque type de sol.....</i>	140
<i>Figure 7-31 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour a) la pente du sol et b) le milieu géologique correspondant à la zone vadose.....</i>	142
<i>Figure 7-32 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour la conductivité hydraulique.....</i>	143
<i>Figure 7-33 : Relativité de la vulnérabilité DRASTIC (tirée de (tiré de CERM-PACES (2013)).....</i>	145
<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>	147
<i>Figure 8-2 : Localisation de stations de prélèvements d'eau souterraine autres que municipaux présentes sur le territoire de l'est de la Mauricie.....</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 : 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>	154
<i>Figure 8-5 : 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>	156
<i>Figure 8-6 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine prélevée selon les catégories d'usage pour chacune des MRC.....</i>	157
<i>Figure 8-7 : 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>	158
<i>Figure 8-8 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine et eau de surface utilisées par chacune des MRC.....</i>	159
<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>	166
<i>Figure 9-2 : Localisation des sondes piézométriques et barométriques installées.....</i>	167

<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>	168
<i>Figure 9-4: Illustration des variations piézométriques des forages dans le temps entre 2019 et 2021.....</i>	169
<i>Figure 9-5: Localisation du territoire d'étude du projet doctoral de M. Yan Levesque (tiré de Lévesque et al. (2021)).....</i>	171
<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>	173
<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>	175
<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>	176
<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 hydrogéochimique régionale réalisée au cours de l'été 2020.</i>	177
<i>Figure 9-10 : Échantilleur d'eau de pluie. (a) Photo d'un échantilleur d'eau de pluie; (b) Localisation des trois échantilleurs d'eau de pluie sur le territoire. ....</i>	178
<i>Figure 10-1 : Proposition de structure de gestion régionale de la ressource en eau souterraine.....</i>	197

## 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 l'est de la Mauricie.	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 : Liste des paramètres physico-chimiques analysés en laboratoire et in situ.	23
Tableau 4-1 : Données numériques géologiques et hydrogéologiques ponctuelles récupérées et traitées.	31
Tableau 4-2 : Nombre d'éléments extraits des rapports par type de données.	33
Tableau 4-3 : Code abrégé de la Commission géologique du Canada pour la description de dépôts meubles.	34
Tableau 4-4 : Données géologiques et hydrogéologiques ponctuelles initialement non numériques récupérées à partir de document papier ou PDF.	35
Tableau 4-5 : Nouvelles stations géologiques et hydrogéologiques ponctuelles acquises sur le terrain	35
Tableau 4-6 : Nouvelles données non numériques acquises sur le terrain.	36
Tableau 4-7 : Nombre de stations de la base de données géospatiales par type de source.	40
Tableau 5-1 : Caractéristiques des principales rivières du territoire.	45
Tableau 5-2 : Caractéristiques des lacs et réservoirs du territoire.	46
Tableau 5-3 : Débit moyen, maximal et minimal mesurés aux stations hydrométriques présentes sur le territoire.	47
Tableau 5-4 : Superficie des bassins versants (BV) de niveau 1 sur le territoire de l'est de la Mauricie	47
Tableau 5-5 : Normales climatiques des stations du territoire municipalisé de l'est de la Mauricie (1981 -2010).	48
Tableau 5-6 : Superficies municipales et nombre d'habitants par municipalité sur le territoire de l'est de la Mauricie.	51
Tableau 5-7 : Superficie et population des Municipalités régionales de comté (MRC) et des agglomérations sur le territoire de l'est de la Mauricie.	51
Tableau 5-8 : Routes nationales présentes sur le territoire et les municipalités desservies.	52
Tableau 5-9 : Activités anthropiques pouvant avoir un impact sur l'eau souterraine (CUBF, édition 2018).	53
Tableau 5-10 : Niveaux d'impact qualitatif attribués à l'activité à partir de la cote d'impact potentiel.	56
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 l'est de la Mauricie.	60
Tableau 6-2 : Proportion des stations projetées pour l'interprétation des coupes stratigraphiques selon leur source.	76
Tableau 6-3 : La quantité de données sources présentes dans chacune des zones et utilisées pour la première interpolation.	86
Tableau 6-4 : Paramètres des semi-variogrammes théoriques pour chacune des zones.	86
Tableau 6-5 : Quantité de données sources ajoutées dans chacune des zones pour la deuxième interpolation.	87
Tableau 6-6 : Paramètres des semi-variogrammes théoriques pour chacune des zones.	87
Tableau 6-7 : Moyenne quadratique obtenue des modèles de l'épaisseur des dépôts meubles.	88
Tableau 7-1 : Résumé des proportions et des superficies de chaque contexte hydrogéologique présenté sur la carte #17 – Contextes hydrogéologiques	104
Tableau 7-2 : Synthèse de la localisation des contextes hydrogéologiques par rapport aux municipalités	111

<i>Tableau 7-3 : Synthèse des statistiques régionales obtenues pour les propriétés hydrauliques à partir des données récoltées dans les rapports de consultants.</i>	117
<i>Tableau 7-4 : Classement des types de sols selon leur capacité de ruissellement.</i>	128
<i>Tableau 7-5 : Curve Number moyen (<math>CN_i</math>) selon le groupe de dépôt et leur pente (modifiée de Monfet (1979).</i>	128
<i>Tableau 7-6 : Classes de condition d'humidité moyenne en fonction des indices API et de la saison (Cronshey, 1986).</i>	130
<i>Tableau 7-7 : Cote DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau.</i>	138
<i>Tableau 7-8 : Cote DRASTIC pour chaque classe de recharge efficace.</i>	138
<i>Tableau 7-9 : Cote DRASTIC pour chaque milieu aquifère.</i>	139
<i>Tableau 7-10 : Cote DRASTIC pour chaque type de sol.</i>	140
<i>Tableau 7-11 : Cote T de DRASTIC pour chaque classe de pente.</i>	141
<i>Tableau 7-12 : Cote DRASTIC selon la nature de la zone vadose.</i>	141
<i>Tableau 7-13 : Cote DRASTIC pour chaque classe de conductivité.</i>	142
<i>Tableau 8-1 : Municipalités de l'est de la Mauricie avec le type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc municipal.</i>	148
<i>Tableau 8-2 : Les installations municipales classées par contextes hydrogéologiques et le type d'aquifère qu'elles captent.</i>	
	152
<i>Tableau 8-3 : Volumes estimés d'eau de surface distribuée annuellement provenant des réseaux municipaux ou d'installations privées.</i>	153
<i>Tableau 8-4 : Volumes estimés d'eau souterraine utilisée annuellement pour chacune des quatre catégories d'usage.</i>	155
<i>Tableau 8-5 : Volumes estimés d'eau de surface et souterraine utilisés annuellement pour chaque MRC.</i>	158
<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 RQEP<sup>1</sup>.</i>	161
<i>Tableau 8-7 : Paramètres régis par des concentrations maximales (CM).</i>	162
<i>Tableau 8-8 : Paramètres pour lesquels des objectifs esthétiques (OE) sont émis par Santé Canada.</i>	164
<i>Tableau 9-1 : Types de données collectées avec le nombre de points et leur emplacement.</i>	170
<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>	173

## **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 du forage*

*AN 7 : Base de données de saisie – CERM*

*AN 8 : BD géospatiale PACES*

*AN 9 : Protocoles de production des livrables PACES*

*AN 10 : Cartes de la recharge annuelle (10 ans)*

*AN 11 : Données PACES - MRC Portneuf*

---

## **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.

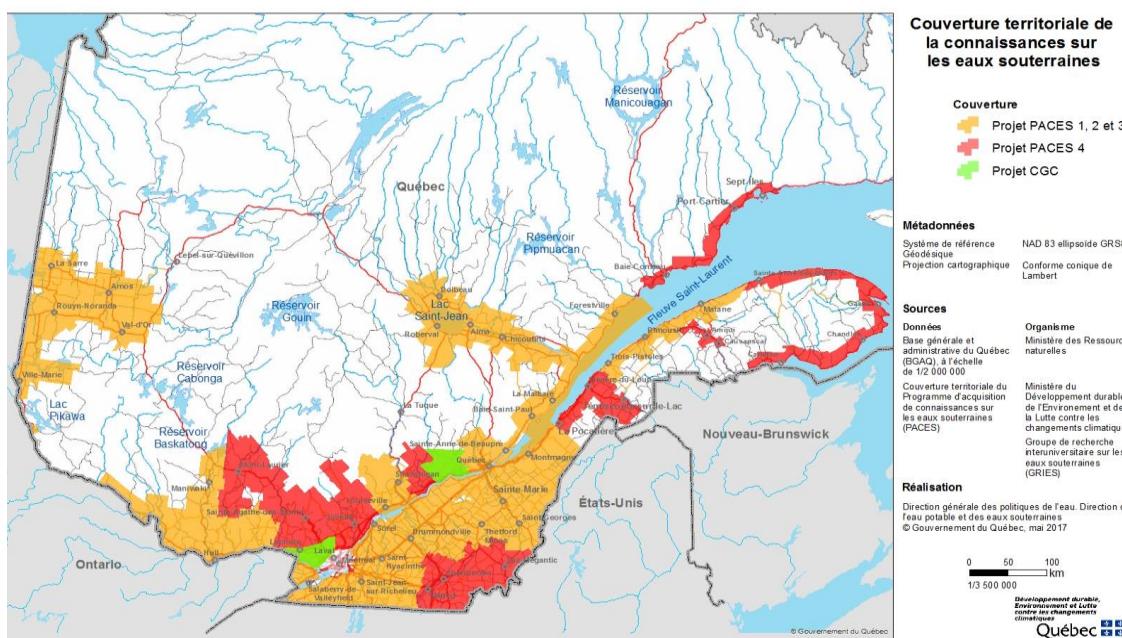


Figure 1-1 : Couverture territoriale de la connaissance sur les eaux souterraines<sup>1</sup>. Le territoire des îles-de-la-Madeleine fait partie aussi des PACES 4.

Le présent projet fait partie de la 4<sup>e</sup> 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

<sup>1</sup> <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 <sup>1</sup>	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	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
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>94</b>	<b>8</b>	<b>461 901</b>	<b>22 573</b>	<b>8</b>

<sup>1</sup>Somme de la population des municipalités, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.

<sup>2</sup>Superficie 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 km<sup>2</sup>**. 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 site web du réseau d'information sur les eaux souterraines (RIES) et fournies à l'annexe numérique AN 11.

Le présent document constitue le rapport synthèse final pour la région de l'est de la Mauricie 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.

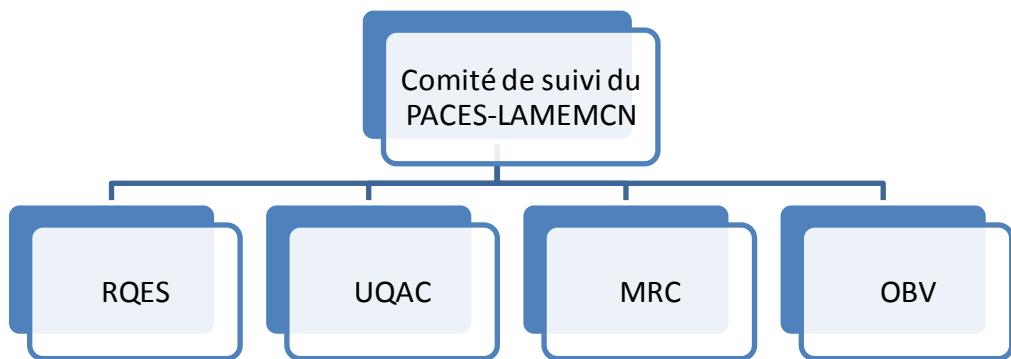


Figure 1-3 : Structure organisationnelle du projet PACES-LAMEMCN.

Tableau 1-2 : Liste des partenaires régionaux et de leur représentant sur le comité de suivi du projet PACES-LAMEMCN section l'est de la Mauricie.

Partenaires régionaux	Représentant
MRC Des Chenaux	M. Éric Lesage, directeur à l'aménagement du territoire
MRC Mékinac	M. Louis Filteau, directeur du service d'aménagement du territoire
L'agglomération de La Tuque	M. Justin Proulx, directeur service aménagement, développement du territoire et urbanisme.
OBV BVSM	M <sup>me</sup> Évelyne Giroux, coordonnatrice de projets
OBV CAPSA	M. Marc-André Demers, chargé de projets
SAMBBA	M Anthony Champagne, chargé de projets en environnement

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<sup>e</sup> cycle et plus d'une dizaine d'étudiants du 1<sup>er</sup> 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 l'est de la Mauricie;
- un rapport scientifique qui constitue le présent document.

La base de données numériques à référence spatiale contient des informations sur plus de **7 000 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 l'est de la Mauricie 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 Mauricie-Est.

Le rapport scientifique présentant l'ensemble des résultats du projet PACES-LAMEMCN section Mauricie-Est 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<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> 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 l'est de la Mauricie, 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 l'est de la Mauricie 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 <sup>1</sup>	Vectoriel	Ligne		MELCC

<b>Jeux de données</b>	<b>Mode de représentation</b>	<b>Primitive géométrique</b>	<b>Base de données ou Organisme</b>	<b>Propriétaire</b>
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

<sup>1</sup> 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.*

<b>Jeux de données</b>	<b>Mode de représentation</b>	<b>Primitive géométrique</b>	<b>Base de données / Organisme</b>	<b>Propriétaire</b>
Affectation du territoire	Vectoriel	Polygone	MRCs / PPAT	MRCs / MAMROT
Bancs d'emprunt (gravières et sablières)	Vectoriel	Polygone	BDTQ	MERN
BDPPAD <sup>1</sup> (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 <sup>2</sup>	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

<sup>1</sup> Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées

<sup>2</sup> 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.

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

<sup>1</sup> Système d'information écoforestière.

<sup>2</sup> Système d'information géominière.

<sup>3</sup> Système d'information hydrogéologique.

<sup>4</sup> 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 présentés 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, **34** 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 **5** 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 <sup>1</sup>	MERN	34
Schémas des piézomètres	PDF	RSESQ <sup>2</sup>	MELCC	5

<sup>1</sup> Système d'Information géoscientifique pétrolier et gazier

<sup>2</sup> 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, **198** rapports pertinents ont été récupérés dans les municipalités de l'est de la Mauricie. 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.

<b>Municipalités</b>	<b>Rencontre</b>	<b>Entente Résolution</b>	<b>Nb rapports pertinents récupérés<sup>2</sup></b>
<b>Agglomération de la Tuque</b>			<b>9</b>
La Tuque	Visite	oui	6
La Bostonnais	Visite	oui	2
Lac-Édouard	Visite	oui	1
<b>MRC Les Chenaux</b>			<b>127</b>
Batiscan	Visite	oui	9
Champlain	Visite	oui	8
Sainte-Anne-de-la-Pérade	Visite	oui	20
Sainte-Geneviève-de-Batiscan	Visite	oui	20
Saint-Luc-de-Vincennes	Visite	oui	7
Saint-Maurice	Visite	oui	9
Saint-Narcisse	Téléphonique	oui	24
Saint-Prosper	Visite	oui	9
Saint-Stanislas	Visite	oui	21
<b>MRC Mékinac</b>			<b>62</b>
Grandes-Piles	Visite	oui	7
Hérouxville	Visite	oui	11
Lac-aux-Sables	Visite	oui	10
Notre-Dame-de-Montauban	Visite	oui	7
Saint-Adelphe	Visite	oui	8
Sainte-Thècle	Visite	oui	5
Saint-Roch-de-Mékinac	Visite	oui	2
Saint-Séverin	Visite	n/a <sup>1</sup>	2
Saint-Tite	Visite	oui	10
Trois-Rives	Visite	oui	0
<b>TOTAL</b>			<b>198</b>

<sup>1</sup>Aucun document pertinent dans la municipalité

<sup>2</sup>Inclus 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 l'est de la Mauricie, 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 2020<sup>2</sup> et d'un rapport d'état d'avancement au mois de mars 2021<sup>3</sup>. Cette section reprend les principaux travaux d'acquisition de données et d'information que sont :

- les levés stratigraphiques (section 3.1),
- les levés géophysiques (section 3.2),
- les forages (section 3.3),
- l'échantillonnage et les analyses hydrogéochimiques réalisés sur des puits de captage privés (section 3.4),
- les essais de pompage de courte durée réalisés (section 3.5)
- les données acquises pour répondre aux objectifs des projets de recherche (section 3.6).

#### **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. La moraine de Saint-Narcisse, bien présente sur le territoire de l'est de la Mauricie a aussi été visitée et caractérisée via des stations stratigraphiques.

##### **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 1<sup>4</sup>.

La campagne stratigraphique a pour objectifs de visiter des sites situés sur la moraine de Saint-Narcisse où l'empilement stratigraphique des unités géologiques de dépôts meubles est visible. Les sites visités se situent entre les municipalités de Saint-Maurice et Sainte-Anne-de-la-Pérade. Ces sites facilitent l'interprétation des profils de géophysique de surface et permettent de documenter plus précisément la stratigraphie de la moraine de Saint-Narcisse.

---

<sup>2</sup> *Rapport d'étape de la phase 2 – Travaux de terrain et résultats préliminaires, PACES-LAMEMCN – section Mauricie-Est remis au MELCC en mars 2020.*

<sup>3</sup> *Rapport d'avancement – Travaux de terrain et résultats préliminaire, PACES-LAMEMCN – section Mauricie-Est remis au MELCC en mars 2021.*

<sup>4</sup> *Rapport d'étape de la phase I basée sur les données existantes et planification révisée de la phase II, PACES-LAMEMCN section Mauricie-Est remis au MELCC en mars 2019.*

## Méthodologie

L'ensemble des sablières (figure 3-1) ainsi que tout affleurement de roc ou de dépôts meubles présents le long de la moraine de Saint-Narcisse a été visité et documenté par des photos et des fiches de levés quaternaires du CGQ/LCNP (figure 3-2). Chaque fiche renseigne sur l'épaisseur et la nature des unités quaternaires en place selon le code CGQ, ainsi que sur le type de contact, la genèse, le type de lithofaciès, la couleur du dépôt selon le code (ou nuancier) *Munsel*.



Figure 3-1 : Photos d'une sablière visitée lors de la campagne de caractérisation stratigraphique réalisée au cours de l'été 2020 sur la moraine de Saint-Narcisse.

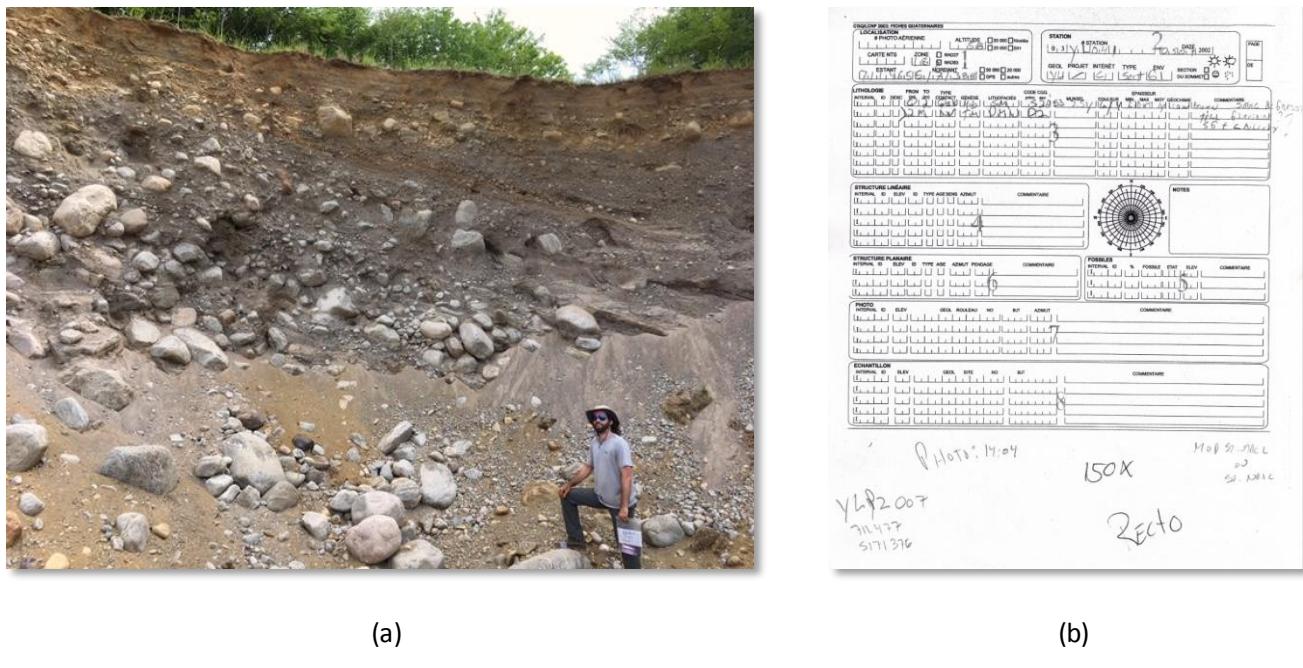


Figure 3-2 : (a) Photo d'un dépôt fluvioglaciaire prise au cours de la campagne stratigraphie de l'été 2020 sur la moraine de Saint-Narcisse, (b) Exemple d'une fiche quaternaire remplie à la station 041.

## Localisation

La localisation des **57 stations** visitées lors de la récupération des rapports est présentée à la figure 3-3, alors que la figure 3-4 localise les **quarante-quatre (44) stations** visitées par M. Yan Lévesque, étudiant au doctorat dans le cadre du PACES.

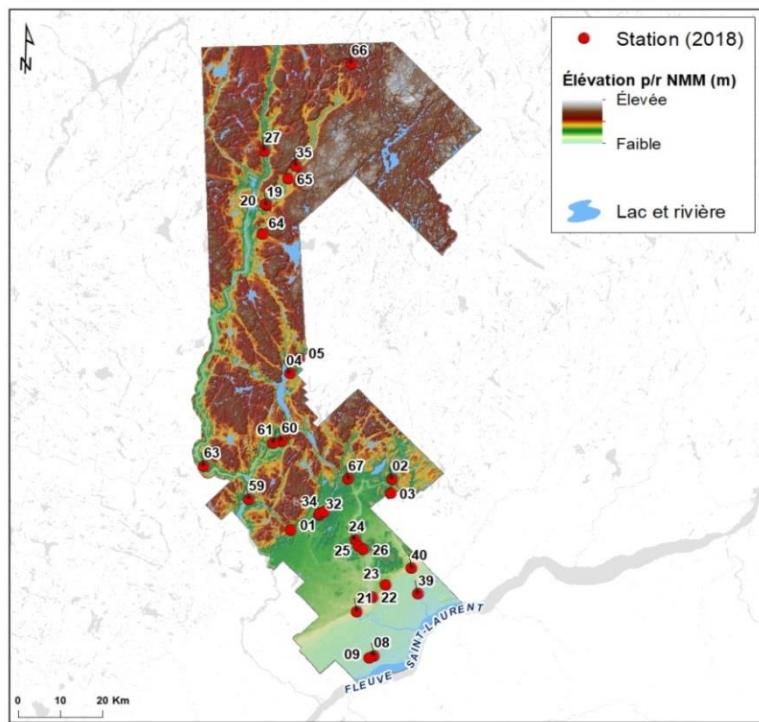


Figure 3-3 : Localisation des stations d'observation de la géologie (été 2018).

La figure 3-4 présente la localisation des **quarante-quatre (44)** stations visitées le long de la moraine de Saint-Narcisse à l'été 2020.

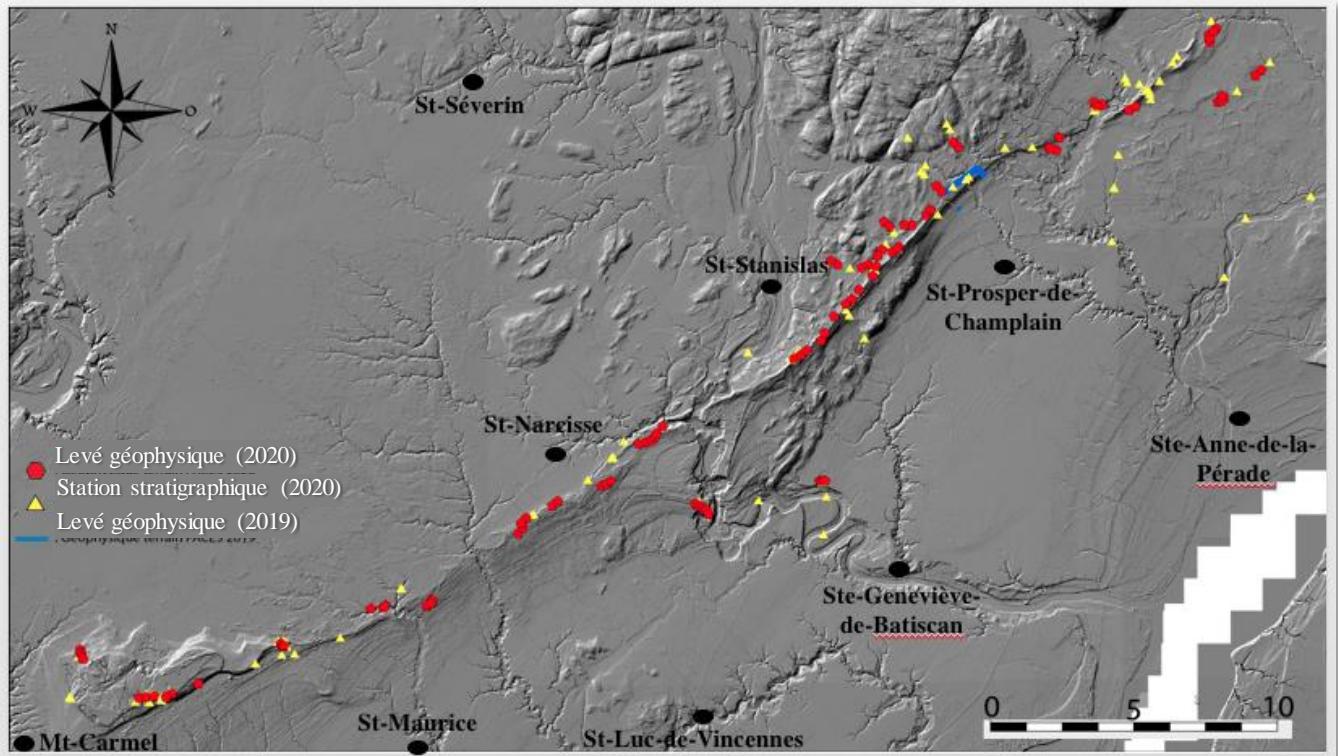


Figure 3-4 : Localisation des relevés de géophysique de surface réalisés au cours de l'été (ligne bleue) 2019 et 2020 (hexagone rouge) et localisation des stations stratigraphiques réalisées à l'été 2020 le long de la moraine de Saint-Narcisse.

### 3.2 Levés géophysiques sur la moraine de Saint-Narcisse

Trois (3) levés TEM ont d'abord été réalisés sur le territoire de l'est de la Mauricie entre le 11 et le 18 juin 2019 (Miled, 2020). La méthode géophysique utilisée est l'induction électromagnétique dans le domaine du temps. Au cours de l'été 2020, soixante-quatorze (74) stations au TEM (soit environ 8 km de profil) et vingt-sept (27) lignes de tomographie électrique (soit environ 6 km de profil) ont été réalisées. Un exemple de profil électrique TEM est présenté à la figure 3-5.

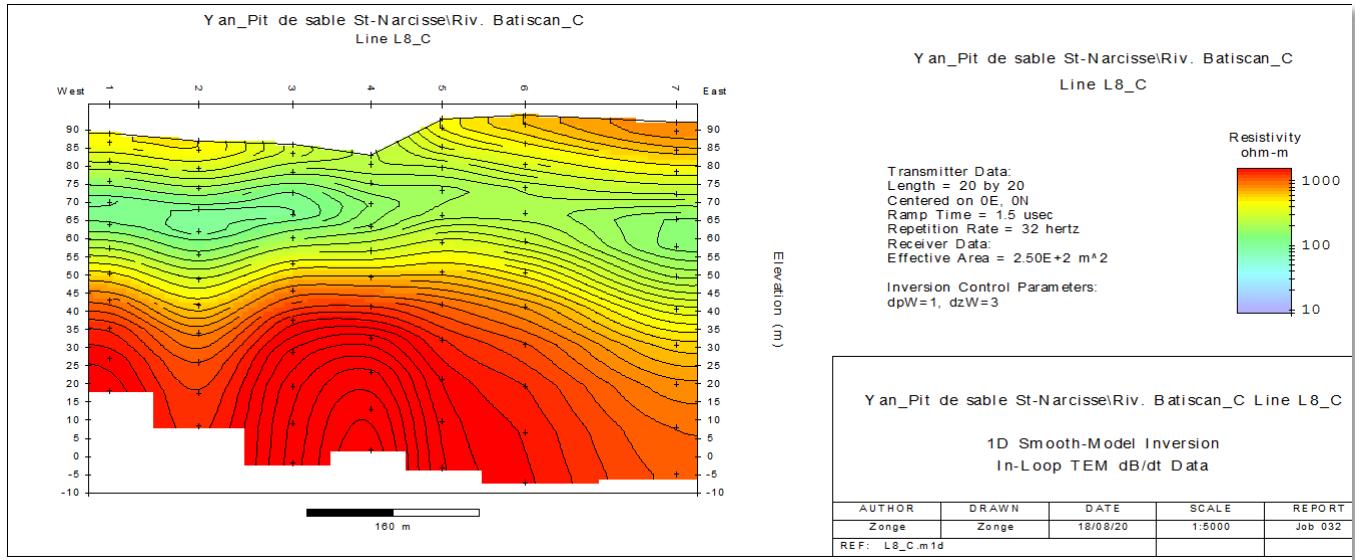


Figure 3-5 : Exemple de profil électrique réalisé au TEM le long de la moraine de Saint-Narcisse.

Les gammes de résistivité électrique présentées par les couleurs du vert au rouge permettent notamment de déterminer la topographie du roc, le type de dépôt meuble (argile, sable, gravier) et la profondeur du toit de la nappe (si elle est présente). De plus amples détails seront donnés dans le projet de doctorat de Yan Lévesque.

#### Objectifs

L'objectif de la campagne géophysique de surface est de réaliser des mesures de la résistivité électrique apparente de l'ensemble de la crête morainique de Saint-Narcisse entre les municipalités de Saint-Maurice et Sainte-Anne-de-la-Pérade afin de déterminer la stratigraphie et l'architecture des sédiments de la moraine. Pour cela, les résistivités électriques de chacun des levés géophysiques seront associées à l'information géologique locale (stratigraphie fournie par les forages avoisinants et stratigraphie observée sur les affleurements à proximité) afin de développer un outil géophysique adapté au territoire.

Les données de géophysique seront interprétées dans le cadre du projet de doctorat de Yan Lévesque qui vise à développer une approche méthodologique et un outil cartographique afin de mieux évaluer le potentiel aquifère d'un milieu de dépôt glaciaire hétérogène. Ce projet consiste notamment en une connaissance fine de la stratigraphie de la moraine de Saint-Narcisse et une compréhension de son rôle dans les écoulements régionaux. Le projet vise également à développer un outil hydrogéophysique, basé sur l'interprétation des profils électriques fournis par le TEM et la tomographie électrique, qui permet de manière non destructive et à faible coût en comparaison à un forage, de définir précisément les types de dépôts meubles sous-jacents et la profondeur du toit de la nappe. Une brève description du projet de doctorat est présentée à la section 9.2.

### Description de la méthode

Les levés de **tomographie électrique** ont été réalisés avec un instrument Siscal détenu par l'UQAC. La méthode consiste à planter 48 électrodes, installées à intervalle régulier le long d'une ligne. Les électrodes sont connectées à un dispositif d'injection et de mesure de potentiel (Siscal). Les mesures ont été prises en mode dipôle-dipôle. Ce sont **vingt-sept (27) lignes de tomographie** qui ont été réalisées à l'été 2020 ce qui représente environ 6 kilomètres de levés.

La **méthode électromagnétique** transitoire (TEM, *transient electromagnetic method*) est une méthode électromagnétique qui consiste à injecter un courant électrique continu dans une boucle (boucle émettrice) et à mesurer le champ magnétique induit après la coupure du courant dans une boucle réceptrice. Le dispositif détenu à l'UQAC est un Nano TEM, NT32 (figure 3-6) qui dispose d'une boucle émettrice formant un carré de 5 m de côté qui est installée au centre d'une boucle réceptrice formant quant à elle un carré de 20 m de côté. Chaque profil électrique au TEM est composé de 3 boucles (émettrice et réceptrice) séparées par 2.5 m. À l'été 2020, ce sont soixante-quatorze (74) **stations de levés TEM** qui ont été réalisés ce qui représente approximativement 8 kilomètres.

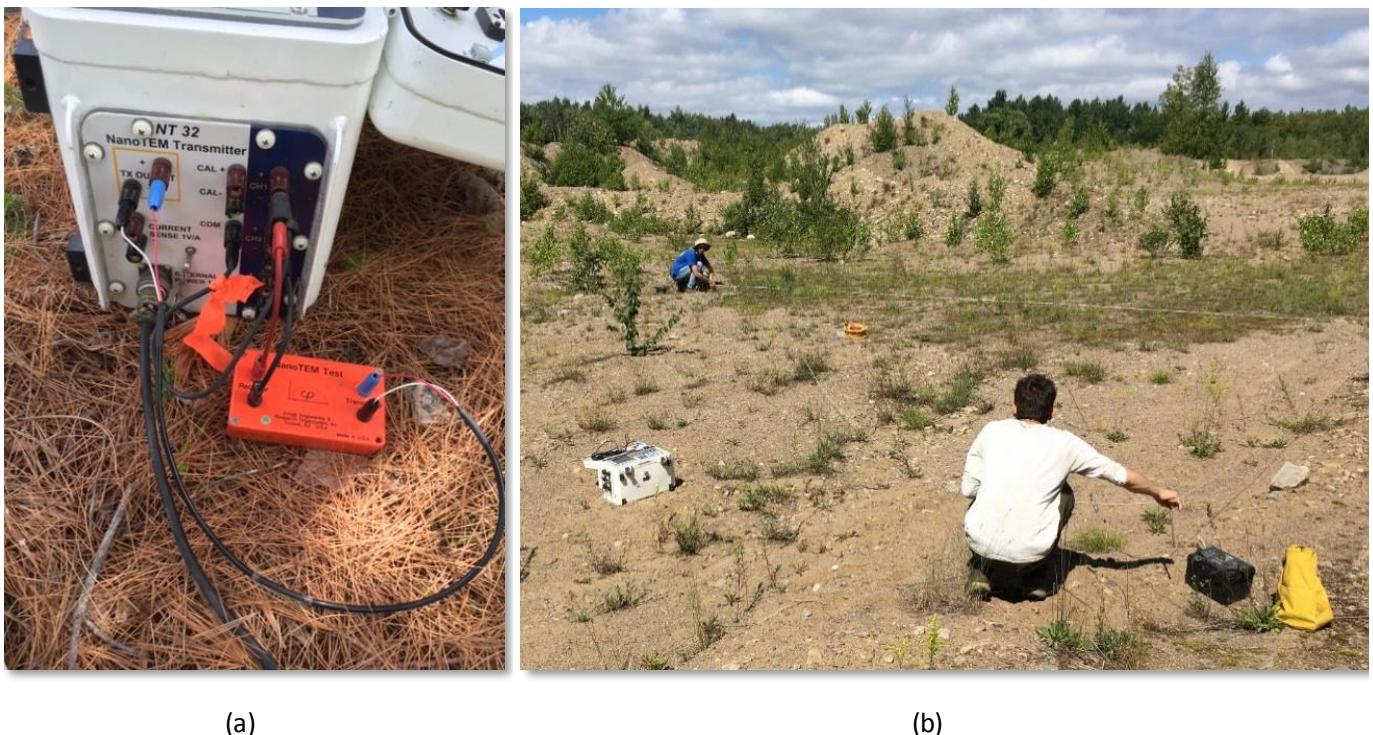


Figure 3-6 : Photos de la campagne géophysique réalisée au cours de l'été 2020. (a) Photo du transmetteur Nano TEM et, (b) photo de l'installation des boucles électriques sur le terrain.

### Localisation

Les levés ont tous été réalisés dans le même secteur soit sur le territoire de la municipalité de Saint-Prosper-de-Champlain. La figure 3-7 permet de localiser les levés réalisés au cours de l'été 2019 et la figure 3-4 localise les levés réalisés au cours de l'été 2020 au sein de la zone d'étude. Ces derniers sont tous situés sur ou à proximité de la moraine de Saint-Narcisse entre les municipalités de Saint-Maurice et de Sainte-Anne-de-la-Pérade.

Les sablières ont été priorisées pour la réalisation des investigations de géophysique de surface, car des stations stratigraphiques ont été réalisées et documentées à l'été 2020 (section 3.1).

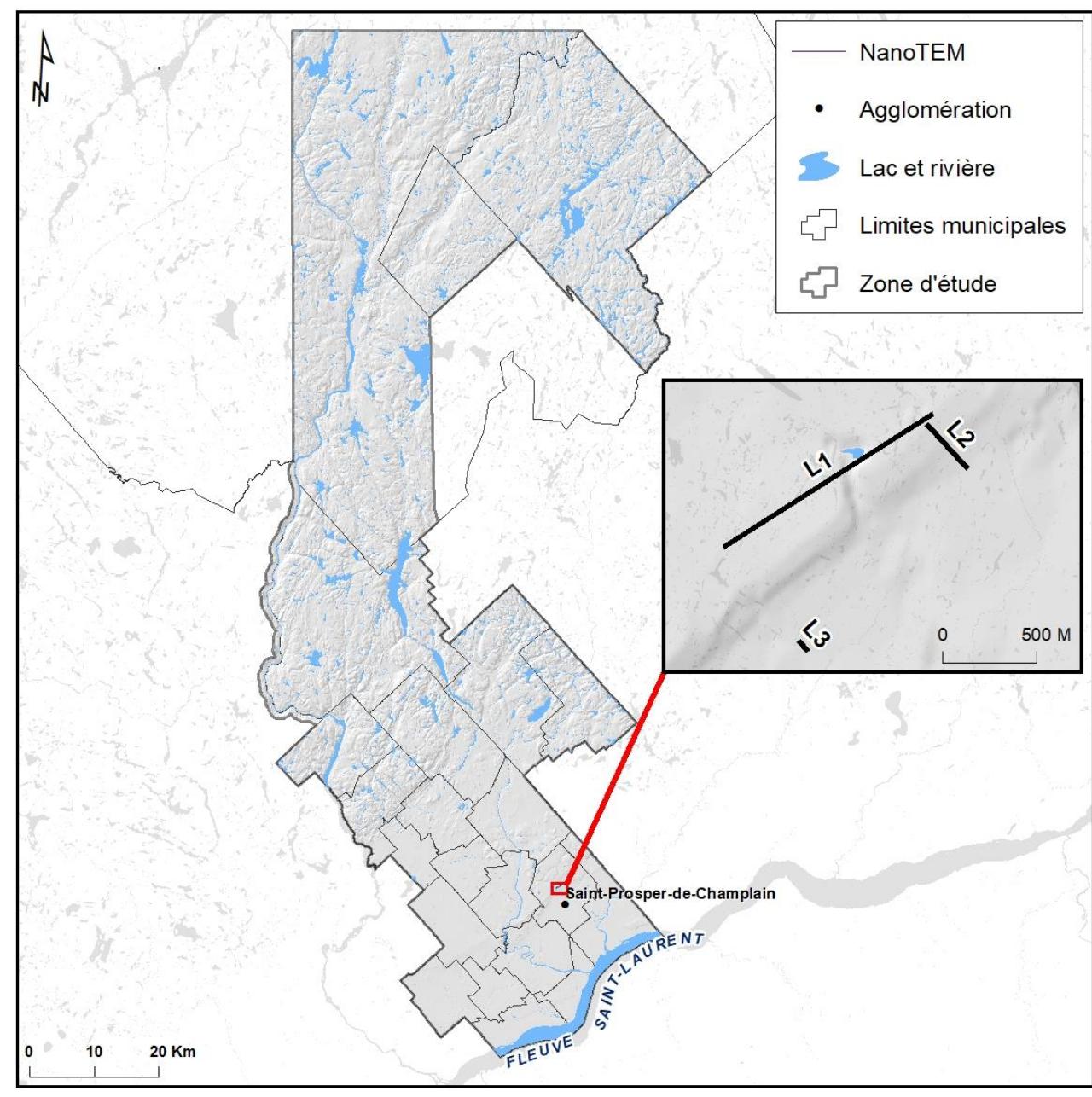


Figure 3-7 : Localisation des levés géophysiques, été 2019.

### **3.3 Forages rotosonique et installation**

Un forage rotosonique a été réalisé sur le territoire municipalisé de l'est de la Mauricie du 9 au 11 décembre 2019. La compagnie FTE Drilling a été mandatée pour la réalisation de ce forage.

#### Objectifs

La réalisation de ce forage sonique dans les dépôts vise à calibrer le signal du TEM (*Time Electromagnetic Domain*, section 3.2), de manière à améliorer l'interprétation des levés géophysiques de type TEM, et les étendre à toute la région d'étude. Pour cela, une définition très précise de la stratigraphie au droit du forage est nécessaire.

#### Méthodologie

Le forage a été réalisé par la compagnie de Forage FTE avec une foreuse Gus Pech Brat-a-Sonic (figure 3-8b). La foreuse utilisée est une foreuse sonique utilisant l'énergie de résonnance à haute fréquence (plus de 150 vibrations/seconde). Cette vibration est générée par la tête sonique et l'énergie est diffusée tout le long du train de tige. La vibration permet la liquéfaction du sol autour du sondage (limitée à 1-2 mm) et une réduction importante des frottements lors de la descente du train de tige. Le trou du forage a un diamètre de 5.5 pouces. Un échantillonnage en continu est prélevé et collecté dans des boîtes en bois pouvant contenir 3 m (10 pieds) de longueur de dépôt (figure 3-8a). Les échantillons prélevés ont un diamètre de 4.5 pouces.



(a)



(b)

Figure 3-8 : Forage rotosonique : (a) Photo de la foreuse sonique et du site de forage de ME-F01; (b) Carotte d'échantillonnage des dépôts meubles. Longueur de la carotte : 3 m (10 pieds).

### Localisation et description des forages

Le forage ME-F01 a été réalisé au niveau de la limite nord de la moraine de Saint-Narcisse dans le secteur de Saint-Maurice (voir figure 3-9).

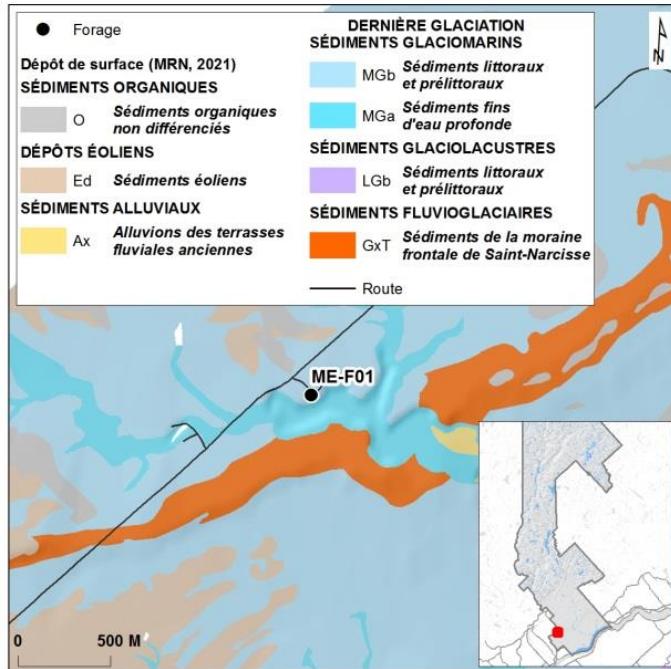


Figure 3-9 : Carte des dépôts quaternaires et localisation du forage ME-F01. Nota bene, les dépôts fluvioglaciaires (en orange) sur cette carte correspondent à la moraine de Saint-Narcisse.

D'après la carte des dépôts de surface, le puits est situé au niveau des sédiments glaciomarins (sédiments littoraux et pré-littoraux, MGb). Le forage est à environ 200 m du tracé de la crête morainique de la moraine de Saint-Narcisse.

Un premier sondage rotosonique a été réalisé le 10 décembre 2019 jusqu'à une profondeur d'environ 46 m (150 pieds). Le forage a intercepté des horizons de sable sur les 12 premiers mètres (sable fin, sable moyen à grossier, sable grossier avec cailloux), puis un horizon d'argile sur une épaisseur d'environ 27 m (de 12 m à 39 m) et enfin quelques horizons de sable (galets dans une matrice sableuse, sable grossier) en alternance avec de l'argile sur les 7 derniers mètres. Un log stratigraphique est fourni à l'annexe numérique AN 6.

Un second sondage a été réalisé, le 12 décembre 2019, à 2 m du premier afin d'installer une crépine dans les horizons de sable superficiels. Le forage a été arrêté à une profondeur d'environ 7 m (24.4 pieds) en raison de la présence d'un gros bloc erratique. Une crépine en PVC d'une longueur de 4.5 m et d'un diamètre de 2.5 pouces a été installée. Le tubage est également en PVC et a un diamètre de 2.5 pouces. Les deux sondages n'ont montré aucune venue d'eau.

Les grandes épaisseurs d'argile interceptées sont probablement dues à la présence de la mer de Champlain, car la topographie est peu élevée dans cette zone. Ces importantes épaisseurs de sédiments fins témoignent d'une colonne d'eau qui devait être importante à cet endroit. Les sables déposés au sommet de ces argiles sont certainement des sables régressifs mis en place lors de la régression de la Mer de Champlain. C'est le même processus de dépôt qui s'est produit au nord et au sud de la moraine de Saint-Narcisse où la mer était bien en place.

### **3.4 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 3-10 montre l'étape de prélèvement d'eau souterraine dans les contenants appropriés.



*Figure 3-10 : 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 3-1 présente les paramètres physico-chimiques analysés dans le cadre du PACES.

Tableau 3-1 : 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 HNO<sub>3</sub>)
- Plomb (Pb)
- Uranium (U)
- Alcalinité Totale (en CaCO<sub>3</sub>) à pH 4.5
- Azote ammoniacal (N-NH3)
- Bromure (Br)
- Chlorures (Cl)
- Fluorure (F)
- Nitrate (N) et Nitrite (N)
- Phosphore inorganique
- Sulfates (SO<sub>4</sub>)
- Sulfures (S)

#### PARAMÈTRES MESURÉS *IN SITU*

---

- Température
- Total des solides dissous / conductivité électrique
- Oxygène dissous
- pH
- Potentiel d'oxydoréduction (Eh)
- Alcalinité Totale (en CaCO<sub>3</sub>)

#### 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 3-11 montre la répartition des points d'échantillonnage. Au total, 106 échantillons dans **104 installations** différentes ont été prélevés dont :

- Quarante-et-un (41) dans le roc fracturé;
- quarante-cinq (45) dans les dépôts granulaires;
- dix-huit (18) dans un milieu aquifère inconnu<sup>5</sup>.

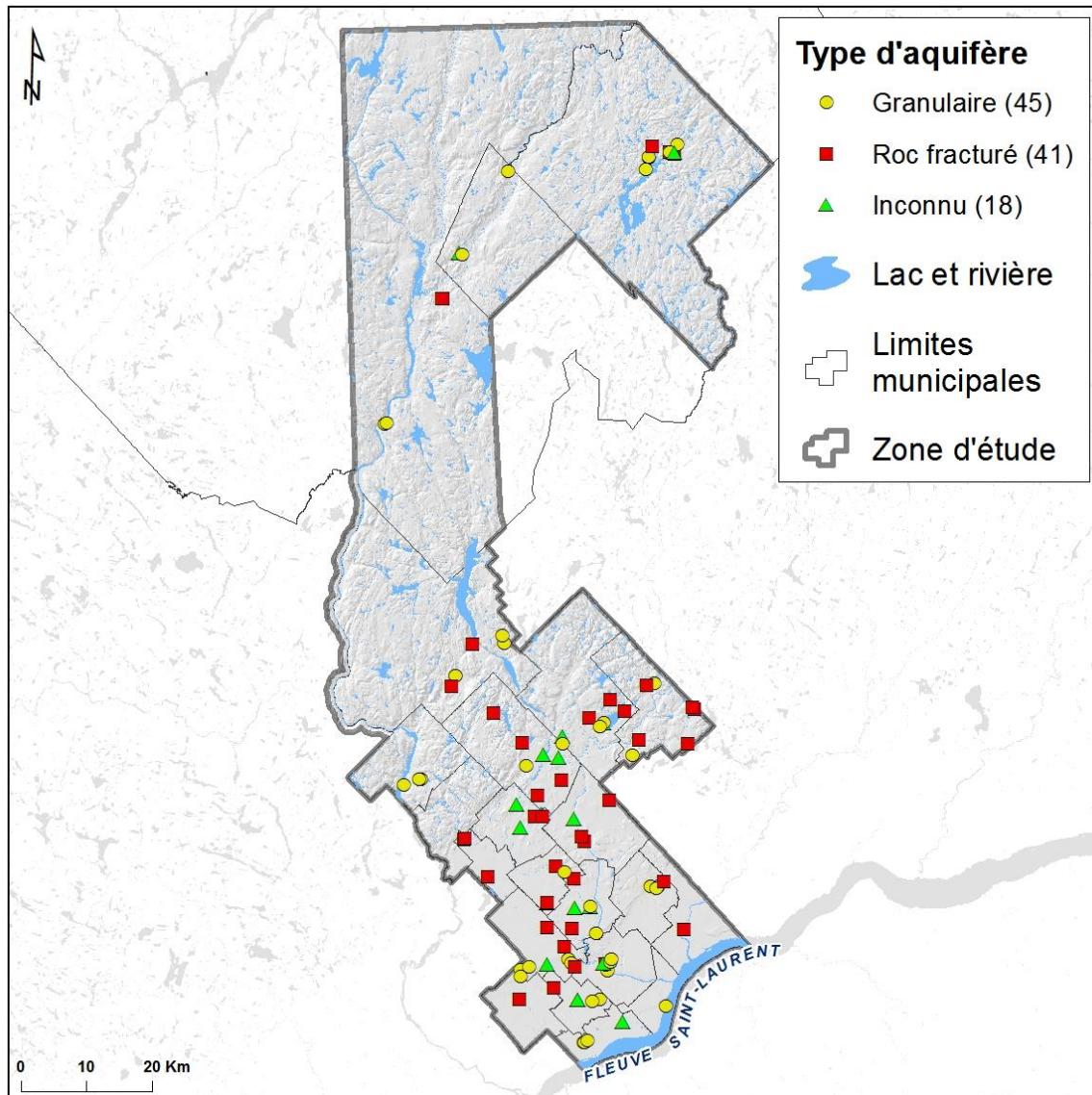


Figure 3-11 : Localisation des 104 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques montrant le type d'aquifère, i.e. roc fracturé ou dépôts granulaires..

<sup>5</sup> 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 3-12, sur l'ensemble du territoire, l'équipe a échantilloné :

- treize (13) sources;
- cinquante-neuf (59) puits tubulaires;
- treize (13) pointes;
- seize (16) puits de surface;
- trois (3) gélinites;

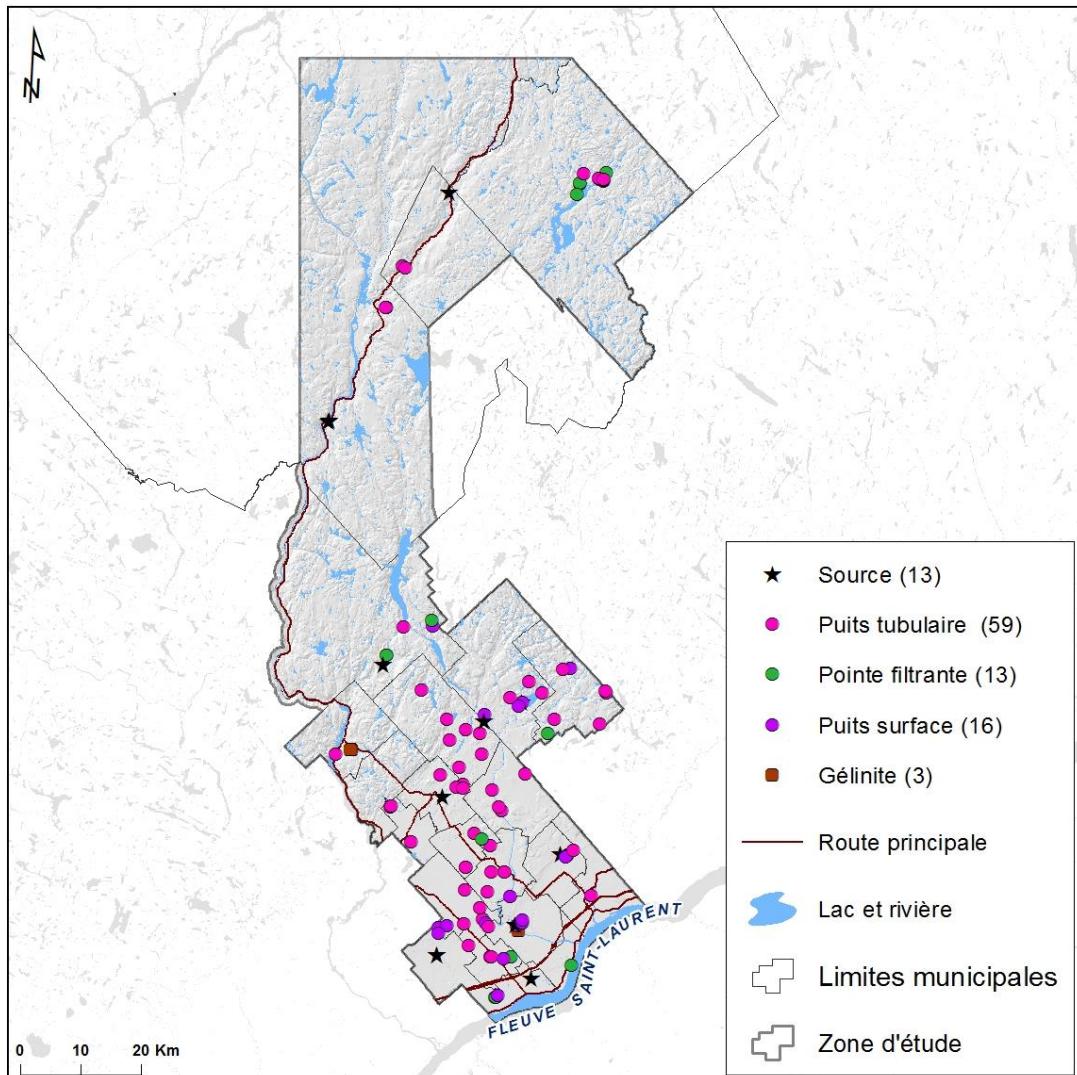


Figure 3-12 : Localisation des 218 stations échantillonnées pour les paramètres hydrogéochimiques et indication du type de captage.

### **3.5 Essais de pompage courte durée et levés piézométriques**

---

Les essais de pompage de courte durée et les levés piézométriques sur le territoire de l'est de la Mauricie ont été réalisés pendant la campagne hydrogéochimique (section 3.4), soit du début juin à la fin du mois d'août 2019.

#### **3.5.1 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.

#### **3.5.2 Description de la méthode**

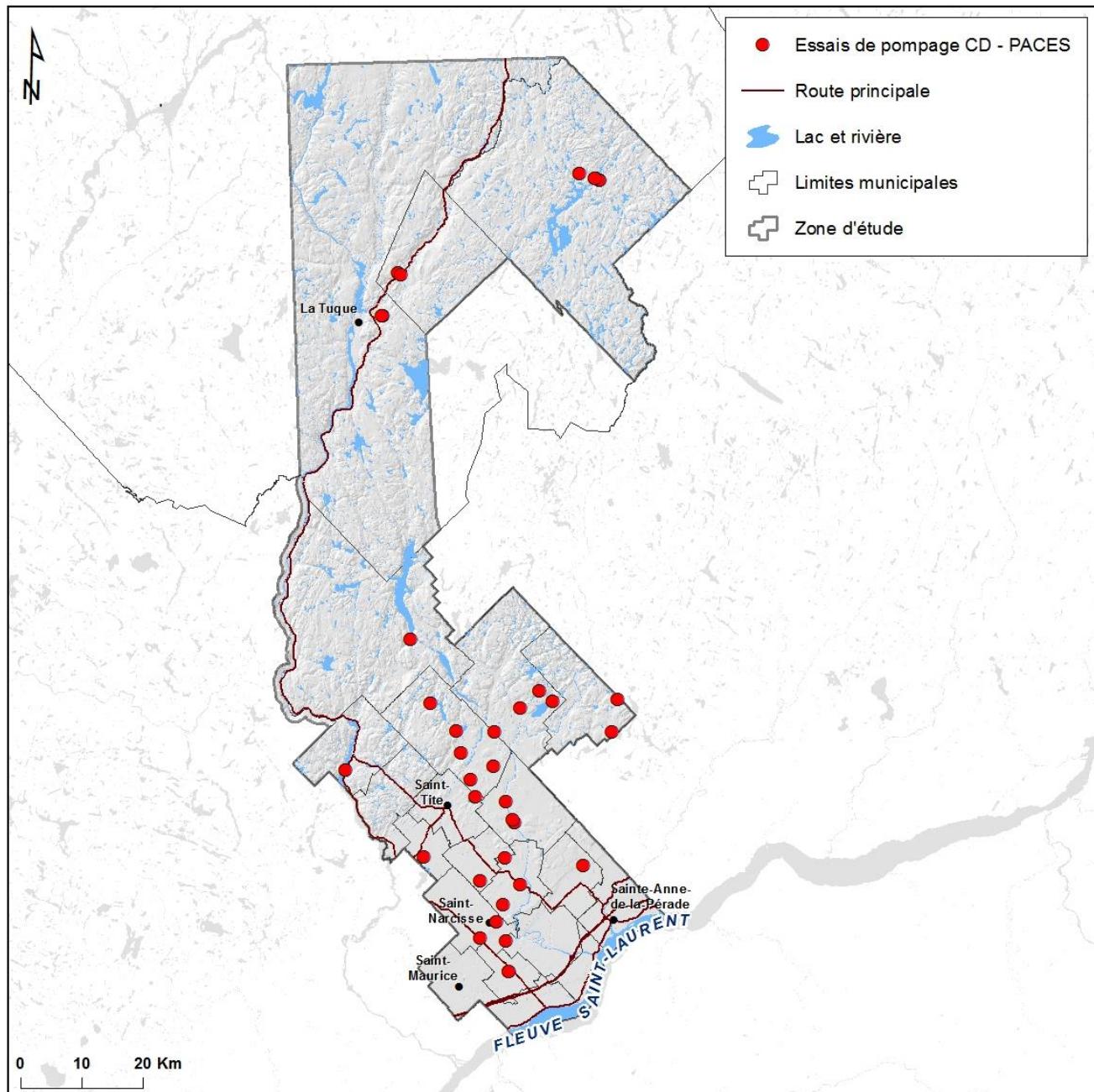
Les essais de pompage sont effectués dans des puits existants, la plupart du temps des puits privés, à l'intérieur desquels une pompe submersible est déjà en place. La mesure du niveau naturel (niveau statique) du toit de la nappe est notée avant de démarrer le pompage. Puis, lorsque le pompage commence, 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 3-13 : Mesure du niveau d'eau dans le puits pendant l'essai de pompage.*

### **3.5.3 Localisation**

En 2019, trente-sept (37) 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. 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 3-14 : Localisation des essais de pompage effectués lors de la campagne de terrain réalisée au cours de l'été 2019.*

### 3.6 Données acquises pour les projets de recherche

Plusieurs données ont été acquises sur le territoire (figure 3-15) 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 :

- seize (16) relevés d'affleurement de toit de nappe le long de la moraine de Saint-Narcisse (section 9.1);
- seize (14) levés d'affleurement du socle rocheux le long de la moraine de Saint-Narcisse (section 9.2);
- les résultats d'analyse chimique de quinze (15) échantillons prélevés dans un (1) puits dans le cadre de l'analyse de la représentativité du protocole d'échantillonnage (section 9.3);
- les résultats d'analyse chimique de dix (10) échantillons de puits prélevés pour la campagne isotopique (section 9.4).

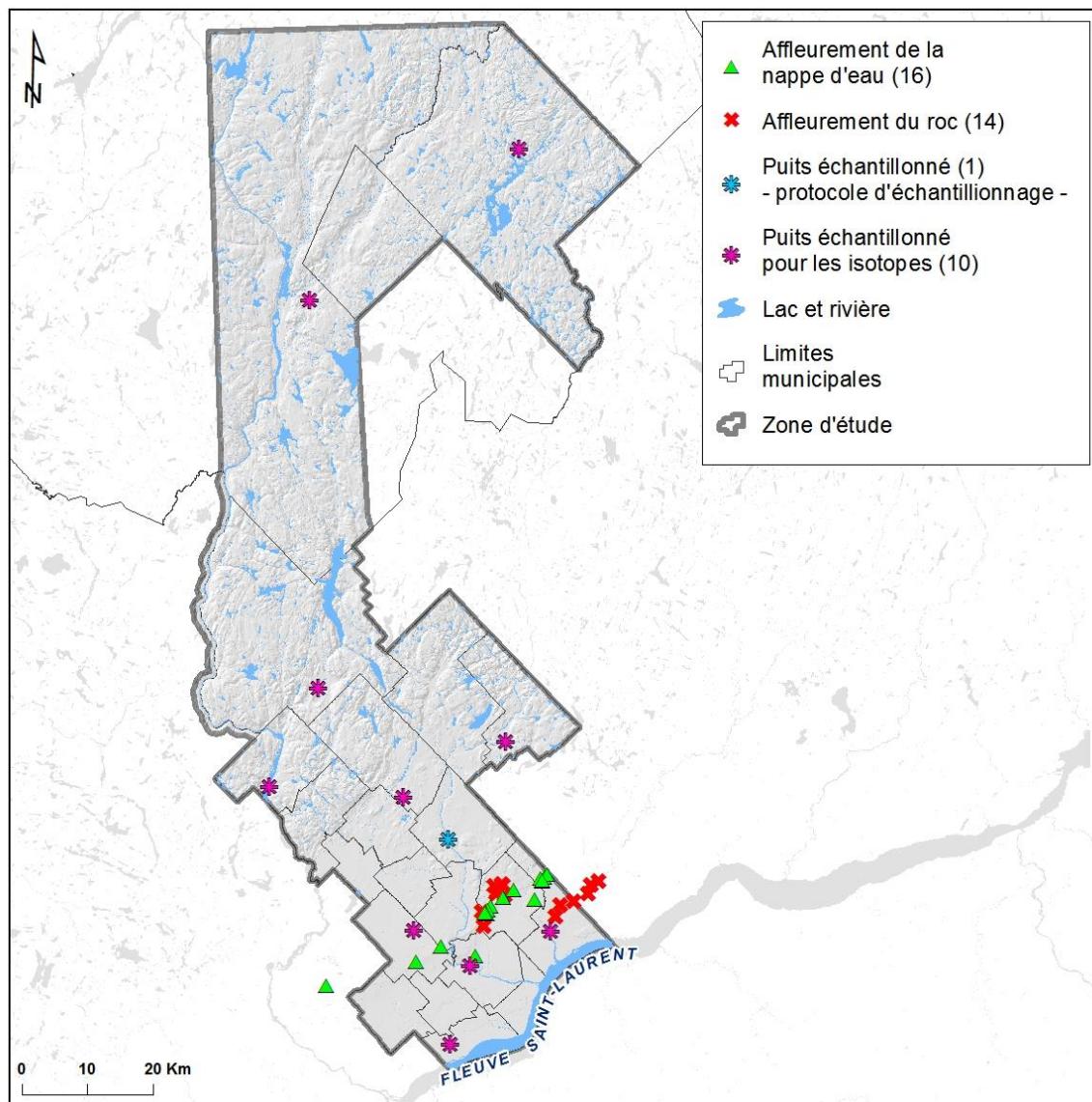
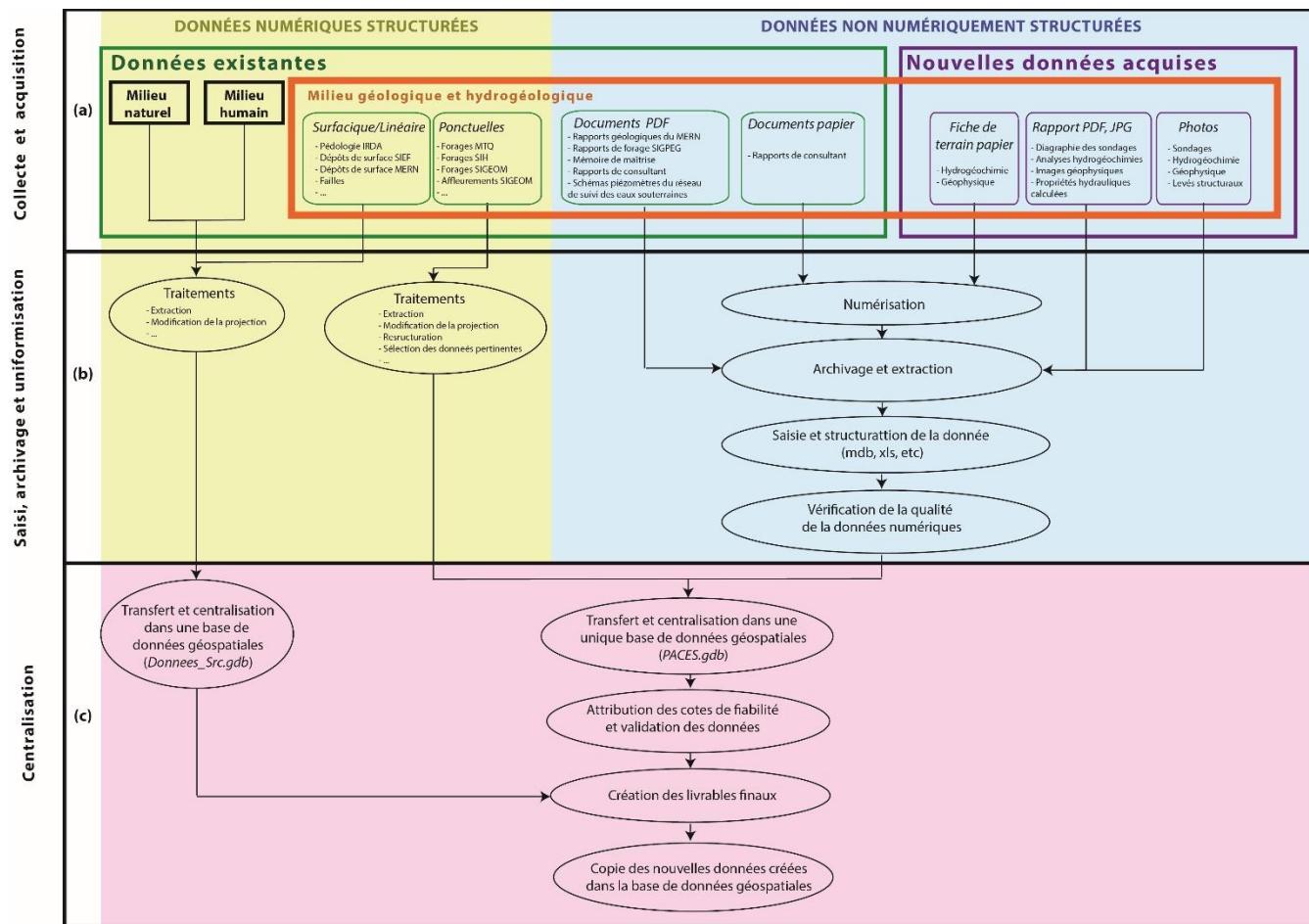


Figure 3-15 : Localisation des levés terrain réalisés dans le cadre du PACES pour répondre aux objectifs des projets de recherche (chapitre 9).

## 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.



Saisi, archivage et uniformisation

Centralisation

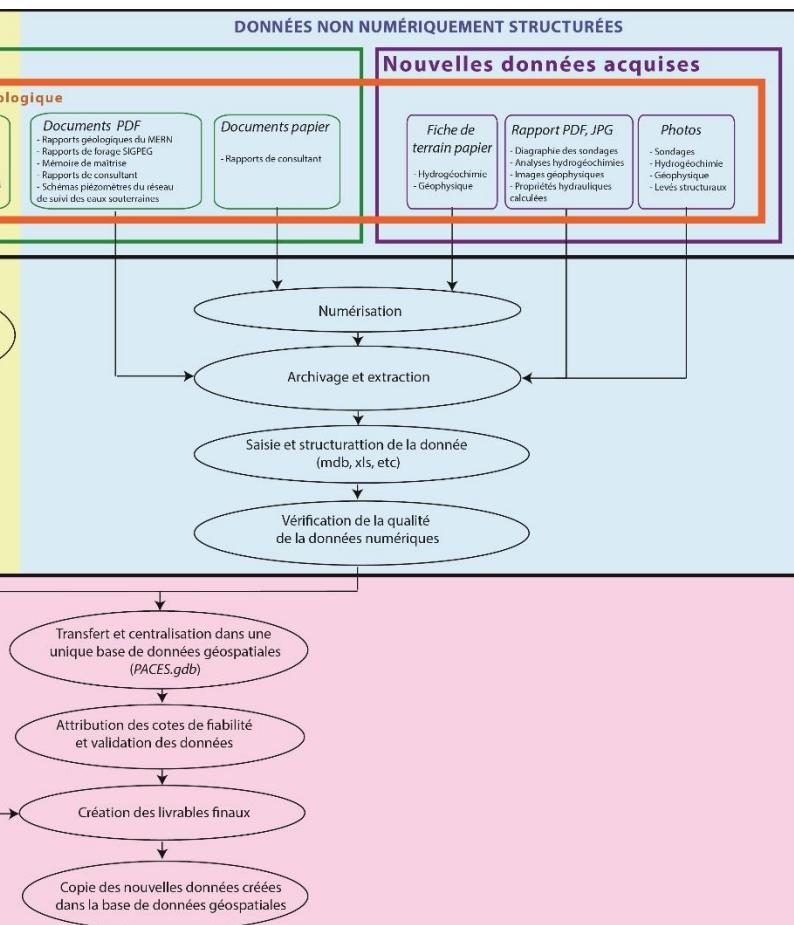


Figure 4-1 : Processus d'acquisition et de centralisation des données.

## **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, **6 323 stations d'information géologiques et hydrogéologiques ponctuelles** ont été récupérées et traitées ainsi que **6 758 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.

<b>Propriétaire</b>	<b>Base de données / Organisme</b>	<b>Nombre de stations récupérées et traitées</b>	<b>Pourcentage</b>
MERN	SIGEOM - Forage	1 365	22%
MERN	SIGEOM – Projet Quaternaire	206	3%
MTQ	-	538	9%
MELCC	SIH	2 939	46%
MELCC	PACES précédents et adjacents	1 275	20%
<b>TOTAL</b>		<b>6 323</b>	

Le tableau 4-1 montre qu'un peu moins de la moitié des stations déjà structurées numériquement recueillies proviennent du SIH (46%), et que les deux autres sources principales sont le SIGEOM et les bases de données PACES (projets précédents et adjacents au territoire d'étude) pour des pourcentages de 22% et 20% respectivement.

#### **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 9. 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 l'est de la Mauricie.

##### 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 l'est de la Mauricie, 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 **198** 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 **5** 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 **198** 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 198 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 été extraites des rapports de cartographie géologique du MERN (tableau 2-4). 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	414
Essais de pompage	171
Coupes stratigraphiques	5
Levés de sismique réfraction	58
Cartes piézométriques	25
Analyses granulométriques	156
Rapports d'analyses hydrogéochimiques	250
Essais de perméabilité	3
Carte localisant des puits ou des forages	108
Carte localisant des coupes stratigraphiques	2
Carte localisant des levés sismiques réfractions	13
Carte localisant des aires d'alimentation	27

#### 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 7. 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, **613** stations ponctuelles d'information géologique et hydrogéologique (forages, puits ou piézomètres, etc.) ont été saisies dans cette base de données. Puisque 227 stations n'ont pu être localisées sur le territoire, seulement **386 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 386 stations répertoriées dans le tableau 4-4, plus de la moitié, soit 221 stations, ont été localisées de cette façon. Ces dernières ont aussi permis de vectoriser **35** lignes de sismique réfraction. 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	386 <sup>1</sup>	0	35
Schéma de piézomètres	Réseau du suivi des eaux souterraines du Québec (RSESQ)	5	-	

<sup>1</sup>Compte trois nids de piézomètre

#### 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, **394** nouvelles stations d'information **géologiques et hydrogéologiques ponctuelles** ont été créées. Le tableau 4-1 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
Stations de levés géophysiques	158
Campagne hydrogéochimie	104
Stations stratigraphiques et affleurements du roc	114
Forage	1
Affleurements de la nappe	17
<b>Total</b>	<b>394</b>

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, XLS**

Les résultats des forages réalisés (section 3.2) ont été obtenus sur des rapports PDF. Au total, **1** rapport de sondage a été archivé.

Les résultats des analyses hydrogéochimiques sur les échantillons recueillis pendant la campagne d'échantillonnage fournis par le laboratoire *Bureau Veritas* (anciennement *Maxxam*) ont aussi été reçus en format PDF. Au total, **114** certificats d'analyse (106 proviennent de la campagne hydrogéochimique et 8 pour l'évaluation du protocole d'échantillonnage) ont été archivés dans des documents PDF distincts (tableau 4-6). Les résultats d'analyse isotopique se retrouvent dans 3 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 : **39** photographies lors des visites des municipalités, **289** lors de la visite de stations stratigraphiques (section 3.1), **350** pendant la campagne hydrogéochimie (section 3.4), **32** lors de la réalisation des forages et **125** pendant les levés géophysiques (section 3.2). Les **629** photographies prises pendant le projet de cartographie des dépôts quaternaires qui a eu lieu en parallèle ont aussi été archivées de la même façon.

Les données géophysiques brutes collectées sur le terrain (section 3.2) ont été traitées et sont présentées sous forme de fichier image (.bmp, .png, .jpg et .wmf). Au total, **273** images de levés électromagnétiques (TEM) et **55** images de levés tomographie électrique (TOMO).

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	106
Isotope	3
Représentativité protocole	8
Levés géophysiques	
TEM	273
TOMO	55
Photographie PACES	835
Photographie Quaternaire	629

#### **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.

Station

**Identification du site**

Numéro du site	Municipalité	CodeMRC	Adresse	Schéma Site
H001	Chic	FJORD	3746 Chemin St-Pierre	<input type="checkbox"/>
Personne Ressource	Téléphone	Préleveur	Environnement	Schéma Stratigraphique
Germain Riverin	(418) 549-7888	MB	T1	<input type="checkbox"/>
Projet	Fiche terrain	Accord pour forer		
111	H001-Chicoutimi-230620	<input type="checkbox"/>		

**Puits**

**Identification Puits**

Nom Puits	Année Construction	Nom du Puisatier	Altitude	Estant	Nordant	UTM	Projection	Zone	Source Coord	Feuillet
H001-1	1979		150	340222	5358653	<input checked="" type="checkbox"/> MTM	NAD83	19	GPS	022D06

**Caractéristiques physiques**

Prof. (m)	Diam. (cm)	Longueur Crépine (m)	Profondeur Crépine (m)	Type Tubage	Longueur Margelle (cm)	Type Pompe	Profondeur Pompe (m)	Aérateur
44.20	15.24			A	-5.00	3/4 de force submersible	40.54	<input type="checkbox"/>

**Conditions**

Condition Ouvrage	Type Aquifère	Type Nappe	Jaillissante	Type Ouvrage
F	P	S	A	<input checked="" type="checkbox"/> Pu
Etat	Propriétaire			

**Stratigraphie** **Échantillons**

**Utilisation Ressource**

Utilisation	Analyse	Copie
Domestique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Disponibilité Ressource	Nombre Utilisateur	
	1	
Variation Qualité	Traitement	

**Observations**

Date observation	Observé par	Intérêt	Météo	Température de l'air	QaQc
2010-06-23	MB	H3	N	23	<input type="checkbox"/>
2010-06-23	MB	K1	N	23	<input type="checkbox"/>

**Essais pompage (H3)** **Essai pompage (H3)** **Propriétés (H3)** **Niveau Eau (K1)** **Paramètres (K1)** **Notes** **Photos**

Puits pompé = puits observé      Puits pompé != puits observé

Enr : 1 sur 2    Aucun filtre    Rechercher

LV-Station LV-Localisation LV-Caract-1 LV-Caract-2 LV-Autres LV-Unités Conversion Unités

Fermer

Enr : 1 sur 264    Aucun filtre    Rechercher

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

La base de données contenant les **104** fiches de terrain remplies pendant la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique (section 3.4) est fournie à l'annexe numérique AN 7.

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 9, afin d'évaluer la fiabilité et la validité des données hydrogéologiques ponctuelles.

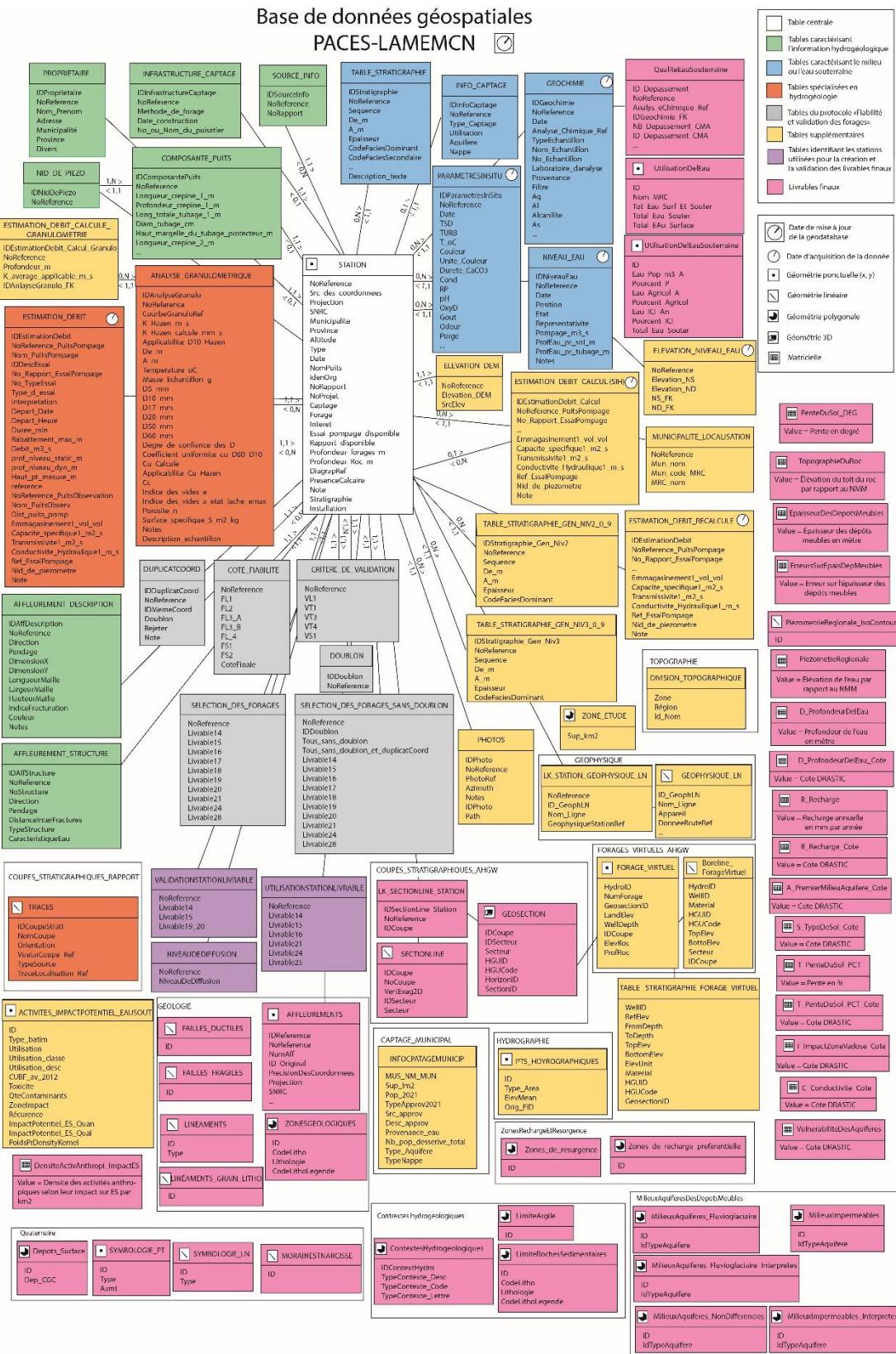
L'application de ce protocole permet de sélectionner les stations les plus pertinentes pour la création des livrables requis dans le cadre du projet PACES. Ce protocole est appliqué une fois que les données sont entrées dans la base de données géospatiales. Ainsi, les données sont soumises à différents 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 l'est de la Mauricie, 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.



*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 **7 112** 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)	390 <sup>1</sup>	5
MTQ - MTMDT	538	8
SIGEOM - MERN	1 365	19
Station QUATERNAIRE - MRN	206	3
SIH - MELCC	2 939	41
RSESQ - MELCC	5	<0.1
PACES précédents et adjacents - MELCC	1 275	18
SIGPEG	19	
BD privées et municipales	95	
PACES-UQTR	116	
Rapports de consultants	425	
Rapports du MELCC	54	
MTQ	566	
PACES-LAMEMCN – section Mauricie-Est (UQAC)	394	6
<b>Total</b>	<b>7 112</b>	<b>100%</b>

<sup>1</sup> Quatre (4) 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 8.

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 l'est de la Mauricie 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

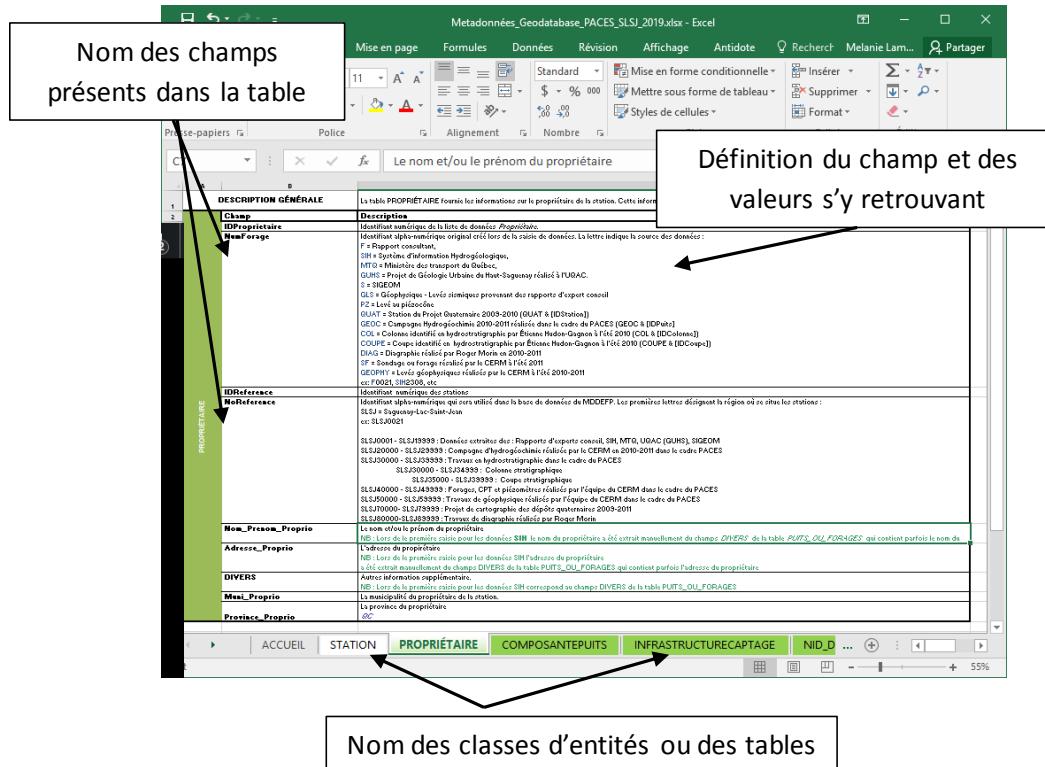
Les coupes stratigraphiques récupérées et interprétées dans le cadre du PACES (section 6.3) sont aussi disponibles en format PDF dans le dossier **1\_Leves\_PACES**.

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 8. 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.



*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 8.

#### **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 l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie (chapitre 7) tel 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 :

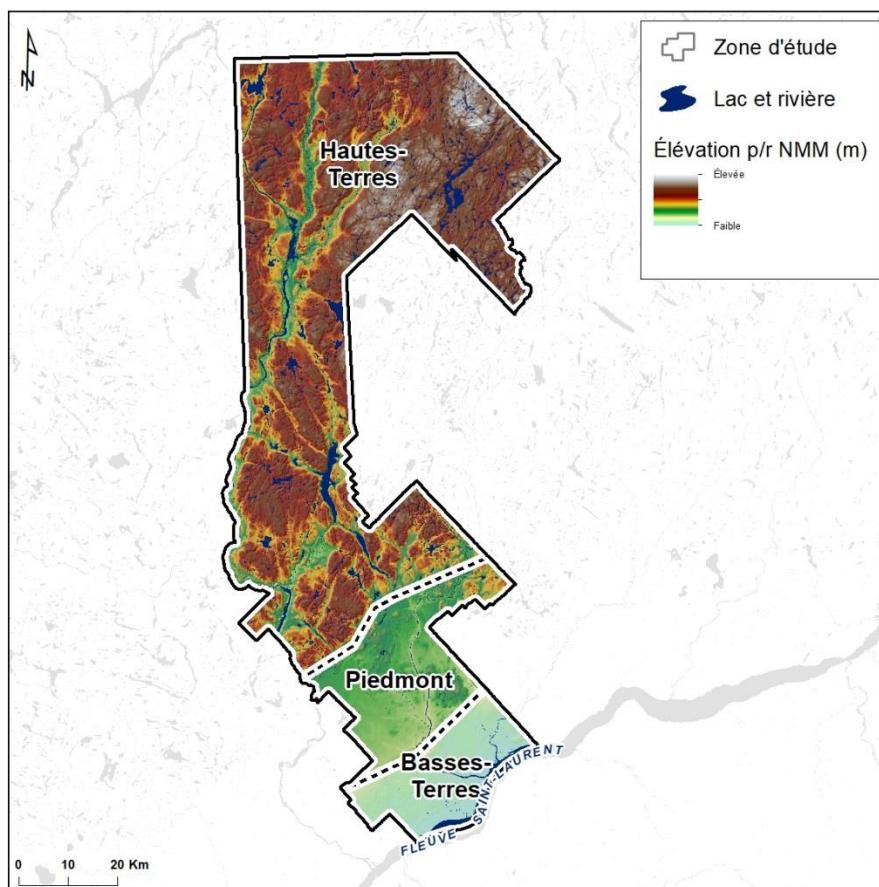
- **la topographie** est le principal moteur de l'écoulement de l'eau de surface, elle influence le ruissellement des eaux de surface et l'infiltration des eaux souterraines;
- **l'hydrographie** présente les importants lieux de drainage des eaux souterraines; le débit des cours d'eau reflète à la fois 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  $\pm 10$  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  $\pm 1$  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 l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie 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'est dans la municipalité du Lac-Édouard et atteint une altitude de 617 m. La limite entre les Hautes-Terres et le piedmont est définie à une altitude d'environ 180 m. Les Hautes-Terres occupent 77% du territoire soit une superficie de 4 544 km<sup>2</sup>. Les collines sont généralement recoupées de vallées étroites orientées N-NO/S-SE, notamment la vallée de la rivière Saint-Maurice, contrôlant le réseau hydrographique.

### 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 836 km<sup>2</sup> soit 14% du territoire à l'étude. 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 et suit la faille de Saint-Prosper à l'est de la zone d'étude. Elle s'élève à une altitude moyenne de 148 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 31 m et sont principalement limitées au nord par la ligne d'élévation de 80 m. Le point le plus bas se situe sur l'Île de la Batture de la municipalité de Sainte-Anne-de-la Pérade et atteint 2,5 m en dessus du niveau de la mer. Les Basses-Terres occupent 9 % du territoire avec une superficie d'environ 555 km<sup>2</sup>. 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, telles que la vallée de la rivière Saint-Maurice. Ces vallées peuvent éventuellement traduire la position de failles majeures ou des zones d'intense fracturation où l'érosion par les glaciers a été plus importante lors des 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 N-S et sont tributaires de la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Le territoire de l'est de la Mauricie comprend 6 principales rivières, à savoir les rivières Batiscan, Croche, Vermillon, Saint-Maurice, Champlain et Sainte-Anne (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)
Batiscan	Lac Édouard	Fleuve Saint-Laurent	196
Croche	Lac du Caribou	Fleuve Saint-Laurent	161
Saint-Maurice	Réservoir Gouin (Lac du Mâle)	Fleuve Saint-Laurent	563
Sainte-Anne	Lac Sainte-Anne	Fleuve Saint-Laurent	123

Rivière	Source principale, affluence	Exutoire, confluence	Longueur (km)
Bostonnais	Lac Ventadour	Rivière Saint-Maurice	124
Mékinac	Lac Mékinac	Rivière Saint-Maurice	26
des Envies	Lac de la Traverse	Rivière Batiscan	74
Champlain	Ruisseau	Fleuve Saint-Laurent	50

Les principaux lacs retrouvés sur le territoire de l'est de la Mauricie sont les lacs Édouard, Mékinac et Wayagamac (figure 5-2). Le tableau 5-2 présente leur altitude et leur superficie.

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

Lac	Altitude (m)	Superficie (km <sup>2</sup> )
Édouard	363	24
Mékinac	165	23
Wayagamac	265	23

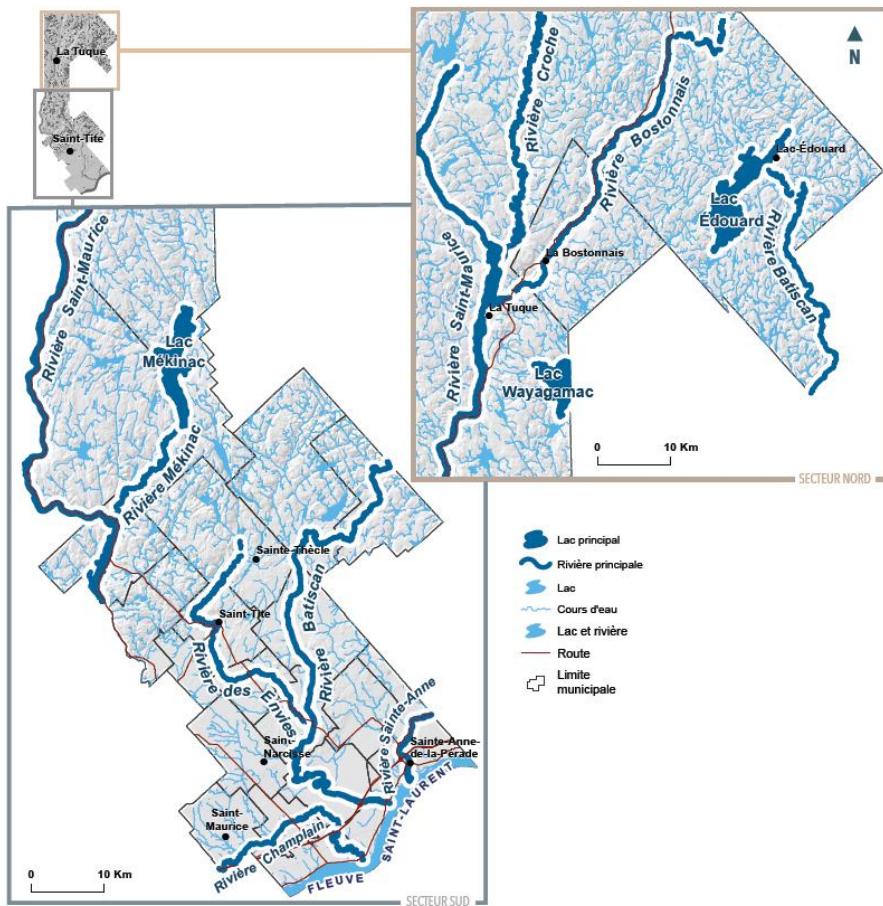


Figure 5-2 : Principales rivières présentes sur le territoire.

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.

Nom	Numéro	Période d'observation	Débit moyen <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Débit max <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Débit min <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Bassin versant à la station (km <sup>2</sup> )
Batiscan	050304	1967 - 2018	99,5	585,0	20,0	4 482
Croche	050135	1965 - 2018	30,1	247,0	5,6	1 551
Saint-Maurice	050109	1929 - 1961	311,3	1840,3	311,3	40 136

<sup>1</sup>Moyenne annuelle des débits moyens mensuels (m<sup>3</sup>/s)

<sup>2</sup>Moyenne annuelle des débits maximums mensuels (m<sup>3</sup>/s)

<sup>3</sup>Moyenne annuelle des débits minimums mensuels (m<sup>3</sup>/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 l'est de la Mauricie est situé en aval du Lac Saint-Pierre et en amont de l'île d'Orléans. Ce tronçon du fleuve Saint-Laurent est caractérisé par de l'eau douce et affiche un débit moyen de l'ordre de 12 600 m<sup>3</sup>/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 15 bassins versants (de niveau 1) dont les 4 principaux sont ceux des rivières Saint-Maurice, Batiscan, Sainte-Anne et Champlain, qui représentent respectivement 56%, 33%, 5% et 3% de la superficie du territoire municipalisé de l'est de la Mauricie. 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 l'est de la Mauricie

Nom du bassin versant	Superficie totale (km <sup>2</sup> )	Superficie au sein du territoire (km <sup>2</sup> )	Proportion que représente le BV sur le territoire	Portion du BV dans la zone d'étude par rapport à sa superficie totale
Saint-Maurice, Rivière	42 657	3320	55,9%	8%
Batiscan, Rivière	4675	1947	32,8%	42%
Sainte-Anne, Rivière	2710	282	4,7%	10%
Champlain, Rivière	313	204	3,4%	65%
Frères, Ruisseau des	18	18	0,3%	100%
Pépin, Ruisseau	15	15	0,2%	100%
Nobert, Ruisseau	9	9	0,1%	100%
Arbre à la Croix, Ruisseau de l'	9	9	0,1%	100%
Grimard, Ruisseau	8	8	0,1%	100%
Hertel, Ruisseau	8	8	0,1%	100%
Pères, Ruisseau des	7	7	0,1%	100%
Lacoursière, Ruisseau	4	4	0,1%	100%

<b>Nom du bassin versant</b>	<b>Superficie totale (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie au sein du territoire (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Proportion que représente le BV sur le territoire</b>	<b>Portion du BV dans la zone d'étude par rapport à sa superficie totale</b>
Petit Moulin à Scie, Ruisseau du	14	4	0,1%	28%
Cormier, Ruisseau	28	4	0,1%	13%
Saint-Ignace, Chenal	3	3	<0,1%	100%

### 5.1.3 Climat

La température moyenne annuelle sur l'ensemble du territoire est estimée à 4,4°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 752 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 l'est de la Mauricie (1981-2010)<sup>6</sup>.

<b>Nom de la station</b>	<b>Numéro de station</b>	<b>Température</b>			<b>Précipitation</b>				<b>Altitude de la station (m)</b>
		<b>Moyenne des max. mensuels (°C)</b>	<b>Moyenne des min. mensuels (°C)</b>	<b>Moyennes annuelles (°C)</b>	<b>Pluie (mm)</b>	<b>Neige (cm)</b>	<b>Précipitation totale (mm)</b>		
La Tuque	7 074 240	9,6 <sup>A</sup>	-2,2 <sup>A</sup>	3,7 <sup>A</sup>	742,4 <sup>A</sup>	190,3 <sup>A</sup>	927,6 <sup>C</sup>	168	
Lac-aux-Sables	701LEEH	9,7 <sup>A</sup>	-1,8 <sup>A</sup>	3,9 <sup>A</sup>	893,4 <sup>D</sup>	234,6 <sup>C</sup>	1 131,2 <sup>D</sup>	164	
Hérouxville	7 013 100	9,8 <sup>A</sup>	-2,0 <sup>A</sup>	3,9 <sup>A</sup>	794,5 <sup>D</sup>	216,3 <sup>C</sup>	1 019,4 <sup>D</sup>	155	
Saint-Narcisse	7 017 585	10,2 <sup>A</sup>	-0,7 <sup>A</sup>	4,7 <sup>A</sup>	885,6 <sup>C</sup>	180,9 <sup>A</sup>	1 067,9 <sup>C</sup>	52	
Sainte-Anne-de-la-Pérade	7 016 840	10,1 <sup>A</sup>	-0,6 <sup>A</sup>	4,7 <sup>A</sup>	897,5 <sup>A</sup>	250,2 <sup>A</sup>	1 146,6 <sup>A</sup>	18	
Champlain	7 011 290	10,2 <sup>A</sup>	-0,4 <sup>A</sup>	4,9 <sup>A</sup>	852,6 <sup>A</sup>	207,6 <sup>A</sup>	1 062,6 <sup>A</sup>	12	

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.

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

#### **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 l’est de la Mauricie comprend :

- 49 % de forêt mélangée ;
- 34 % de feuillus ;
- 17 % 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 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 la Mauricie-Est. Le fait de n’observer aucune des sept catégories de zones humides 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).

### **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 l’est de la Mauricie possède une population de 37 179 habitants répartie sur une superficie d’environ 6 000 km<sup>2</sup> s’étendant sur une largeur d’environ 37 km du NE au SO et sur une longueur d’environ 158 km du N au S. La figure 5-3 présente la délimitation du territoire en Municipalités régionales de comté (MRC).

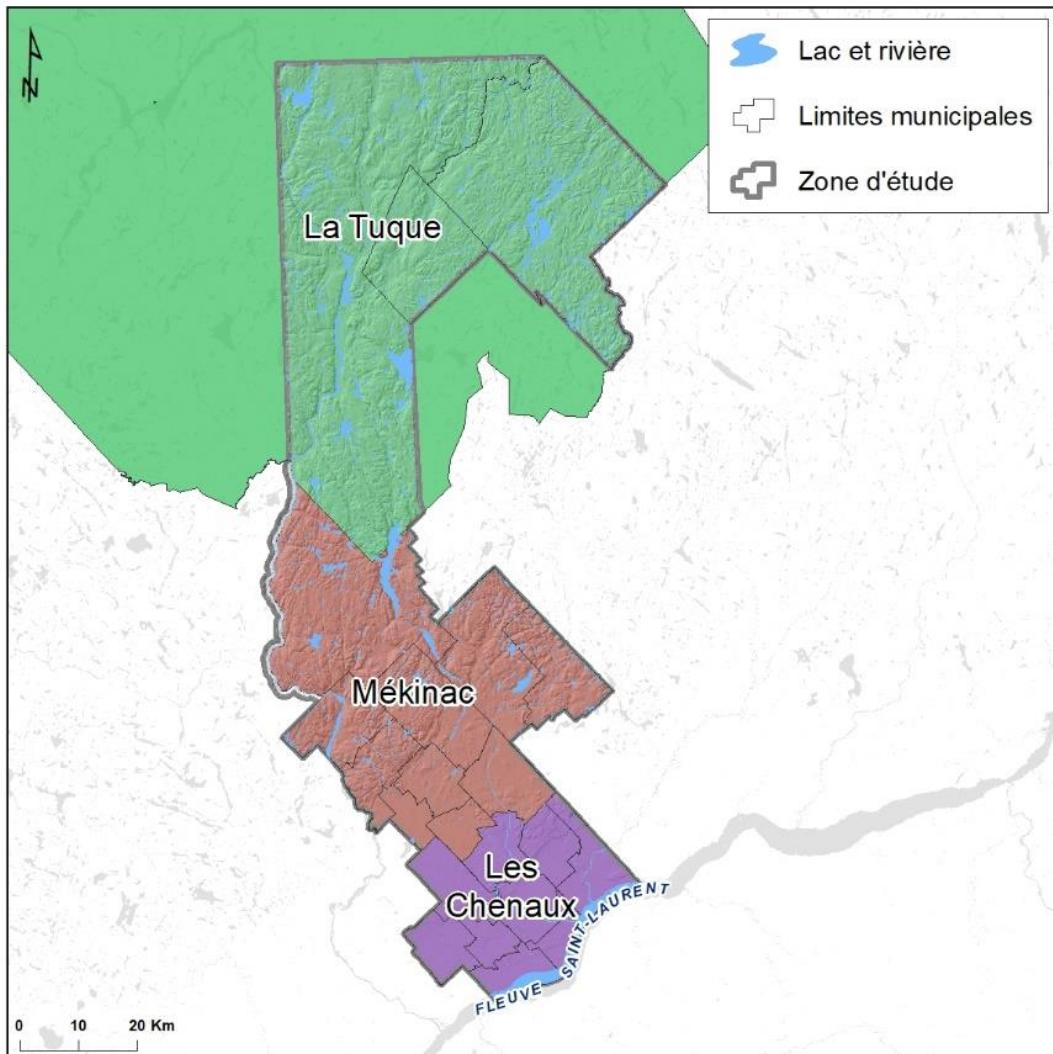


Figure 5-3 : MRC de la région de l'est de la Mauricie.

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 2 municipalités régionales de comté (MRC), Les Chenaux et Mékinac et de l'agglomération de La Tuque. Respectivement, chacune d'entre elles occupe 26%, 13% et 33% du territoire municipalisé de l'est de la Mauricie (tableau 5-7).

Tableau 5-6 : Superficies municipales et nombre d'habitants par municipalité sur le territoire de l'est de la Mauricie.

Municipalités	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage par rapport au territoire	Population (2017) <sup>1</sup>
Agglomération de La Tuque			
La Tuque	512	9%	10 814
La Bostonnais	45	1%	544
Lac Édouard	987	17%	175
MRC de Les Chenaux			
Batiscan	45	1%	918
Champlain	58	1%	1 772
Sainte-Anne-de-la-Pérade	111	2%	2 054
Sainte-Geneviève-de-Batiscan	100	2%	1 034
Saint-Luc-de-Vincennes	54	1%	618
Saint-Maurice	90	2%	3 263
Saint-Narcisse	107	2%	1 826
Saint-Prosper	93	2%	525
Saint-Stanislas	91	2%	1 013
MRC de Mékinac			
Grandes-Piles	125	2%	397
Hérouxville	53	1%	1 316
Lac-aux-Sables	286	5%	1 300
Notre-Dame-de-Montauban	174	3%	765
Saint-Adelphe	139	2%	908
Sainte-Thècle	222	4%	2 495
Saint-Roch-de-Mékinac	156	3%	371
Saint-Séverin	62	1%	842
Saint-Tite	93	2%	3 762
Trois-Rives	651	11%	467

<sup>1</sup>Population des municipalités, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.

Tableau 5-7 : Superficie et population des Municipalités régionales de comté (MRC) et des agglomérations sur le territoire de l'est de la Mauricie.

	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de la superficie du territoire	Population (2017)	% de la population du territoire
<b>Agglomération de La Tuque</b>	1544	26%	11 533	31%
<b>MRC Les Chenaux</b>	751	13%	13 023	35%
<b>MRC de Mékinac</b>	1959	33%	12 623	34%

### 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, 1 autoroute (orientée E-

O) et 2 routes nationales (1 orientée E-O et 1 orientée N-S) donnent accès au territoire (tableau 5-8). L'une des voies ferrées longe le fleuve Saint-Laurent et traverse le territoire d'est en ouest. On retrouve 2 tronçons de voie ferrée orientés N-S dans le piedmont ainsi que dans les Hautes-Terres rendant l'ensemble du territoire bien desservi.

Tableau 5-8 : Routes nationales présentes sur le territoire et les municipalités desservies.

Autoroute/Route	Relie	À
40	Saint-Maurice	Sainte-Anne-de-la-Pérade
155	Lac-Edouard	Grandes-Piles
138	Saint-Maurice	Sainte-Anne-de-la-Pérade

### **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

Les industries retrouvées dans le nord de l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie se caractérise par les cultures de céréales et de fourrages. Des fermes d'élevage sont également présentes sur le territoire principalement dans le piedmont.

#### Tourisme

Le territoire de l'est de la Mauricie connaît une industrie touristique importante dans le nord du territoire et ce principalement à La Tuque. La Tuque est une région où plusieurs activités touristiques se développent dont la chasse, la pêche, la villégiature et la motoneige.

### **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 l'est de la Mauricie comprend principalement des affectations agroforestières et forestières dans les Hautes-Terres avec des affectations récréatives autour des cours d'eau et des lacs dans la MRC de Mékinac ainsi que des affectations résidentielles et commerciales le long de la vallée de la rivière Saint-Maurice et de la Bostonnais dans l'agglomération de la Tuque. Dans le piedmont et les Basses-Terres (MRC de Mékinac et les Chenaux), les affectations sont principalement agricoles et un peu agroforestières et forestières.

### **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 l'est de la Mauricie est principalement occupé par :

- des zones forestières (73% de la zone d'étude) observées dans tout le territoire ;
- le milieu aquatique représente 8% du territoire d'étude avec une plus grande présence de lacs au nord du territoire ;
- des zones agricoles (9%) dans le sud ;
- des zones d'occupation humaine (2%) au niveau de La Tuque et dans le sud.

Le reste du territoire est occupé par des milieux humides (4%), des coupes forestières ou des régénérations (3%) et des sols dénudés (<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 9.

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

<b>CUBF</b>	<b>Description</b>	<b>Nombre d'entités dans la zone d'étude</b>
<b>Niveau d'impact TRÈS ÉLEVÉ</b>		<b>11</b>
4854	Enfouissement sanitaire	4
4855	Dépotoir	2
4856	Dépotoir pour les rebuts industriels	1
8514	Extraction du minerai d'or et d'argent	4
<b>Niveau d'impact ÉLEVÉ</b>		<b>56</b>
3299	Autres industries de produits métalliques divers	1
3399	Autres industries de la machinerie industrielle et de l'équipement industriel	1
3480	Industrie de la construction et de la réparation d'embarcations	3
3840	Industrie de produits pharmaceutiques et de médicaments	1
4112	Aiguillage et cour de triage de chemins de fer	1
4311	Aéroport et aérodrome	1
4312	Aérogare	3
4316	Réparation et entretien des avions	1
4823	Transport et gestion du gaz par canalisations	18
4825	Distribution locale du gaz	1
4876	Station de compostage	1
5982	Vente au détail du mazout (sauf les stations-services)	2

<b>CUBF</b>	<b>Description</b>	<b>Nombre d'entités dans la zone d'étude</b>
6242	Cimetière	17
8542	Extraction de la pierre pour le concassage et l'enrochement	5
<b>Niveau d'impact MODÉRÉ</b>		<b>22 135</b>
1000	Logement	14 211
1100	Chalet ou maison de villégiature	3 991
1211	Maison mobile	270
1212	Roulotte résidentielle	117
1511	Maison de chambres et pension	3
1521	Local pour les associations fraternelles	1
1541	Maison pour personnes retraitées non autonomes (inclus les CHSLD)	14
1543	Maison pour personnes retraitées autonomes	33
1549	Autres maisons pour personnes retraitées	1
1553	Presbytère	2
1559	Autres maisons d'institutions religieuses	2
1590	Autres locaux de groupes	1
1911	Pourvoirie avec droits exclusifs	48
1912	Pourvoirie sans droits exclusifs	7
1913	Camp de chasse et pêche	37
1914	Camp forestier	174
1990	Autres immeubles résidentiels	818
2713	Industrie de produits de scierie et d'ateliers de rabotage	10
2799	Autres industries du bois	5
2914	Industrie de fabrication du carton ou de transformation du carton	1
3229	Autres industries de la fabrication d'éléments de charpentes métalliques	2
4842	Espace pour le séchage des boues provenant de l'usine d'épuration	1
4849	Autres systèmes d'égout	7
5531	Station-service avec réparation de véhicules automobiles	6
5532	Station libre-service, ou avec service sans réparation de véhicules automobiles	3
5533	Station libre-service, ou avec service et dépanneur sans réparation de véhicules automobiles	13
5539	Autres stations-service	2
5593	Vente au détail de pièces de véhicules automobiles et d'accessoires usagés	4
6412	Service de lavage d'automobile	1
6413	Service de débossage et de peinture d'automobiles	9
6415	Service de remplacement de pièces et d'accessoires d'automobiles	1
7412	Terrain de golf (avec chalet et autres aménagements sportifs)	3
8121	Élevage de bovins de boucherie	38
8122	Élevage de bovins laitiers	210
8123	Élevage de porcs	17
8124	Élevage d'ovins	5
8125	Élevage de volailles et production d'œufs	10
8126	Élevage d'équidés	8

<b>CUBF</b>	<b>Description</b>	<b>Nombre d'entités dans la zone d'étude</b>
8127	Élevage caprin	2
8129	Autres types de production animale	6
8132	Cultures de céréales, de plantes oléagineuses et de légumineuses	32
8133	Cultures de légumes	36
8134	Cultures de fruits ou de noix	16
8135	Horticulture ornementale	6
8139	Autres types de production végétale	748
8191	Terrain de pâture et de pacage (non intégré à une ferme ou à un ranch appartenant en général au domaine public)	721
8199	Autres activités agricoles	214
8311	Exploitation forestière	206
8312	Pépinière forestière	21
8319	Autres productions ou récolte de produits forestiers	41
<b>Niveau d'impact FAIBLE</b>		<b>421</b>
2093	Industrie de la bière	1
2095	Industrie de l'eau naturelle et gazéifiée	1
3649	Autres industries de produits en béton	1
3650	Industrie du béton prépare	2
4811	Centrale hydraulique et hydroélectrique	5
4819	Autres activités de production d'énergie	3
4841	Usine de traitement des eaux usées	12
4879	Autres activités de récupération et de triage	3
5811	Restaurant et établissement avec service complet (sans terrasse)	26
5812	Restaurant et établissement avec service complet (avec terrasse)	14
5813	Restaurant et établissement avec service restreint	11
5819	Autres établissements avec service complet ou restreint	1
6411	Service de réparation d'automobiles (garage)	30
8128	Apiculture	1
8131	Acériculture	272
8421	Pisciculture	5
8543	Extraction du sable et du gravier	33
<b>TOTAL</b>		<b>22 623</b>

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 quantitatif 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.*

<b>Cote d'impact potentiel</b>	<b>Niveau d'impact potentiel</b>	<b>Poids attribué par niveau d'impact potentiel pour le calcul de la densité des activités</b>
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 MELCC<sup>7</sup> 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, du piedmont aux Basses-Terres, et autour de La Tuque dans les Hautes-Terres. Les terrains contaminés affectant les eaux souterraines et les sols sont présents en plus grande quantité sur le territoire des municipalités affichant les plus fortes densités de population telles que Saint-Tite, Saint-Narcisse, Saint-Luc-de-Vincennes, Sainte-Anne-de-la-Pérade et La Tuque. Ces municipalités sont toutes situées principalement au sud du territoire, mise à part La Tuque dans les Hautes-Terres. Un seul terrain contaminé affectant les eaux souterraines est présent sur le territoire et il se situe au nord de la municipalité de La Tuque. Les activités agricoles sont principalement concentrées dans les Basses-Terres et le piedmont.

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,

<sup>7</sup> [www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp)

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 l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie incluant de brèves descriptions lithologiques et structurales (section 6.1). Les principaux types de dépôts de surface 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 à la surface du socle rocheux. La topographie, 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 l'est de la Mauricie 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 km<sup>2</sup>, du Mexique au Labrador, jusqu'en Scandinavie. Dans les zones d'étude du présent rapport, **les roches grenvillaises** constituent la portion nord du territoire municipal et couvrent une superficie de 91 % 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 la Mauricie-Est, 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 8 % et leur altitude moyenne est de 26 m.

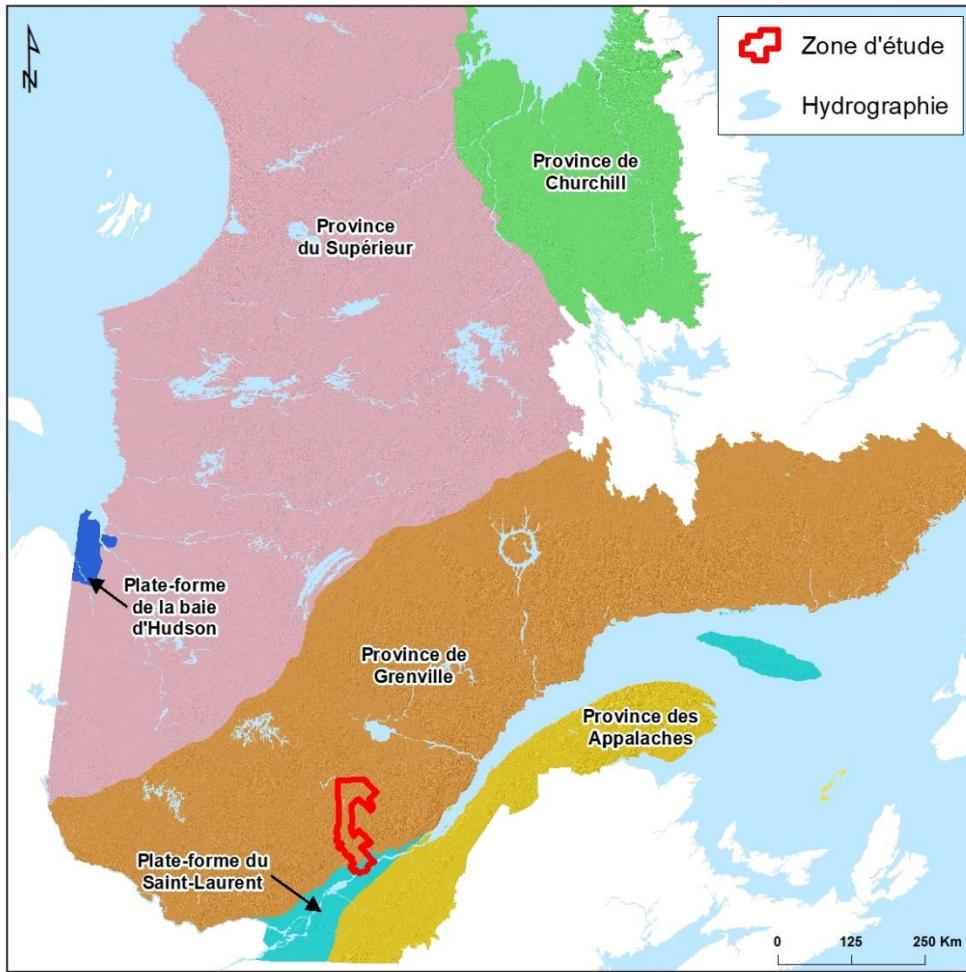


Figure 6-1 : Localisation de la zone d'étude par rapport aux provinces géologiques du Québec.

### **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 la Mauricie-Est, 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 l'est de la Mauricie.

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	Gabbronorite de Shawinigan	Gabbronorite 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

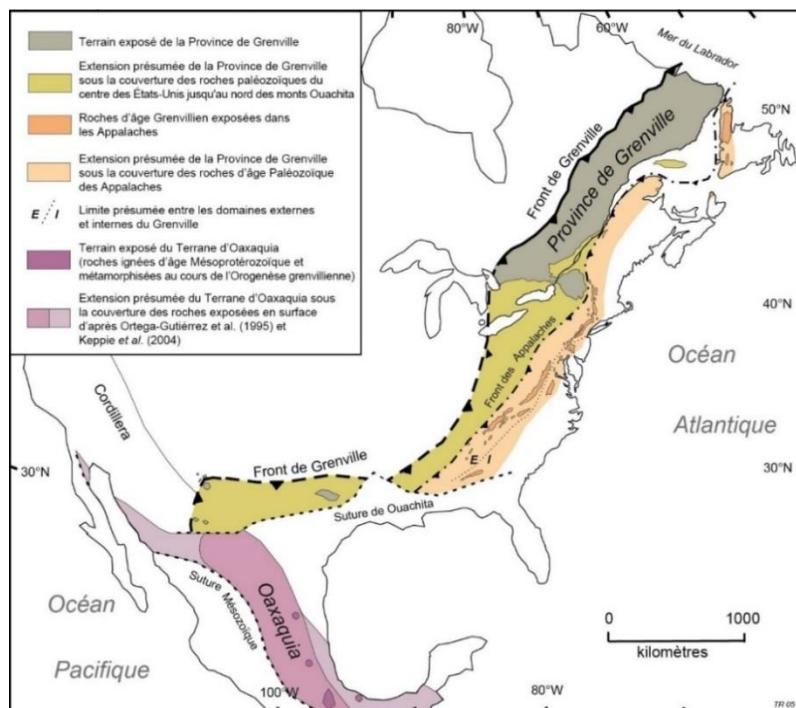


Figure 6-2 : Tracé exposé et présumé de la province de Grenville<sup>8</sup>.

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

À l'ouest du territoire d'étude, la région du SO de la Mauricie a été cartographiée par un projet PACES entre 2009 et 2013 (Leblanc *et al.*, 2013).

Plusieurs cartes géologiques sont proposées sur le site du SIGEOM pour la région de l'est de la Mauricie, à savoir :

- la carte de O'Neill et Osborne (1938a) dans la région de Montauban-les-mines et de Portneuf et le rapport associé O'Neill et Osborne (1938 b),
- La carte de Pyke (1965) ainsi que le rapport associé Pyke (1666),
- le rapport géologique de Rondot (1978) sur la région du Saint-Maurice,
- la carte de Globensky (1985) dans la région des Basses-Terres du Saint-Laurent ainsi que le rapport associé (Globensky, 1987),
- la carte de la gîtologie de la région de Montauban (Morin, 1986) et le rapport associé (Morin *et al.*, 1987),
- la carte géologique de Plante (1989) dans la région de Grondines-Montauban,
- la carte géologique et structurale de Nadeau et Brouillette (1995) qui couvre toute la partie du territoire à l'étude.

Selon les cartes de Rivers *et al.* (1989) et de Rivers (2009), la province de Grenville est composée de trois grandes entités lithotectoniques : le paraautochtone, l'allogène monocyclique et l'allogène polycyclique. Les roches précambriniennes observées sur le territoire de l'est de la Mauricie 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. Selon la carte présentée à la figure 6-3, le territoire d'étude est composé des roches du groupe Montauban, du complexe de la Bostonnais, du groupe Mékinac ainsi que des gneiss quartzo-feldspathiques. Au nord du territoire d'étude, le domaine Mekinak-Taureau forme un dôme cristal de plus de 80 km de diamètre dominé par des gneiss au faciès des granulites (Nadeau et Brouillette, 1995). Ce dôme est structuralement recouvert par le terrain de Morin à l'ouest et au sud et par le domaine de Portneuf-Mauricie à l'est. Le terrain de Morin comprend des métasédiments et des métavolcanites du Supergroupe de Grenville (Nadeau et Brouillette, 1995). Le domaine de Portneuf-Mauricie comprend des roches volcanosédimentaires du groupe Montauban qui sont recoupées par des roches métapluatoniques calco-alcalines du complexe de la Bostonnais (Nadeau *et al.* 1992 dans Nadeau et Brouillette 1995).

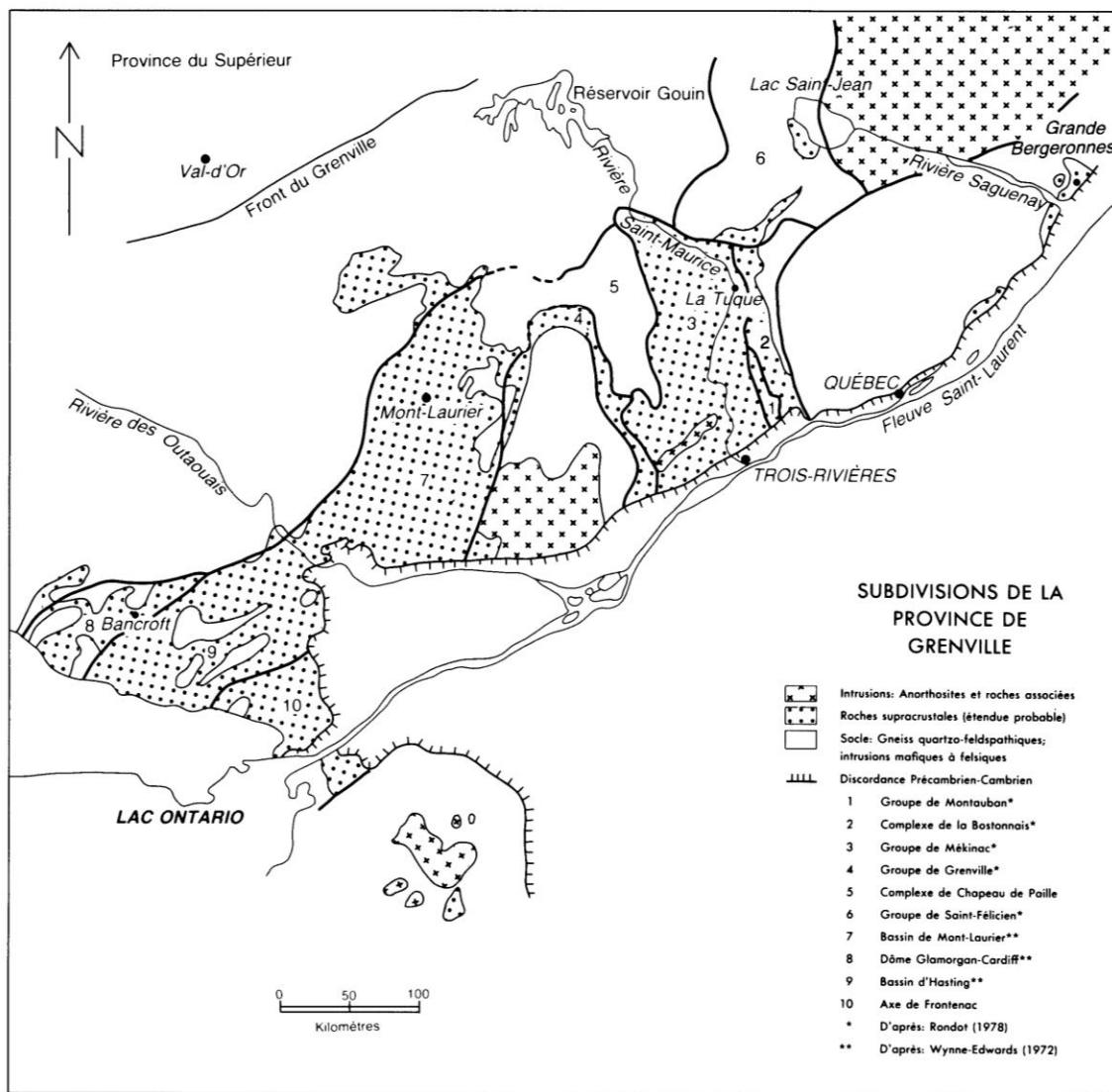


Figure 6-3 : Subdivision géologique de l'ouest de la Province de Grenville (Morin et al., 1987).

#### 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 précambrien (Nadeau et Brouillette, 1995). Ces formations ont été déposées en strates horizontales puis ont été légèrement plissées lors de la compression Appalachienne 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 6-4 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 CO<sub>2</sub>, l'équipe de l'Institut national de la recherche scientifique (Konstantinovskaya et Malo 2010, Comeau et al. 2013) a réalisé une compilation des données disponibles et une caractérisation des Basses-Terres. Basés sur des observations de terrain, Konstantinovskaya et Malo (2010) ont décrit le contexte lithostratigraphiques et la structure des Basses-Terres dans les régions de Joliette, de Trois-Rivières et de Nicolet. Basé sur l'étude des diagraphies, 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 diagraphies, Comeau et al. (2013) ont réalisé une caractérisation uniformisée des Basses-Terres du Saint-Laurent.

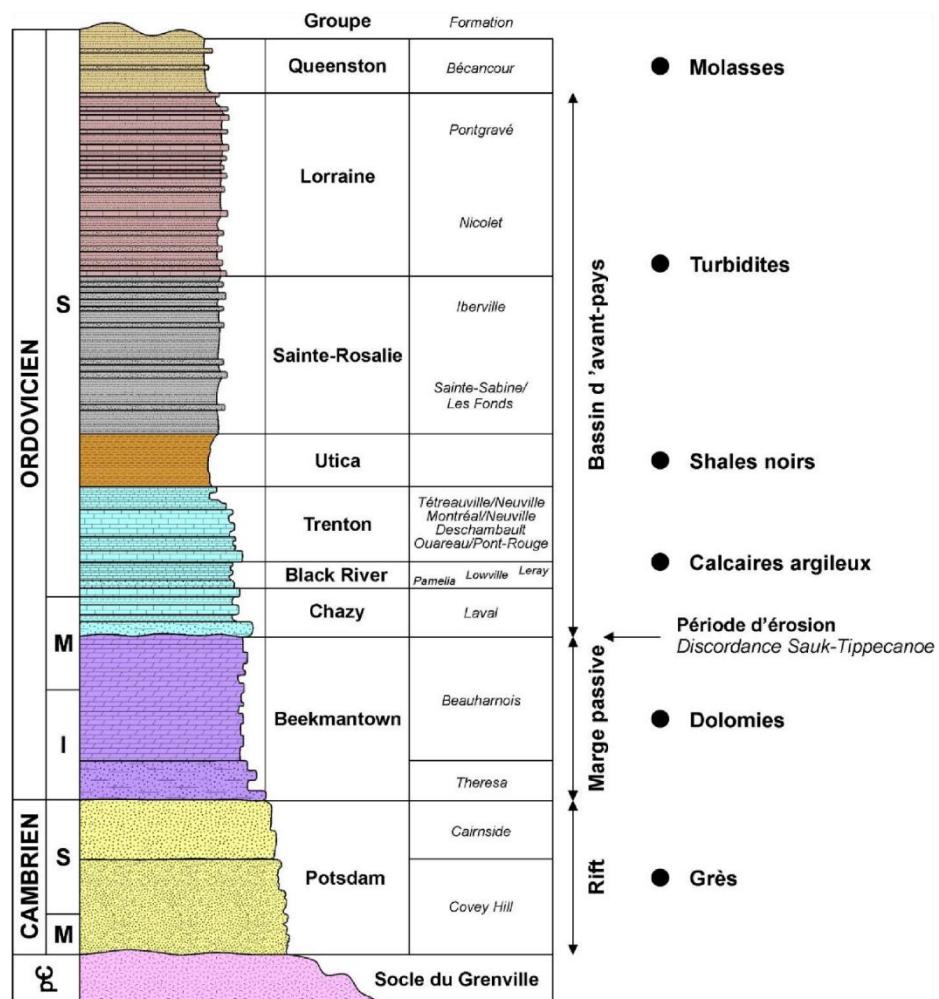


Figure 6-4 : Colonne stratigraphique de la Plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent (Comeau et al., 2013).

La **carte #13 : Géologie du roc** présente la géologie du territoire de l'est de la Mauricie à l'échelle 1 : 150 000 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 l'est de la Mauricie 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) D'intrusions mafiques et ultramafiques mises en place profondément dans la croûte; elles sont composées de leucotroctolite, de diorite, de gabro, d'anorthosite, de dunite et d'harzburgite
- 4) D'intrusions felsiques de type syénite, pegmatite, monzonite, granite, mangérite et granophyre
- 5) Et finalement de 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 des roches du Bouclier canadien sur le territoire (figure 6-5). Les couleurs mauve et bleue sur la figure 3-7 représentent respectivement les roches de la province de Grenville et de la Plate-forme du Saint-Laurent. Notons la présence de 2 anciennes mines ayant exploité des métaux de bases, semi-précieux et précieux dans les environs de Lac Édouard (1974; nickel-cuivre) et de Notre-Dame-De-Montauban (1914-1990; plomb, zinc, argent et or).

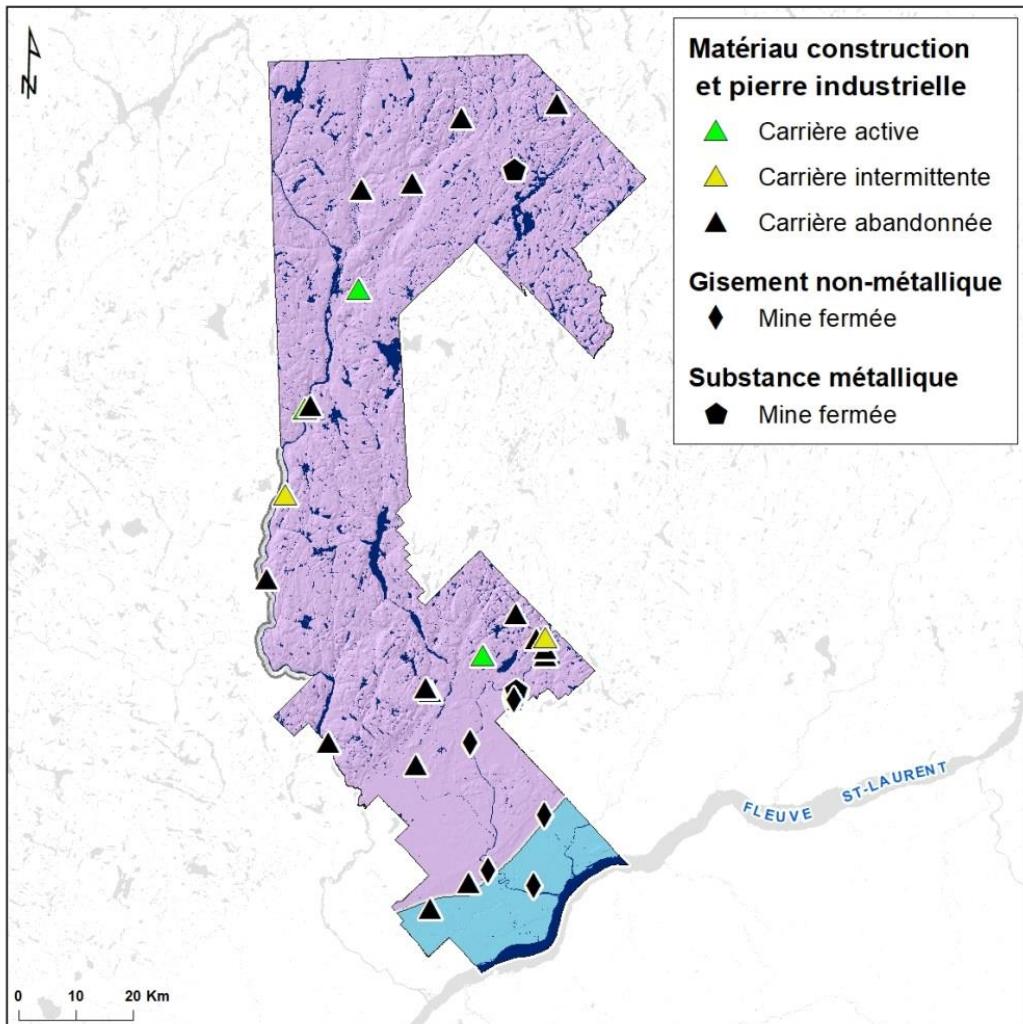
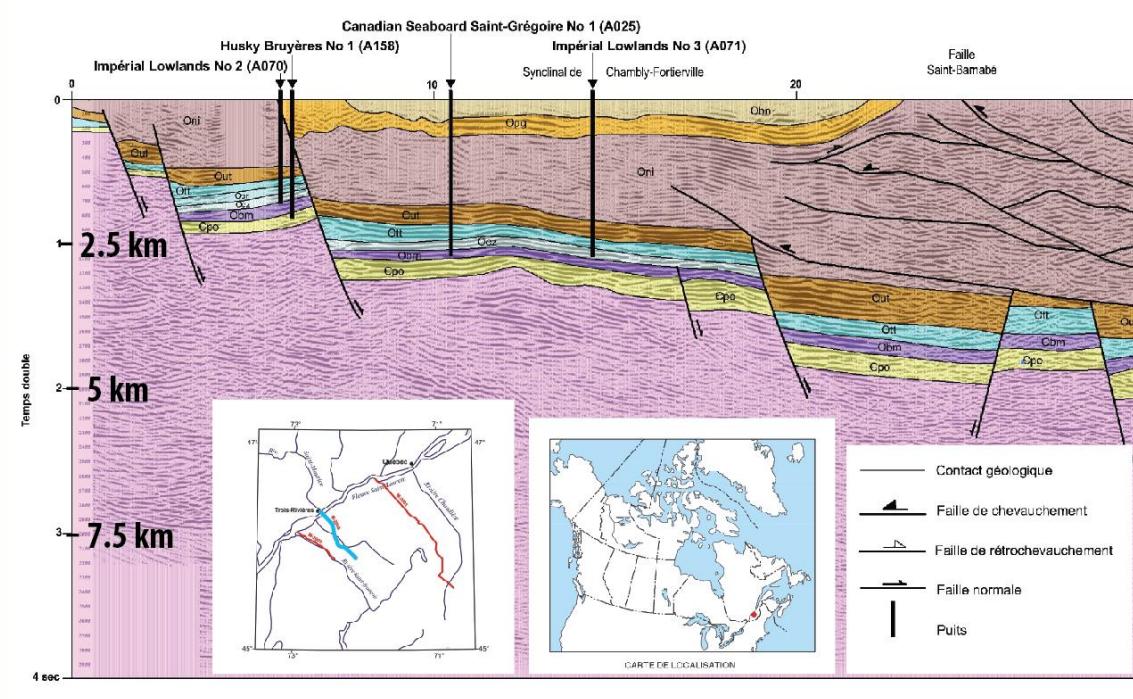


Figure 6-5 : Carte de la localisation des carrières et des mines. Source SIGÉOM 2018, MERN.

#### 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 platoniques qui constituent le Bouclier canadien (roches ignées et métamorphiques grenvillienes 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 précambrien et les roches sédimentaires de la Plate-forme du Saint-Laurent est montré à la figure 6-6 tirée de Castonguay et al. (2006). 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). L'ensemble de ces failles démarrent dans le socle précamalien et affectent les roches sédimentaires (figure 6-6 ; figure 6-7).



#### Légende

##### PROVINCE DE GRENVILLE (Archéen à Protérozoïque) :

AGEV Gneiss; amphibolite; mangénite

Om

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

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

##### PLATE-FORME DU SAINT-LAURENT

###### Grande de Québec

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

Otr

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

Groupe de Chazy (Ordovicien moyen) : Calcaire; shale; grès

###### Grande de Lorraine

Opg Formation de Pontgrave (Ordovicien supérieur) : Calcaire; shale; grès gris-vert

Ott

Shale d'Utica (Ordovicien supérieur) : Shale; shale calcaireux  
Formation de Trenton (Ordovicien supérieur) : Calcaire; shale calcaireux (quand non-différencié peut inclure le Chazy et/ou le Black River)

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

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

Old

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

Odru

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

Csi

Formation de Sillery (Cambrien inférieur à moyen) : Schiste argileux; grès; conglomérat

Obs

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

CIV

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

Obt

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

Figure 6-6 : 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).

Dans la région de l'est de la Mauricie, les principales failles normales (figure 6-8) sont :

- la faille de Saint-Maurice (aussi appelée faille de Sainte-Julienne ou faille de Rawdon) (figure 6-9) ;
- la faille de Saint-Prosper (figure 6-7).

La faille de Saint-Maurice est la faille la plus importante du territoire. Elle est accompagnée de pseudotachylites, elle est sinuose et possède de nombreux embranchements (figure 6-9). Bien qu'observées partout dans la

région de la vallée du Saint-Maurice, les alaskites (roches qui correspondent au début de la fusion partielle de roches contenant du quartz, des feldspaths potassiques, des oligoclases et quelques minéraux ferromagnésiens) sont principalement observées le long de la faille de Saint-Maurice (Rondot, 1978).

La faille de Saint-Prosper a été mise en évidence par Clark et Globensky (1976 b) qui ont interprété les cartes géophysiques (gravité) réalisées par Radar Exploration en 1957 lors d'un relevé gravimétrique régional dans la région de Trois-Rivières. Cette faille est une faille normale de contact (Nadeau et Brouillette, 1995). Elle met en contact les roches du Bouclier précambrien et les roches sédimentaires de la Plate-forme du Saint-Laurent (figure 6-9, figure 6-7). La position de cette faille a d'abord été localisée sur des critères physiographiques et structuraux. Puis, sa position a été confirmée par des forages situés le long de la route NO-SE passant par l'agglomération de Saint-Maurice. Selon Clark et Globensky (1975), le déplacement le long de cette faille serait d'environ 236 m (775 pieds). La position de cette faille est localisée de façon plus précise dans le secteur de l'agglomération de Saint-Maurice grâce à une série de forages effectués le long de la route NO-SE. Ces forages et l'interprétation qui en découle sont indiqués sur la figure 6-7.

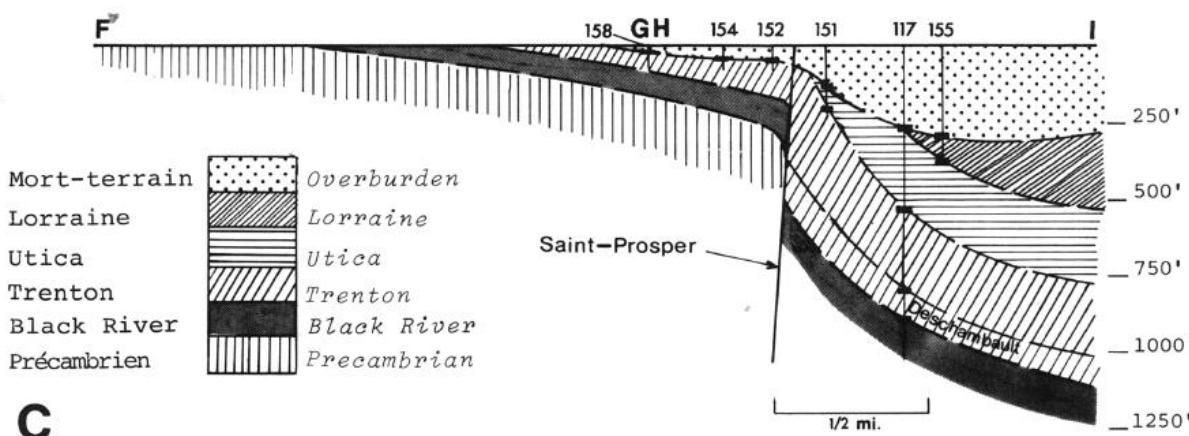


Figure 6-7 : Schéma conceptuel d'une faille normale associé à l'ouverture du rift continental et à l'ouverture de l'océan Iapetus dans le secteur nord du Saint-Laurent. Exemple de la faille Saint-Prosper située à l'est de la Mauricie (Clark et Globensky, 1976a).

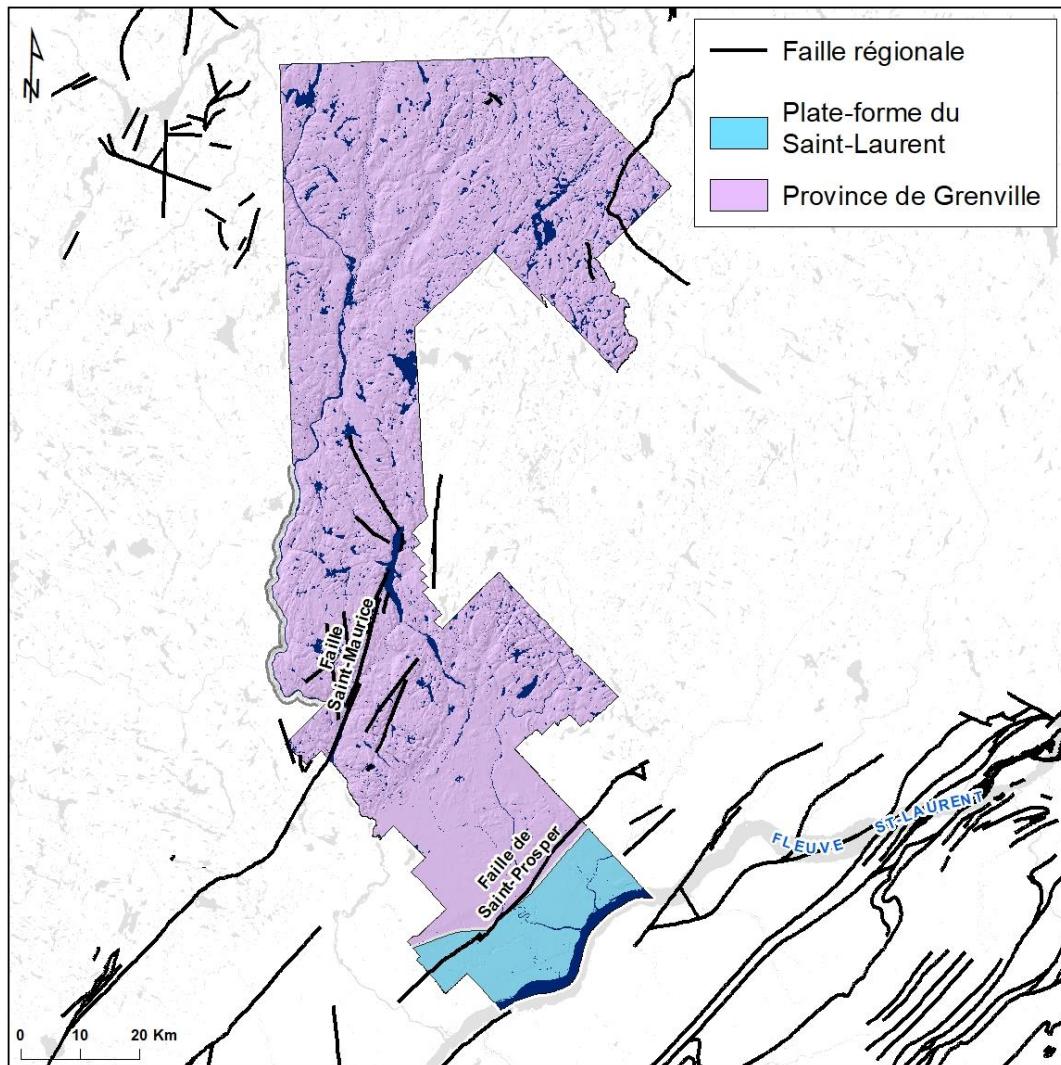


Figure 6-8 : Carte de localisation des principales failles de la région.

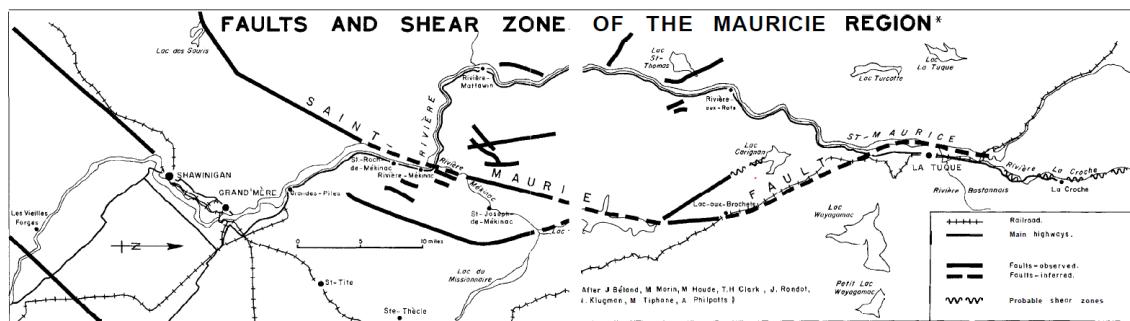


Figure 6-9 : Contexte structural le long de la vallée Saint-Maurice (Clibbon, 1969).

### Ressources gazières

Le Shale d'Utica constitue une formation composée de shales calcaieux avec de minces interlits de calcaire. Cette formation est particulièrement riche en gaz naturel et elle s'étend sur près de 10 000 km<sup>2</sup> (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.

### Ressources minières

Le gisement de Montauban s'étend sur une longueur de 2,2 km. La compagnie « Muscocho Explorations Ltée » maintenant connue sous le nom « Golden Goose Ressources Inc. » exploitait le dépôt aurifère. Les réserves en 1983 étaient de 923 000 tonnes métriques titrant : 3,8 g/t Au, 13 g/t Ag, 0,3% Zn, 0,2% Pb et 0,3% Cu. Le niveau aurifère est englobé dans un gneiss à agrégats de sillimanite. Latéralement, un dépôt zincifère est présent et a permis de produire 2,7 millions de tonnes de mineraï à 4,5% Zn, 1,5% Pb, 0,56 g/t Au et 70 g/t Ag de 1911 à 1955. La roche hôte est une roche à diopside-trémolite (Morin *et al.*, 1987).

## 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'UQAC et l'Université Laval (Brouard *et al.*, 2021).

Une revue de littérature sur la stratigraphie des dépôts quaternaires a été réalisée par LaSalle (1985). Les dépôts quaternaires au niveau du territoire d'étude ont été cartographiés par Gadd et Karrow (1960), Gadd (1971) et Occhietti (1977, 1980, 2007).

Les principaux types de sédiments de la **carte #12 : Géologie du Quaternaire** sont détaillés ci-dessous en situant les unités sédimentaires par rapport aux grands événements géologiques du Quaternaire (englaciation/déglaciation, 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 l'est de la Mauricie, les lecteurs sont invités à consulter le rapport du MERN disponible sur la plate-forme SIGEOM du ministère<sup>9</sup>. 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. Le bloc-diagramme présenté à la figure 6-11 résume les différents environnements de sédimentation glaciaires. D'après la *carte #12 : Géologie du Quaternaire*, 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.

### ***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. Tel que montré sur la *carte #12 : Géologie du Quaternaire*, 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 Saint-Maurice ou le long du lac Mékinac. 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 juxtapaglaciaires (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 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 intraglaciaires. Ils constituent d'excellents aquifères et sont une source importante de granulats. La figure 6-10 présente un bloc-diagramme de ces formations géologiques.

---

<sup>9</sup> <https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/>

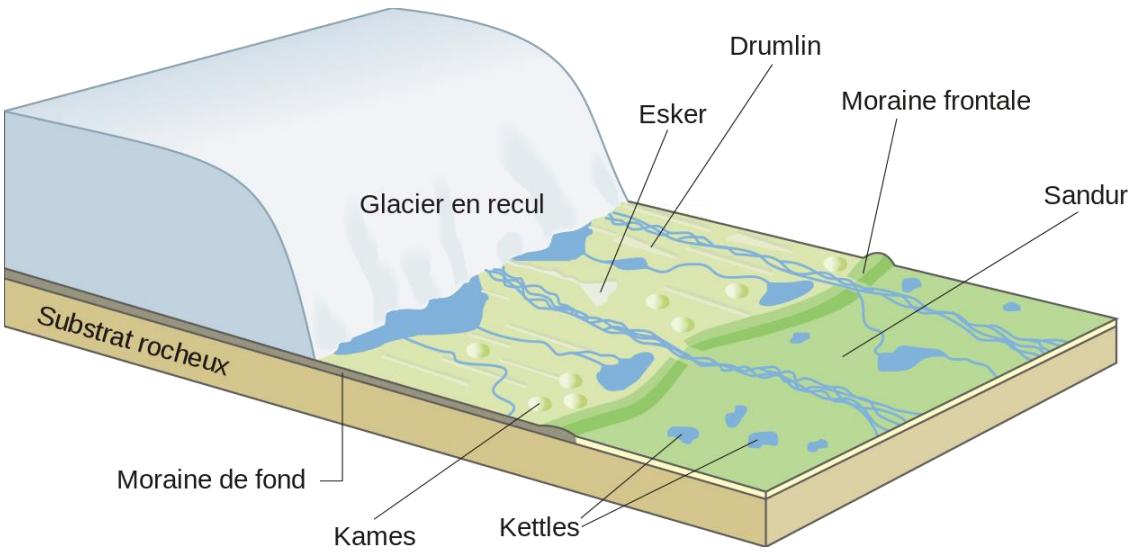


Figure 6-10 : Bloc diagramme des différentes formations glaciaires (Benítez, 2005).

Sur le territoire d'étude, 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 500 km au Québec 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 l'est de la Mauricie, elle a été cartographiée notamment par Gadd (1971) qui a réalisé une étude des dépôts meubles au niveau des Basses-Terres du Saint-Laurent entre Sorel et Portneuf. Occhietti (1980) a également réalisé une étude régionale des principaux traits quaternaires au niveau des régions de Montauban, Shawinigan, les Grondines, Trois-Rivières, Matawinie, et Bécancour. Selon Occhietti (2007), la moraine de Saint-Narcisse est composée de dépôts glaciomarins proximaux, de till et d'argile marine remaniée (Diamicton de Yamachiche), de till de fusion et de dépôts fluvioglaciaires et juxtaglaciaires (Dépôts de Charette) au niveau de la basse vallée du Saint-Maurice. Une coupe de cette moraine est présentée par Occhietti (2007) à la figure 6-12. La moraine de Saint-Narcisse constitue un aquifère intéressant dans la région de la Mauricie (LeBlanc et al., 2013).

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. À l'est du territoire d'étude, au niveau de la MRC de Portneuf, les dépôts de la moraine de Saint-Narcisse sont en partie enfouis soit sous les silts et argiles marins ou directement sous les sables deltaïques (Fagnan, 1998). Son épaisseur varie entre 1 et 20 mètres, mais peut atteindre jusqu'à 40 mètres en certains endroits. Localement, à l'intérieur de la moraine, des zones de sables et graviers bien triés, qui constituent des aquifères intéressants, peuvent être observées. Ces unités perméables lorsqu'elles sont exposées à la surface peuvent aussi servir de zones de recharge pour la moraine ainsi que pour les formations rocheuses sous-jacentes (Fagnan, 1998). L'architecture et la dynamique hydrogéologique de la moraine de Saint-Narcisse font l'objet d'un projet de doctorat réalisé dans le cadre du PACES-Mauricie-Est.

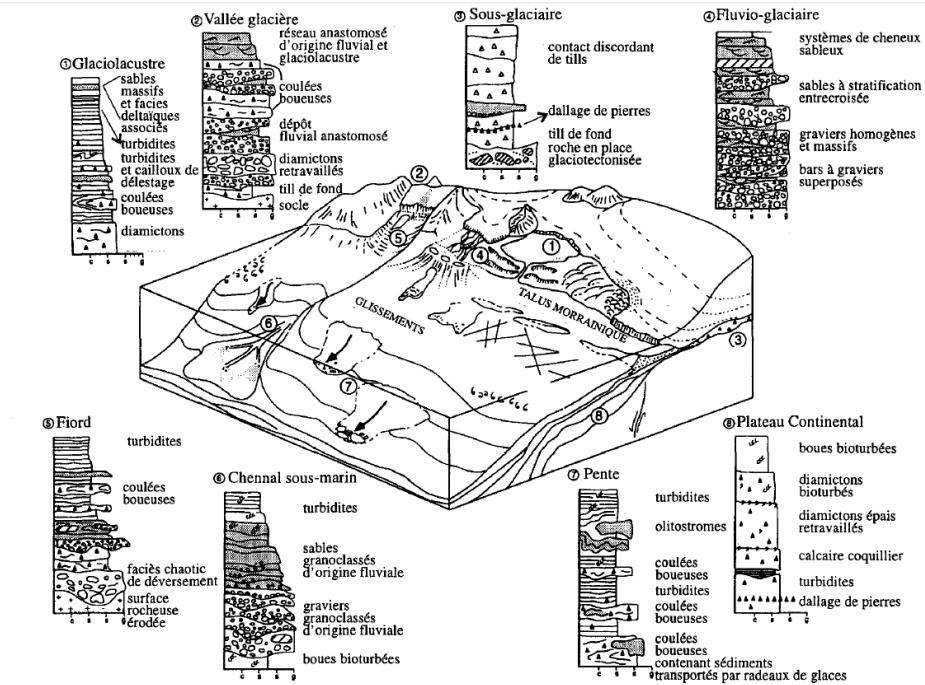


Figure 6-11 : Divers environnements de sédimentation glaciaires ainsi que les profils typiques de faciès développés lors d'une phase d'avancée et de retrait glaciaire. Source : tiré de Fagnan (1998) qui l'avait modifié de Walker et al. (1992).

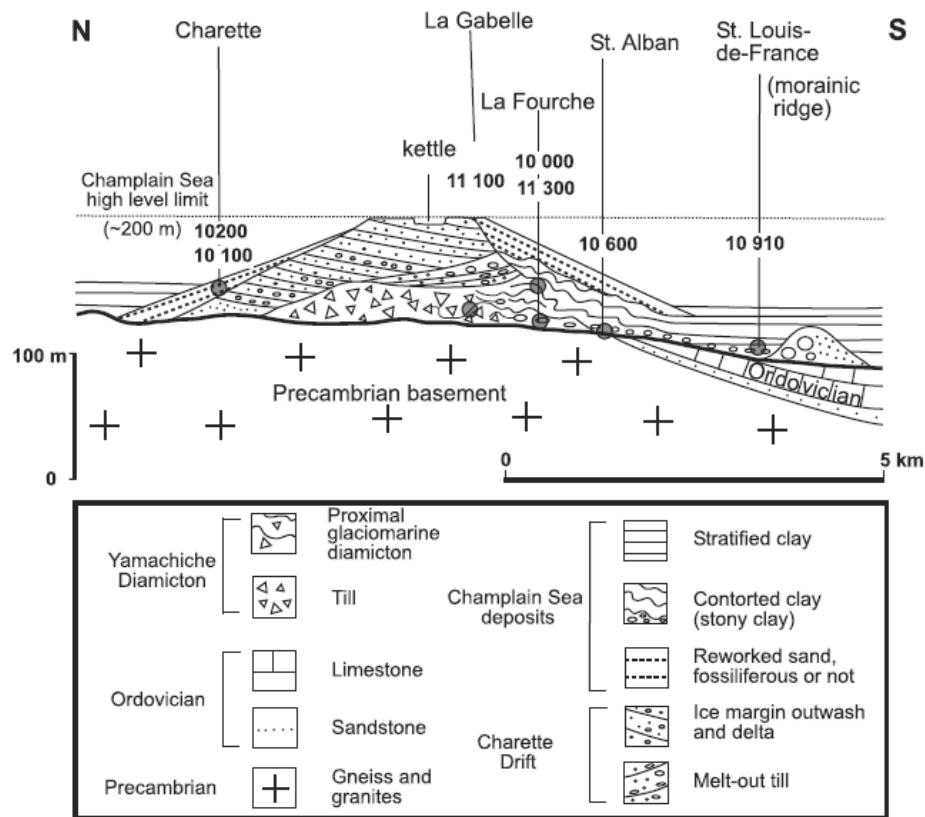


Figure 6-12 : Stratigraphie du complexe morainique de Saint-Narcisse à la marge du lobe du Saint-Maurice dans la mer de Champlain (Occhietti, 2007a).

### **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. Selon Occhietti (1977), la transgression marine semble avoir suivi le retrait du front du glacier sur la rive nord du Saint-Laurent. Selon Occhietti (1977), l'invasion marine a atteint une altitude de 195 m. Les dépôts marins se retrouvent plus profondément à l'intérieur des vallées des rivières qui confluent dans le fleuve Saint-Laurent. L'invasion marine a donc probablement atteint des altitudes plus élevées dans le couloir du Saint-Maurice.

### **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 l'est de la Mauricie, **44** coupes stratigraphiques (figure 6-13) ont été interprétées. La **carte #14 : Localisation des coupes stratigraphiques** présente la localisation de chacune des 44 coupes stratigraphiques alors que les interprétations en coupe sont disponibles à l'annexe numérique AN 2.

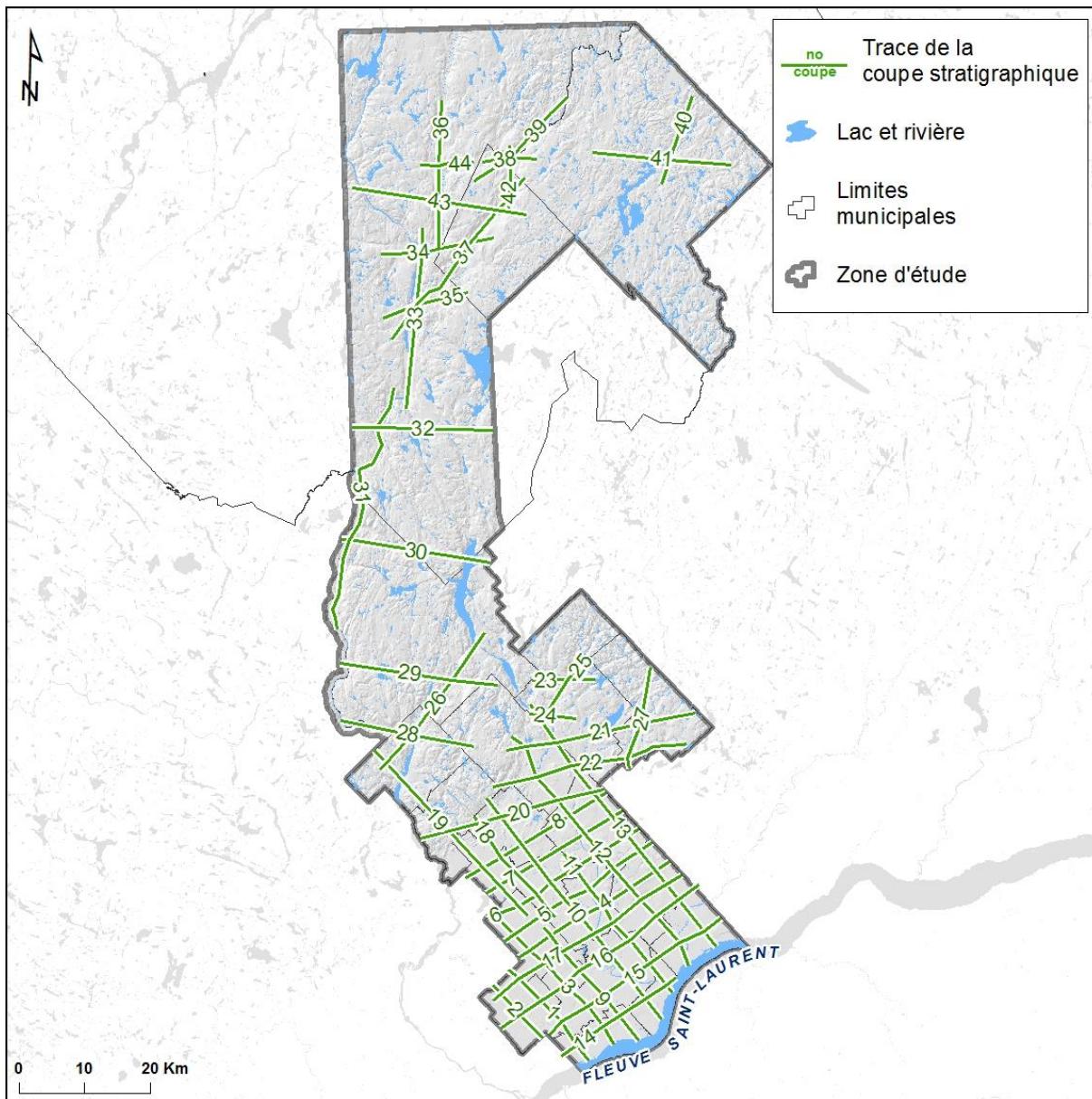


Figure 6-13 : Localisation des 44 coupes stratigraphiques interprétées sur l'ensemble du territoire d'étude.

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**.

- 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 44 coupes stratigraphiques compte six étapes :

- Simplification de l'information;
- Identification des données sources;
- Projection des stations sélectionnées dans une vue en coupe;
- Interprétation des unités géologiques dans les coupes;
- Mise en forme finale de la coupe stratigraphique et;
- 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 sables silteux sont présents dans les régions annexes et utilisés localement dans l'est de la Mauricie 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 préliminaire<sup>10</sup> du roc;
- la localisation de l'intersection 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.*

<b>Sources de la station</b>	<b>Nb de stations projetées</b>	<b>% de stations utilisées</b>
MTQ	45	8%
PACES-LAMEMCN (Forages)	1	<1%
Projet Quaternaire	0*	0%
Rapport hydrogéologique	138	24%
SIGEOM (Forages)	11	2%
SIGEOM (Affleurements)	52	9%
SIGPEG	2	<1%
SIH	320	56%
<b>TOTAL</b>	<b>569</b>	

\*Les stations du projet quaternaire n'étaient pas encore disponibles lors de la projection des stations sur les coupes stratigraphiques.

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. Le forage ME-F01, réalisé dans le cadre du PACES, a bien

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

entendu été sélectionné et a été utile lors de l'interprétation puisqu'il indique une dizaine de mètres de sables indifférenciés de surface et une quarantaine de mètres d'argile marine.

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 6-14). 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.).

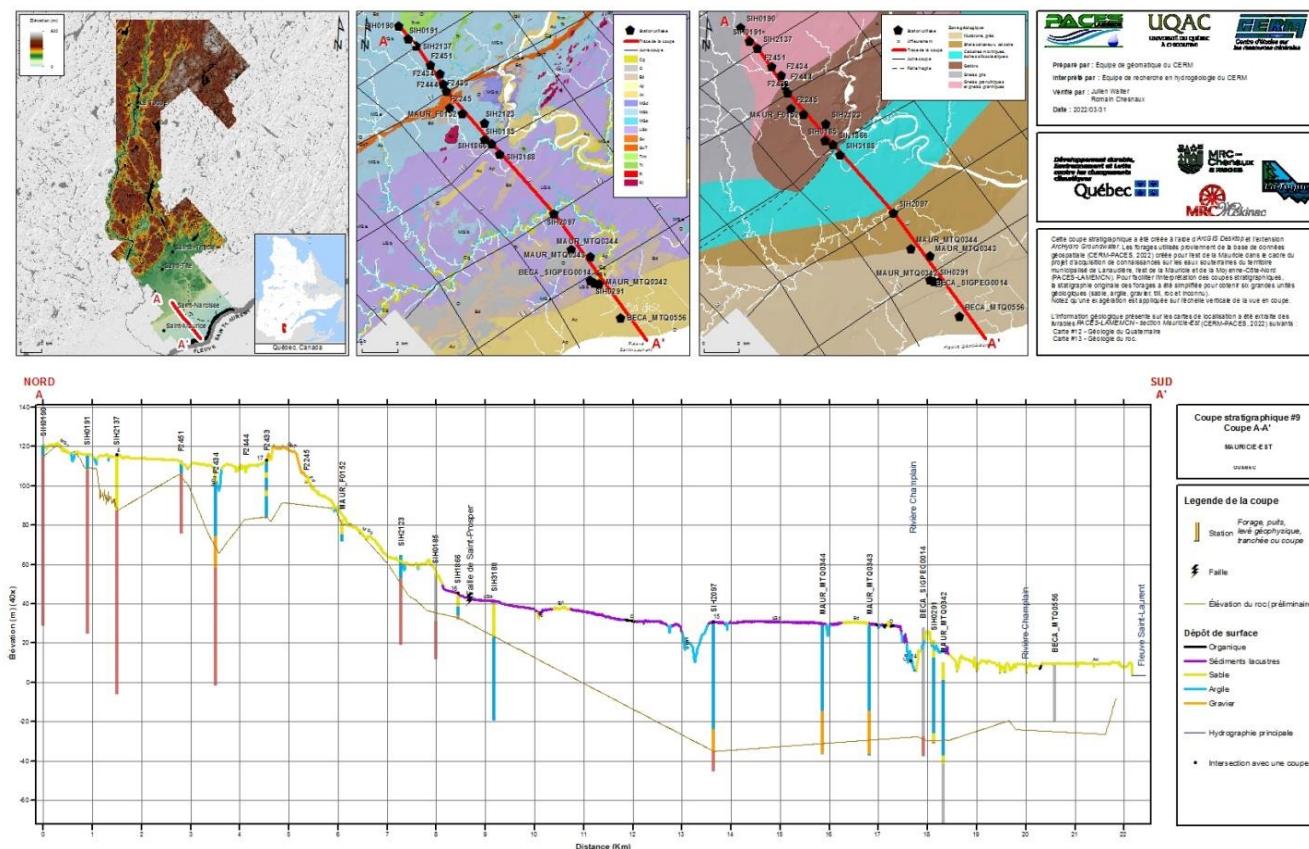


Figure 6-14 : Exemple de gabarit utilisé pour l'interprétation des coupes stratigraphiques.

#### **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 6-15 (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.

##### **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 silteux

Une unité de sable silteux a été interprétée au nord de la coupe 33, le long de la vallée de la rivière Saint-Maurice, dans le secteur de La Tuque. Cette unité représente des sédiments semi-perméables dont l'origine serait probablement des sables glaciolacustres.

### 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 6-15 montre le résultat final de l'interprétation et de la numérisation d'une coupe stratigraphique. Les 44 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.

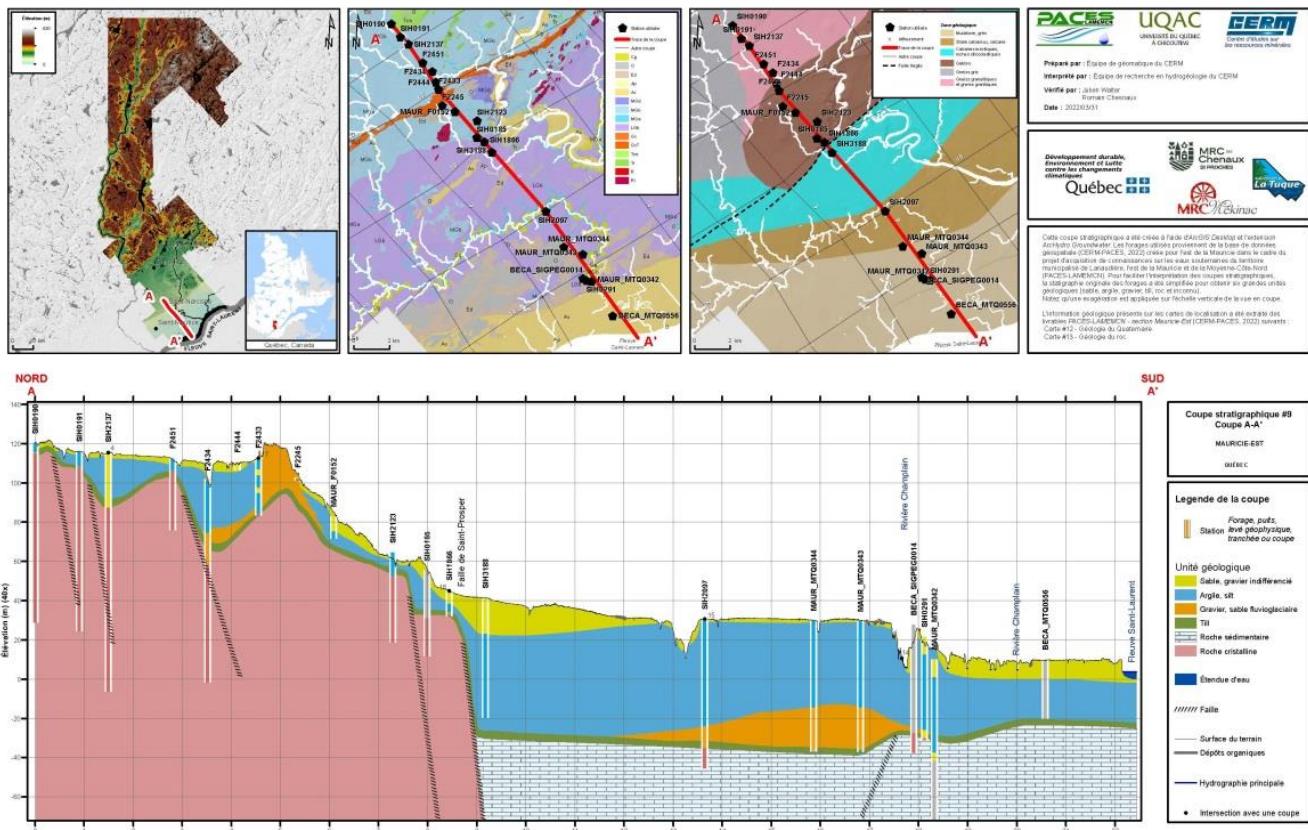


Figure 6-15 : Coupes stratigraphiques #9.

### 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 6-16). 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.

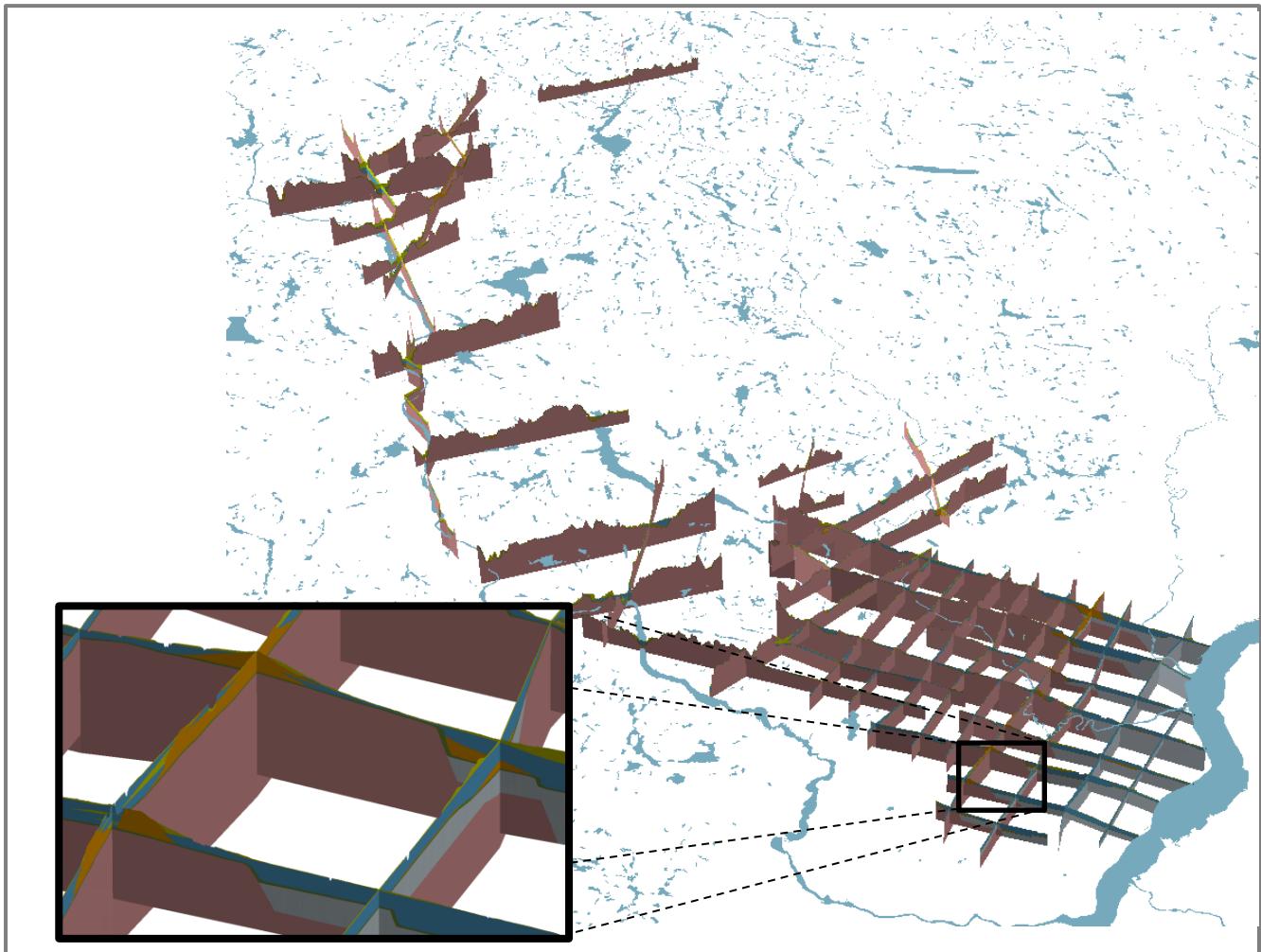


Figure 6-16 : Représentation des 44 coupes stratigraphiques sous forme de diagrammes barrières.

## 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 décrit 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, 3 385 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), **2 657 stations** indiquent une profondeur au roc dont 659 stations sont situées dans les Hautes-Terres, 1 848 dans le piedmont et 150 dans les Basses-Terres. La figure 6-17 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.

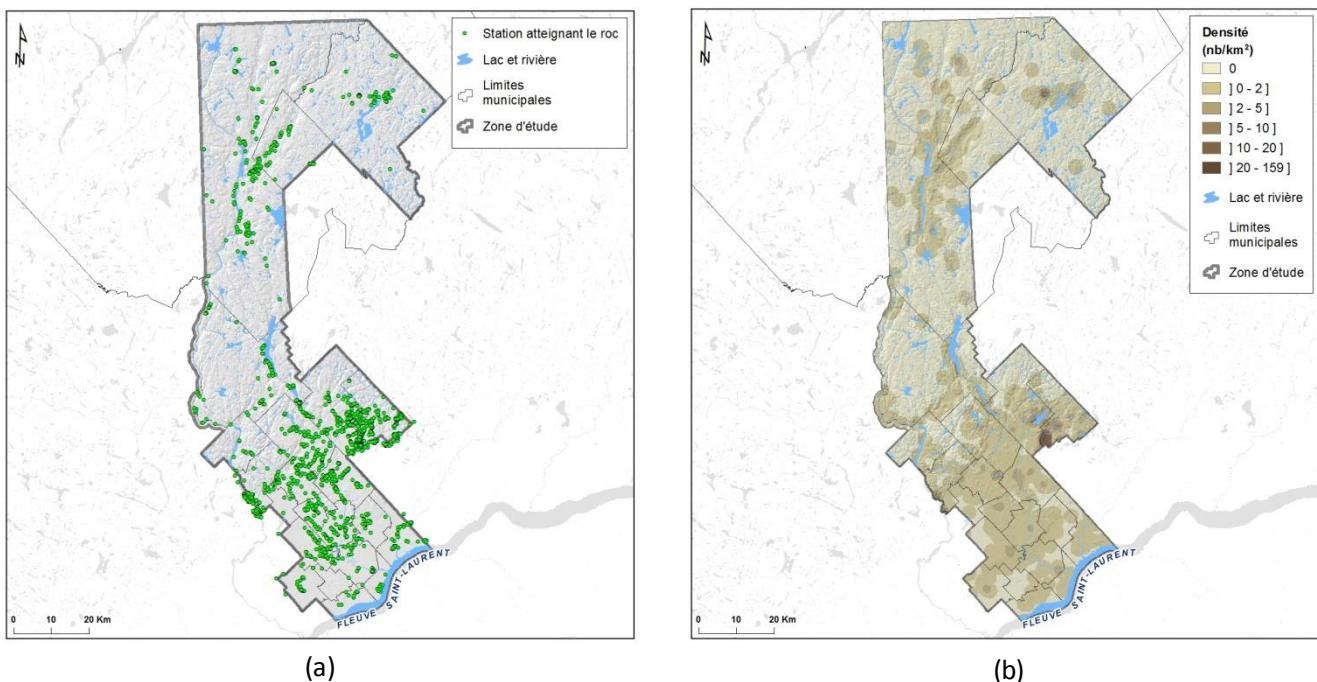


Figure 6-17 : (a) Répartition des stations atteignant le roc et  
(b) Densité des stations atteignant le roc.

### **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 **6 758**, sont localisés dans la base de données géospatiales PACES. Ces affleurements proviennent de sources diverses :

- **5 462** de la compilation géoscientifique du MERN (SIGEOM);
- **1 296** du projet de cartographie des dépôts quaternaires.

La figure 6-18 illustre la localisation de ces affleurements.

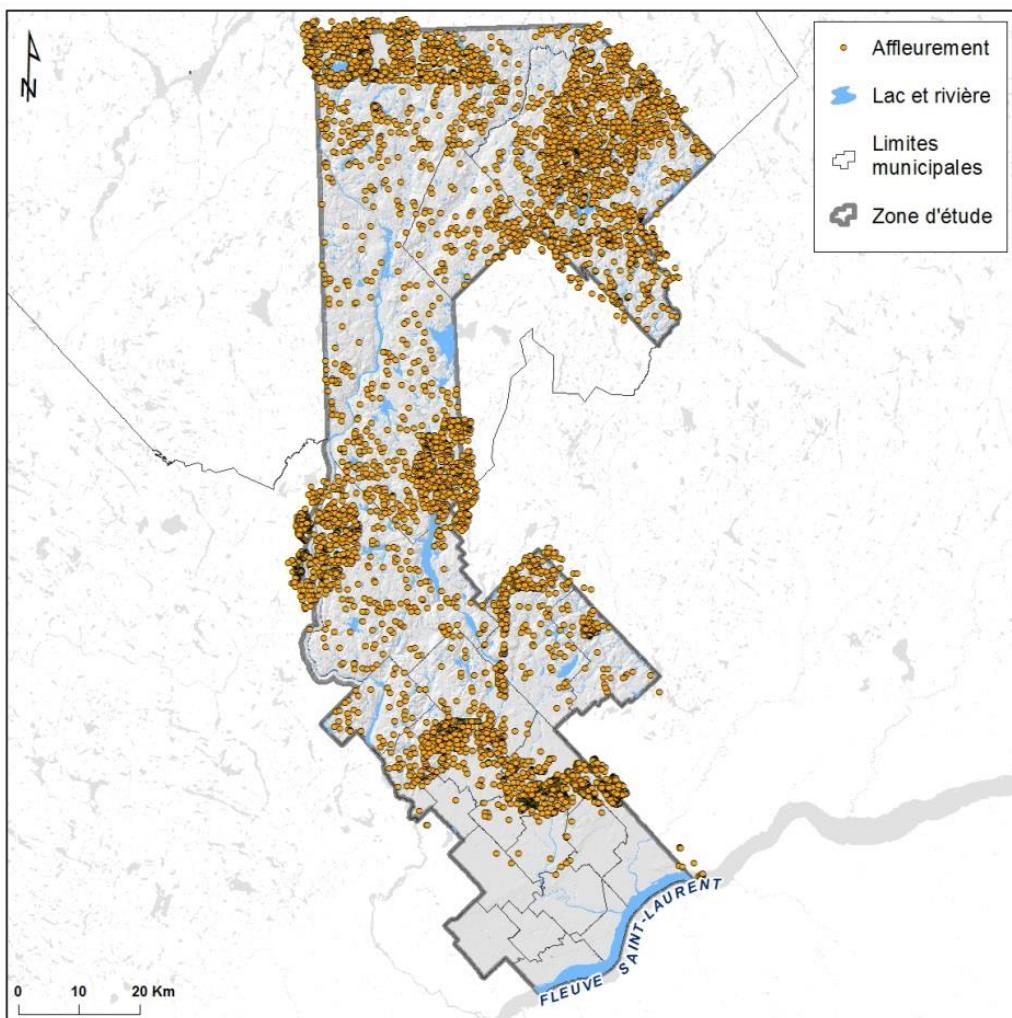


Figure 6-18 : Localisation des affleurements pour le territoire de l'est de la Mauricie.

### Les forages virtuels

Les 44 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 6-19 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 permet de générer **2 104 forages virtuels** sur le territoire à l'étude.

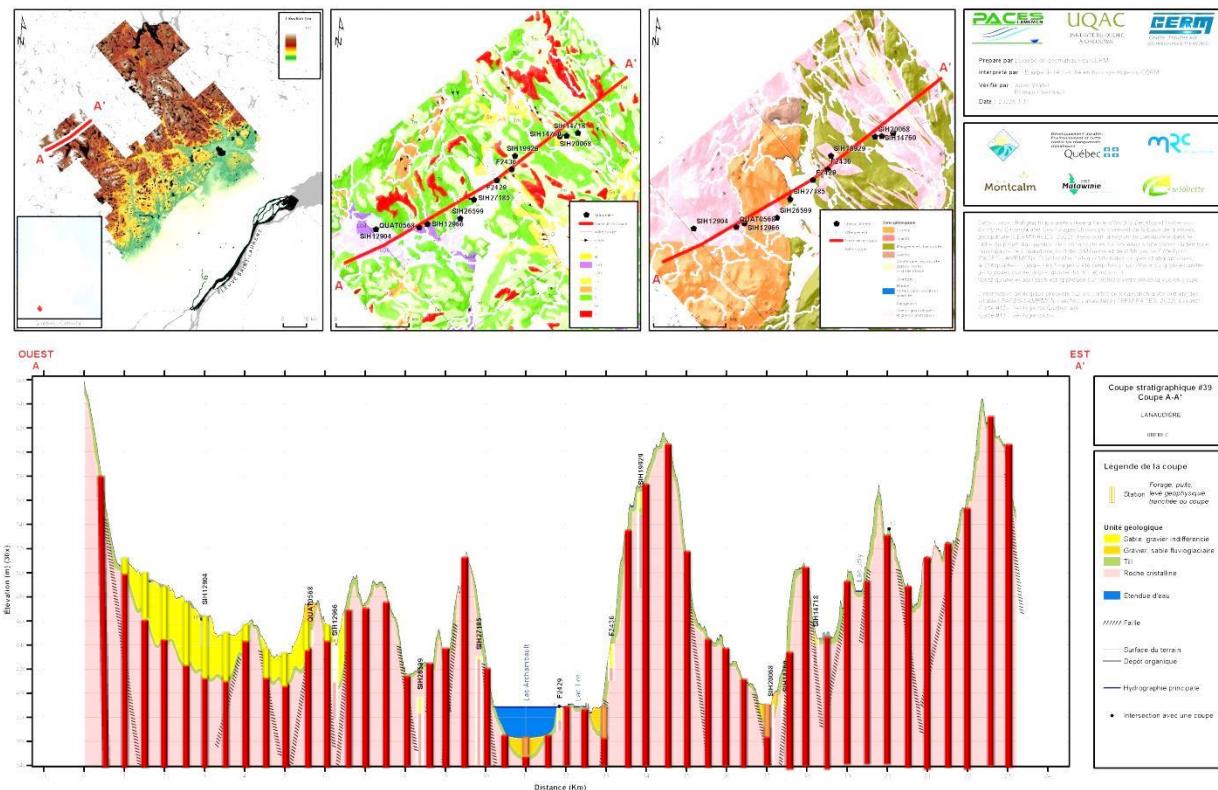


Figure 6-19 : Forages virtuels créés le long d'une coupe stratigraphique (exagération verticale de 30x).

### 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 l'est de la Mauricie. 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 6-20 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.

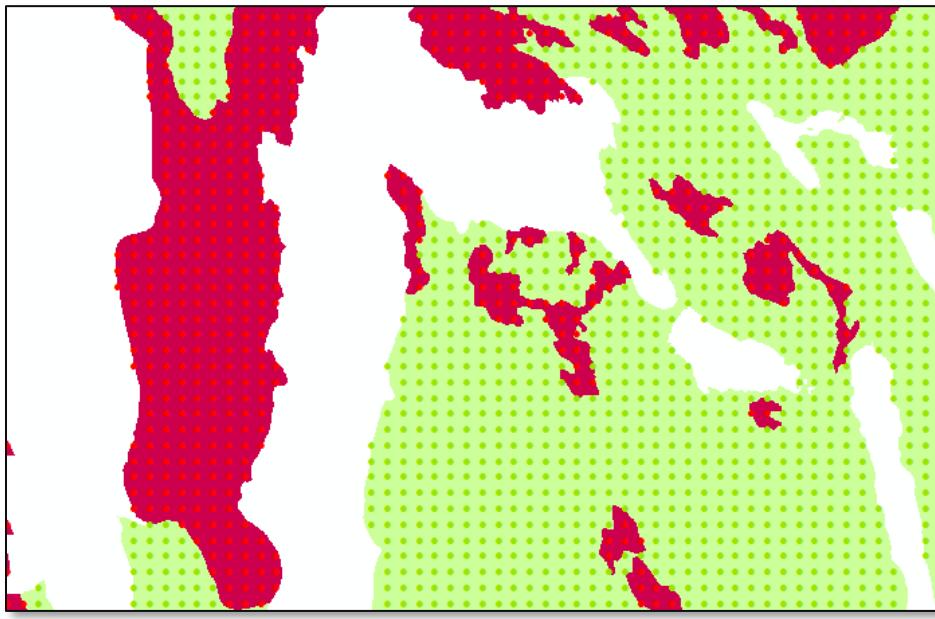


Figure 6-20 : Quadrillage de points créés sur les dépôts minces (points verts) ou nuls (points rouges).

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 6-20). Tous les autres points correspondent à des zones d'affleurements rocheux et affichent une épaisseur nulle (en rouge sur la figure 6-20). Ce quadrillage permet d'obtenir **106 716 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	812	984	5 690	134 240
Piedmont	1 984	873	1 240	11 887
Basses-Terres	199	514	80	602

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

Pour chacune des zones, la méthode d'interpolation choisie est le krigage 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	2 700	18	aucune
Piedmont	Sphérique	5	5 000	55	aucune
Basses-Terres	Sphérique	0	5 000	1 000	0.5 (150°)*

\*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 6-21 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 6-21). L'ajout du forage B au jeu de données de la deuxième modélisation (trait vert sur la figure 6-21) permet d'augmenter l'épaisseur des dépôts dans cette région.

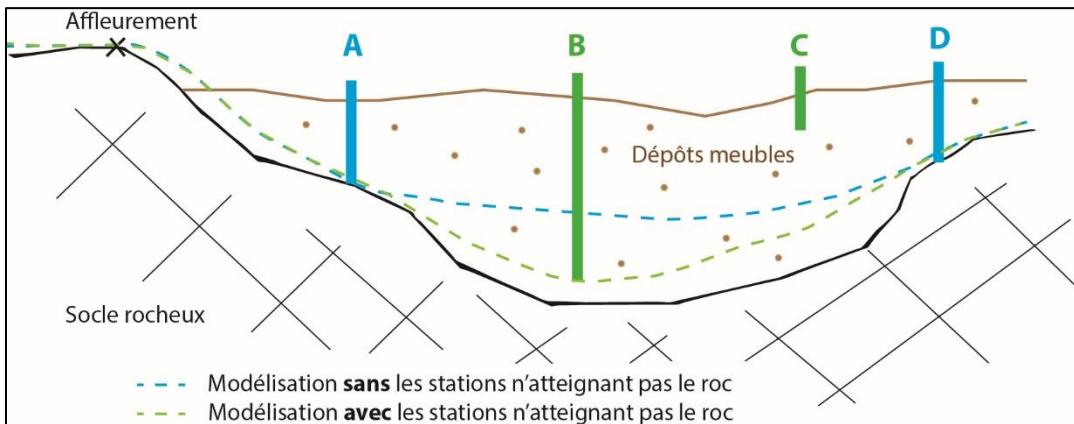


Figure 6-21 : Effet de l'ajout des forages n'atteignant pas le roc sur la modélisation de l'épaisseur des dépôts.  
Modifié de Dugrain (2011).

Dans la zone d'étude, **875 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 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
Hautes-Terres	471
Piedmont	388
Basses-Terres	127

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
Hautes-Terres	Sphérique	0	1 500	9	aucune
Piedmont	Sphérique	5	600	255	aucune
Basses-Terres	Sphérique	0	3 400	1 000	0.5 (150°)*

\*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 krigage, la méthode de validation croisée est utilisée. Cette méthode réévalue par krigage les pixels qui possèdent une valeur connue en omettant d'inclure cette valeur dans le système de krigage. 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	2,6
Piedmont	9,8
Basses-Terres	16,1

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 l'est de la Mauricie, l'épaisseur des dépôts peut atteindre 200 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, des accumulations importantes de sable ont été observées dans les vallées profondes. Ces dépôts sont généralement en association spatiale avec des linéaments d'échelle régionale, dont l'expression topographique correspond à des escarpements rocheux souvent imposants (face rocheuse abrupte de plusieurs dizaines de mètres). L'épaisseur des dépôts la plus importante se retrouve dans la vallée de la rivière Croche où elle atteint 205 m.

Pour les Basses-Terres, l'épaisseur des dépôts atteint 150 m. Les épaisseurs de dépôts les plus importantes se situent dans les municipalités de Champlain, Saint-Maurice, Saint-Luc-de-Vincennes et Saint-Prosper-de-Champlain. 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 15 m et maximale de 90 m) affleurante ou enfouie sous des sables indifférenciés de surface (par endroit).

Dans le piedmont, des épaisseurs relativement importantes (près de 80 m) sont notées au sud de la municipalité de Notre-Dame-de-Montauban et de Saint-Narcisse.

#### **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 krigage 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 krigeage 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 krigeage. 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 de dépôt 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.

### 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 600 mètres environ 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. De basses éléвations du toit du roc sont notées sur le territoire des municipalités de Saint-Prosper-de-Champlain, Saint-Maurice et Saint-Luc-de-Vincennes, mais également dans la vallée des rivières Croche et Saint-Maurice.

## 7 LES MILIEUX AQUIFÈRES DE L'EST DE LA MAURICIE

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 latéral 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 6.3).

La deuxième partie de ce chapitre caractérise le territoire en terme 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.

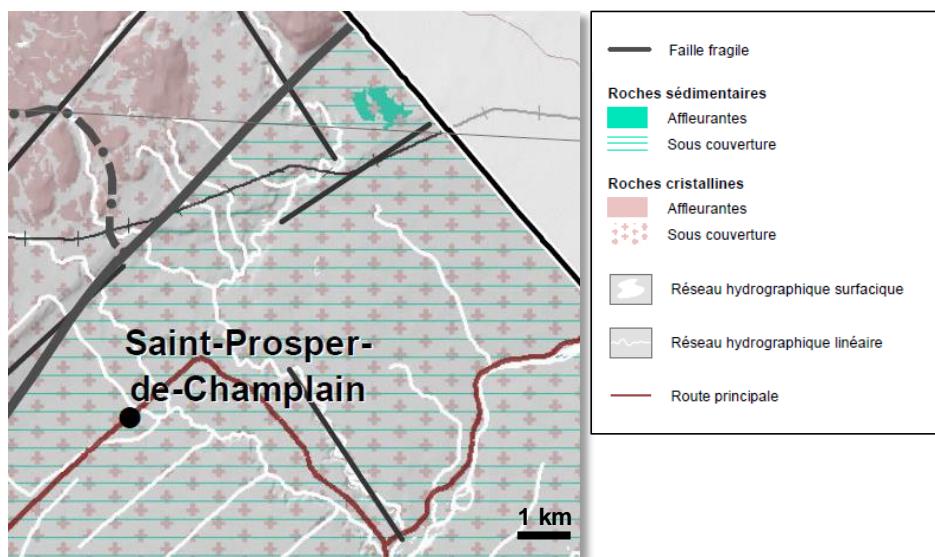


Figure 7-1 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères de roc fracturé.

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 précambriennes 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 Saint-Maurice (Sainte-Julienne) qui traverse le territoire et la faille de Saint-Prosper qui marque le contact entre les roches cristallines et les roches sédimentaires (figure 6-8). 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. Sur le territoire de l'est de la Mauricie, ce type de milieu aquifère est exploité par les municipalités de Saint-Stanislas et Sainte-Geneviève-de-Bastican qui exploitent toutes les deux le gneiss fracturé (section 8.1).

### **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 l'est de la Mauricie. 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 pourraient présenter une morphologie de cuesta (figure 7-2).

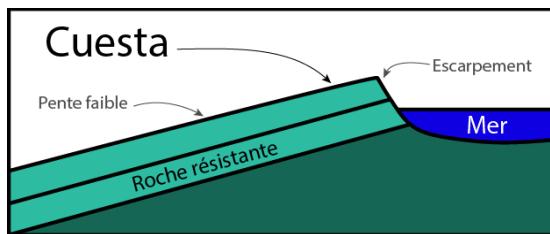


Figure 7-2 : Modèle conceptuel d'une cuesta qui pourrait illustrer la présence des affleurements de roches sédimentaires dans les Basses-Terres du territoire.

Sur le territoire de l'est de la Mauricie, les milieux aquifères constitués de roches sédimentaires sont exploités par la municipalité de Saint-Maurice pour alimenter son réseau d'aqueduc municipal (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.

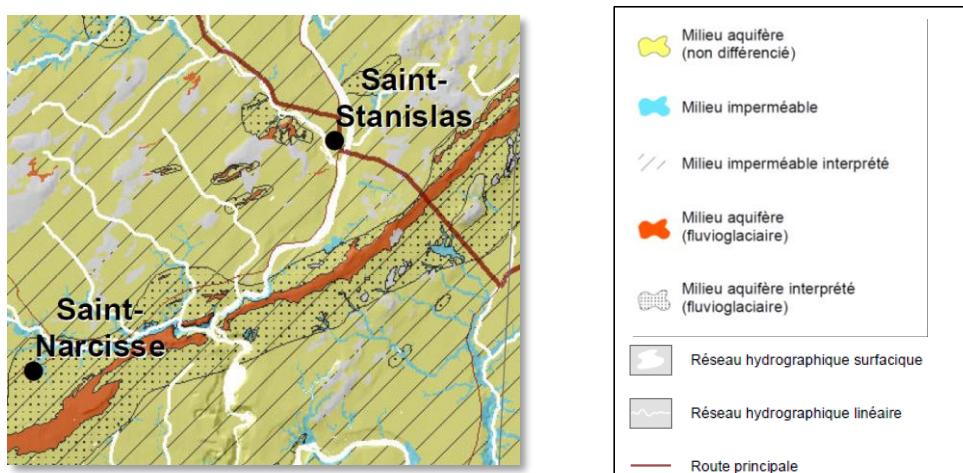


Figure 7-3 : Exemple de limites régionales des milieux aquifères granulaires.

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, juxtaglaciaires 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 roches 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 aquifère<sup>11</sup>.

### **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.

---

<sup>11</sup> 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.

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 pré littoraux glaciolacustres du lac Lampsilis et sont composés de sable, sable silteux et gravier sableux. Ils sont situés dans les Basses-Terres et sont présents dans des municipalités telles que Saint-Maurice, Saint-Luc-de-Vincennes, Sainte-Genenvière-de-Batiscan, Saint-Prosper-de-Champlain et Sainte-Anne-de-la-Pérade

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 Saint-Mauricie, la prolongation du lac Mékinac et la rivière Croche.

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

Les sédiments organiques se situent principalement au-dessus des milieux sableux lacustres, au niveau des Basses-Terres, des milieux éoliens et alluvionnaires au niveau du piedmont et des sables et graviers fluvioglaciaires au niveau des Hautes-Terres. 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 l'est de la Mauricie, les municipalités de Champlain, Batiscan, Hérouxville, Saint-Tite, Saint-Thècle, Grande-Pile, Saint-Roch de Mékinac et La Tuque captent l'aquifère de sable de surface pour alimenter leur réseau d'aqueduc municipal (section 8.1).

### ***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 N-S, NNE-SSO et NE-SO (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.

Plusieurs municipalités sur le territoire de l'est de la Mauricie captent un aquifère de sable et gravier d'origine fluvioglaciaire telles que les municipalités de Sainte-Anne-de-la-Pérade, Saint-Prosper-de-Champlain, Sainte-Geneviève-de-Batiscan, Saint-Luc-de-Vincennes, Saint-Narcisse, Saint-Adelphe et Notre-Dame-de-Montauban (section 8.1).

**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 se situe à la limite entre le piedmont et les Basses-Terres. La moraine de Saint-Narcisse est localement exploitée à des fins d'alimentation en eau potable de certaines municipalités, ce qui atteste de sa capacité aquifère. Pourtant, par définition, la moraine se caractérise par un dépôt chaotique glaciaire présentant localement un tri pauvre et donc une mauvaise perméabilité. Tel que l'illustre la figure 7-4, certaines municipalités et entreprises ont installé leur puits directement dans le cordon de la moraine de Saint-Narcisse.

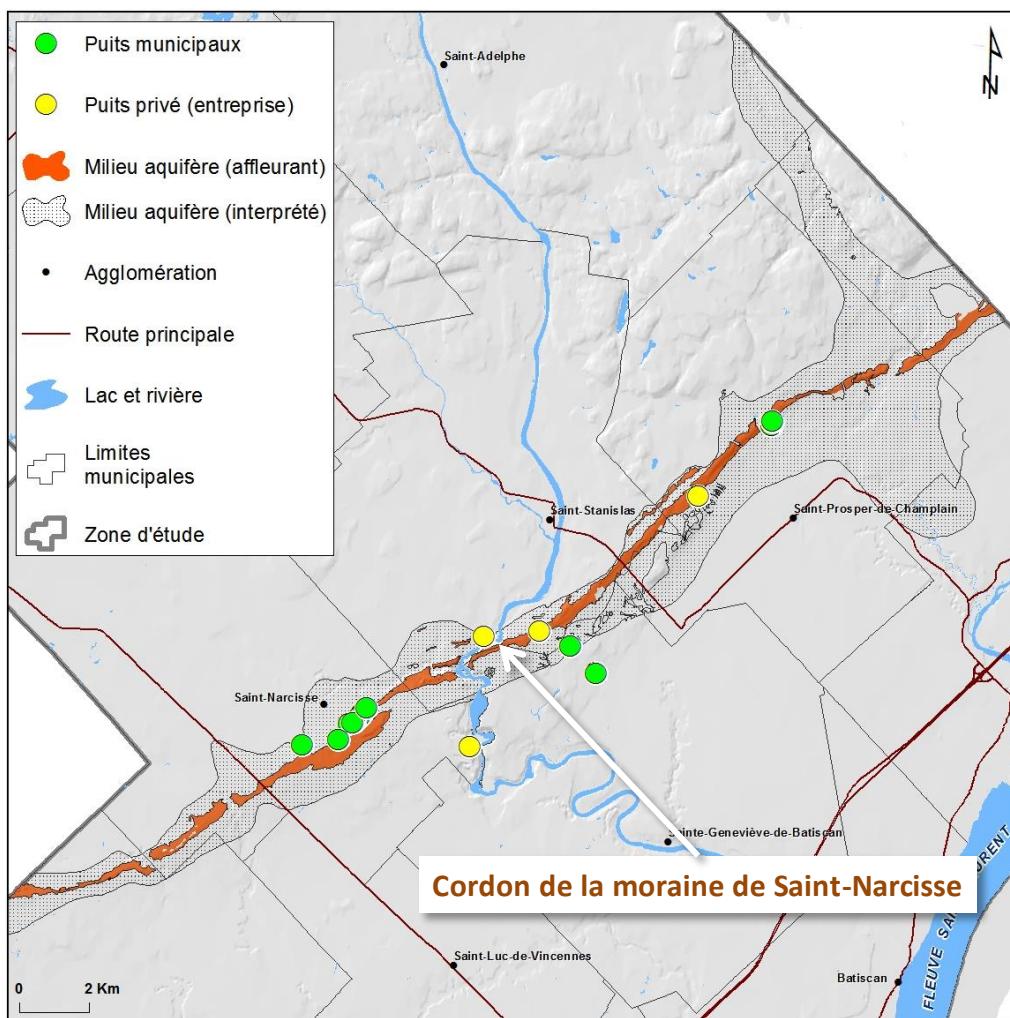


Figure 7-4 : Puits municipaux et privés installés dans les dépôts perméables de la moraine de Saint-Narcisse.

## 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 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

Cinq modèles conceptuels ont été identifiés et sont présentés sur la figure 7-5. La figure 7-6 présente plusieurs photos qui servent parfois à illustrer un seul des cinq modèles conceptuels. Les modèles conceptuels sont en partie distingués par la gamme d'élévation topographique où on les retrouve.

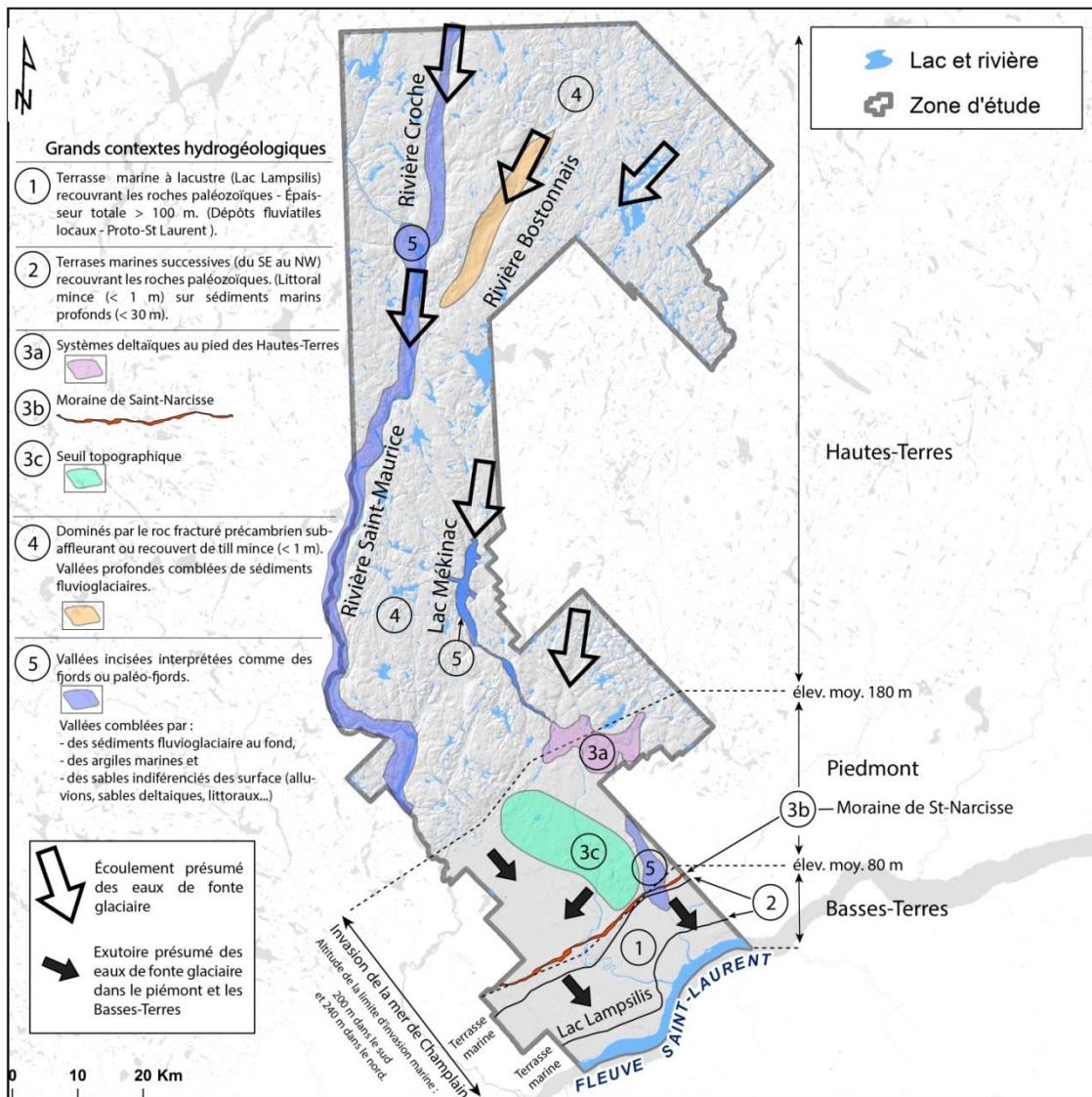


Figure 7-5 : Découpage et interprétation des grands ensembles géomorphologiques et géologiques de l'est de la Mauricie.

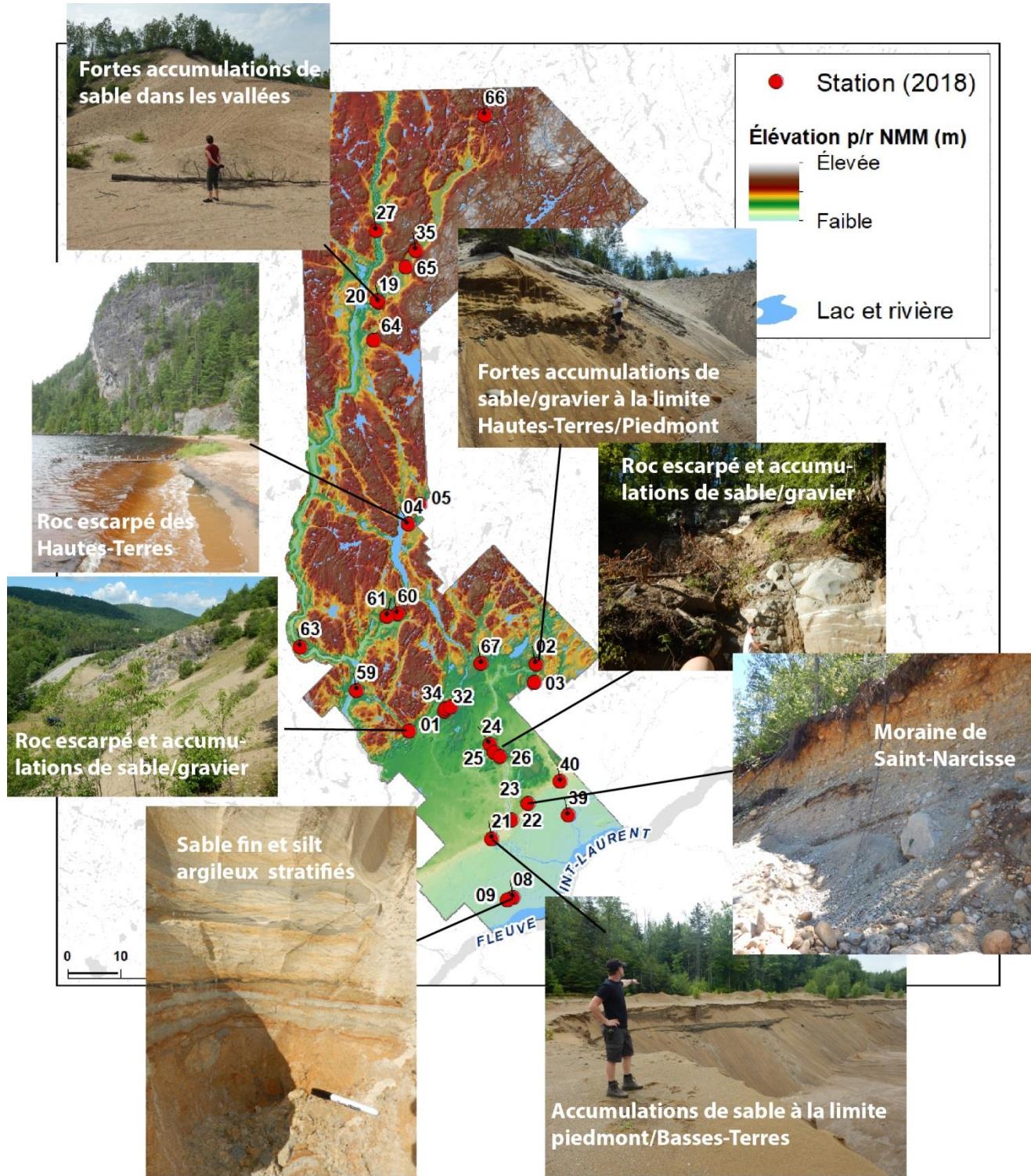


Figure 7-6 : Exemples de contextes géologiques particuliers observés dans le territoire de l'est de la Mauricie.

#### Contexte #1 – Basses-Terres - Dépôts fluviaux du lac Lampsilis et fluviatiles du proto-fleuve Saint-Laurent

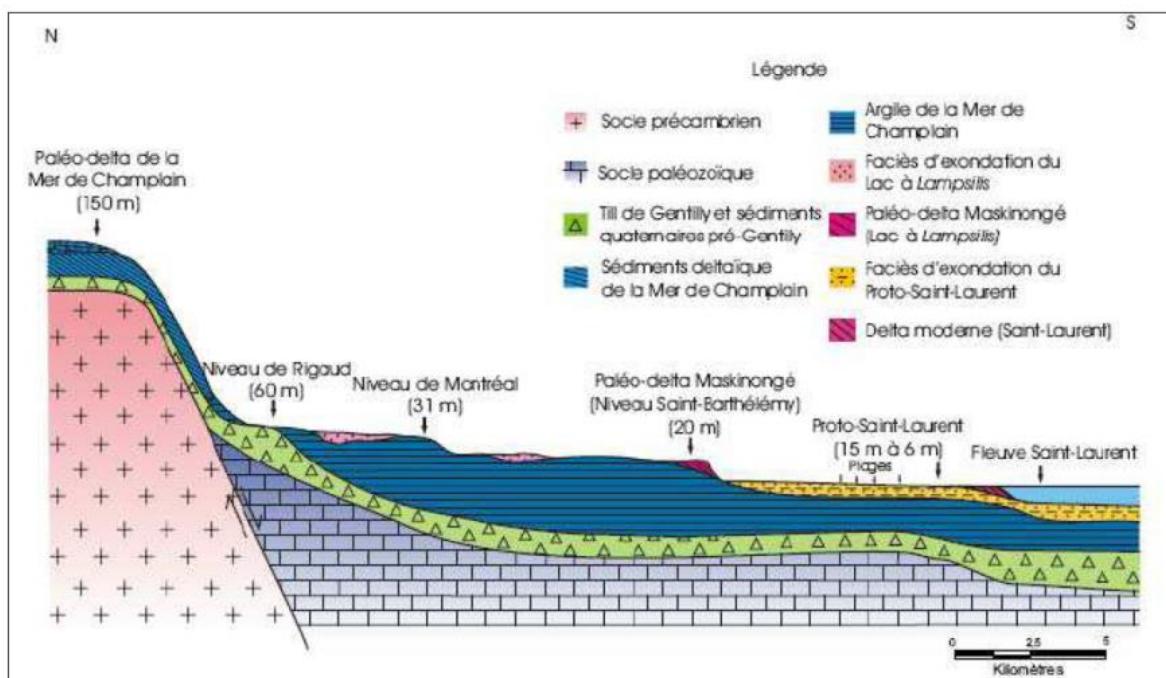
Le premier contexte est localisé dans la portion sud du territoire le long du fleuve Saint-Laurent. En surface, ce contexte est caractérisé par les sédiments glaciolacustres littoraux et pré littoraux associés au lac Lampsilis et les alluvions de terrasses anciennes associées au proto-fleuve Saint-Laurent. Les dépôts glaciolacustres du lac

Lampsilis sont formés de sables et de graviers sableux stratifiés avec présence de lits de minéraux lourds et peuvent atteindre une épaisseur de 5 m sur le territoire (Brouard *et al.*, 2021). Les dépôts alluviaux ont été mis en place dans l'ancien chenal du proto-fleuve Saint-Laurent. Ces sédiments de surface ont été déposés sur d'épais sédiments marins profonds (argile marine) de la mer de Champlain. Les coupes stratigraphiques mettent en avant une épaisseur d'argile dans les Basses-Terres généralement comprise entre 60 et 80 m. 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.

Les sédiments lacustres des Basses-Terres accueillent d'importants milieux humides qui sont essentiellement situés dans les municipalités de Saint-Luc-de-Vincennes et Sainte-Anne-de-la-Pérade et qui sont composés principalement de tourbières boisées et de marécages.

#### Contexte #2 – Basses-Terres – Terrasses marines

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 7-7 tirée de Bellavance (2012). La limite entre le socle rocheux précamalien et les roches sédimentaires paléozoïques correspond approximativement à la position de la faille de Saint-Prosper présentée à la figure 6-8.



Source : Lamarche, L. *et al.*, 2006

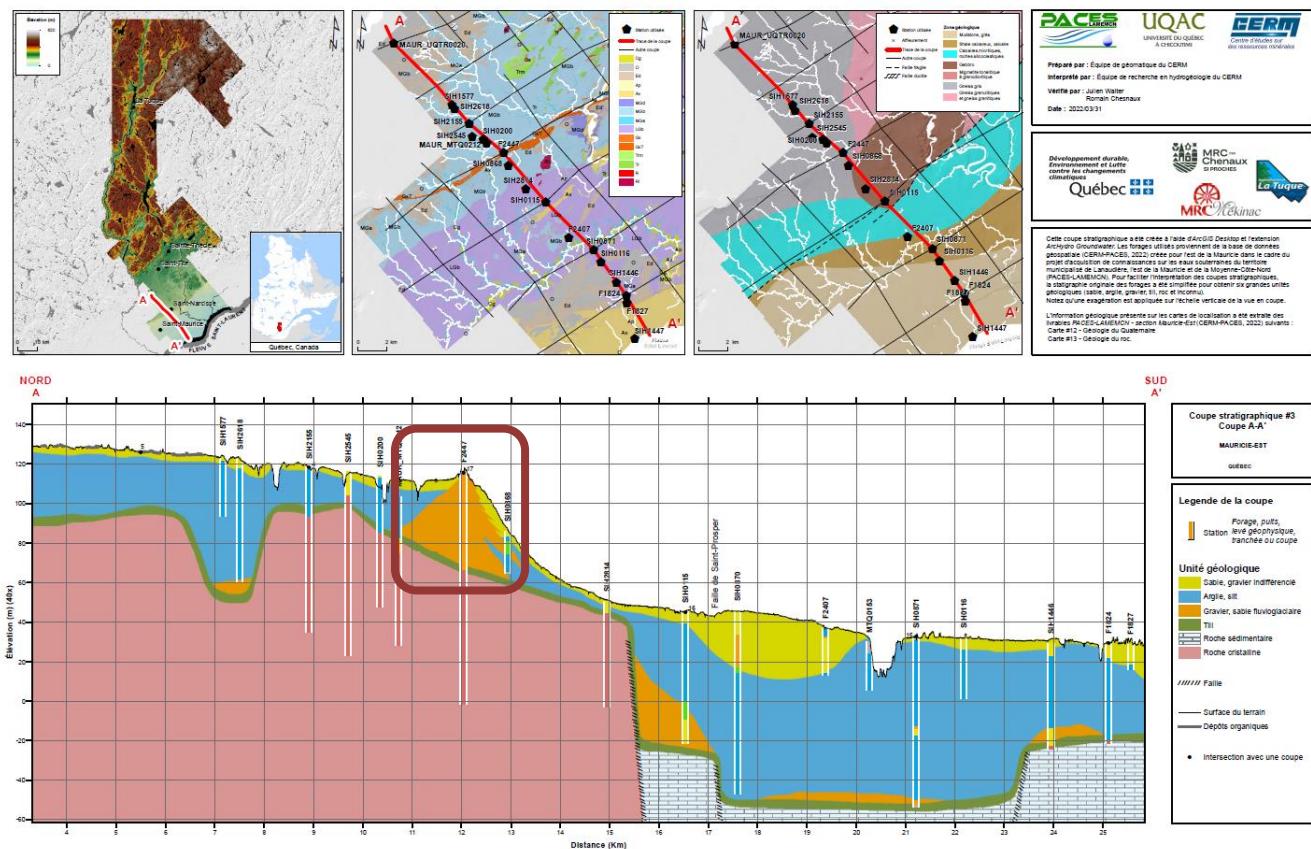
Figure 7-7 : Coupe stratigraphique conceptuelle d'orientation nord – Sud réalisé à la hauteur de la rivière Maskinongé (tirée de Bellavance, 2012).

#### Contexte #3 – Piedmont

Le piedmont est à la fois marqué par les caractéristiques des Hautes-Terres et celles des Basses-Terres : il présente des remontées du socle rocheux qui permettent des affleurements du socle cristallin, et il a été envahi par la mer de Champlain ce qui a permis de déposer des sédiments fins imperméables au-dessus d'éventuels dépôts fluvioglaciaires. Les coupes stratigraphiques montrent une épaisseur de dépôts de surface généralement comprise entre 20 et 40 m.

La limite nord du piedmont est située au pied des hauts reliefs des Hautes-Terres. Cette rupture de pente importante est l'expression du demi-graben du Saint-Laurent et est probablement accompagnée d'une faille normale qui traverse le territoire d'est en ouest. Le nord-est du piedmont est marqué par des dépôts deltaïques en surface, déposés au-dessus des argiles marines au niveau de l'embouchure des vallées, comme c'est le cas dans le coin de Lac-aux-Sables. Ces dépôts de sable sont généralement peu épais, mais assez étendus, ce qui en fait de bons potentiels aquifères. Le sud du piedmont est constitué par la moraine de Saint-Narcisse. Cette moraine frontale a été interprétée sur les coupes stratigraphiques comme un cordon morainique composé de sables et graviers fluvioglaciaires. La partie la plus élevée de ce cordon affleure en surface (voir la crête morainique sur la carte #12 : *Géologie du Quaternaire*) et le reste des sédiments est enfoui sous les sédiments fins de la mer de Champlain (figure 7-8). La partie affleurante de la moraine pourrait jouer le rôle de zone de recharge pour les aquifères présents sous les argiles marines tels que les milieux fluvioglaciaires et le socle rocheux fracturé.

La partie est du piedmont est marquée par un seuil topographique composé de nombreux affleurements rocheux et de buttons de till qui sont notamment présents sur le territoire des municipalités de Saint-Tite et Saint-Adelphe. Cette zone pourrait constituer une zone de recharge importante pour les aquifères de socle rocheux fracturés. L'ouest du piedmont est marqué par d'importants milieux humides, composés principalement de marécages et de tourbières présents surtout dans les municipalités de Grandes-Piles et de Saint-Narcisse. Ces milieux humides constituent des environnements où la nappe est affleurante et très vulnérable.



*Figure 7-8 : Coupe stratigraphique n°3. L'encadré rouge localise la vue en coupe de la moraine de Saint-Narcisse tel qu'elle a été interprétée sur le territoire de l'est de la Mauricie.*

#### Contexte #4 – Hautes-Terres

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 sous des sédiments fluvioglaciaires pouvant atteindre d'importantes épaisseurs ( $> 30$  m). La vallée de la rivière de la Bostonnais est comblée de sédiments fluvioglaciaires, avec des épaisseurs comprises entre 20 et 40 m environ, qui sont déposés dans l'ensemble de la vallée. Leur grande étendue, leur bonne épaisseur et leur forte perméabilité en font un milieu aquifère à fort potentiel. Cette vallée n'a pas été envahie par la mer de Champlain probablement due à un bouchon créé par des remontées du socle rocheux au sud de la vallée (contrairement à la vallée de la rivière Saint-Maurice et Croche). Plusieurs familles de linéaments sont observées. Elles correspondent aux grandes orientations des structures géologiques du territoire (voir section 6.1). En général, les orientations générales nord/nord-ouest – sud/sud-est, nord-ouest / sud-est, nord-est – sud-ouest dominent et sont présumées avoir contrôlé la direction d'écoulement généralement nord-sud des eaux de fonte glaciaires (figure 7-6).

#### Contexte #5 – Vallées très incisées interprétées comme des fjords

Pendant leurs passages les glaciers érodent le socle rocheux et creusent d'autant plus la roche au niveau des zones les plus intensément fracturées formant ainsi des vallées glaciaires en forme de U. Lors de la fonte du glacier, les vallées glaciaires sont des chemins d'écoulement préférentiel des eaux de fonte. Le dernier glacier continental datant du Wisconsinien, et peut-être d'autres présents antérieurement, a donc déposé des sédiments fluvioglaciaires dans les principales vallées du territoire, notamment les vallées de la rivière Saint-Maurice et la rivière Croche. Ces sédiments sont composés principalement de graviers, de sables, et de blocs.

De plus, l'invasion marine des Terres qui a eu lieu à la suite du retrait glaciaire a déposé des argiles marines jusqu'à une altitude d'environ 240 m dans le nord du territoire d'étude (Brouard *et al.*, 2021). Les vallées de la rivière Saint-Maurice, de la rivière Croche et du lac Mékinac sont des vallées incisées dans les Hautes-Terres qui ont été envahies par la mer de Champlain. De ce fait, ces vallées présentent plusieurs caractéristiques propres aux fjords.

L'interprétation des coupes stratigraphiques a mis en évidence une vallée importante à l'est du territoire, dans les municipalités de Sainte-Anne-de-la-Pérade et de Saint-Prosper. Cette vallée débuterait dans le piedmont et se poursuivrait dans les Basses-Terres, enfouie sous les argiles de la mer de Champlain. Cette vallée est visible sur les coupes 17 et 18 et pourrait constituer un paléo-fjord dont le fond pourrait être tapissé d'un épais dépôt de till et de sédiments fluvioglaciaires, des sédiments plus anciens que ceux associés au dernier maximum glaciaire peuvent aussi être présents. Dans certains cas, il peut s'agir de formation au fort potentiel aquifère, mais leur profondeur limite grandement leur investigation hydrogéologique et hydrogéochimique. Les sédiments qui comblient ces vallées sont généralement surmontés par les sédiments fins de la mer de Champlain, considérés imperméables, ainsi que des sédiments alluviaux en surface. Les sédiments alluviaux sont composés de sédiments deltaïques, littoraux et pré littoraux et des alluvions de terrasses fluviales. Ces dépôts sont principalement composés de sable, silt-sableux, sable graveleux et graviers et peuvent atteindre 10 m d'épaisseur le long de la rivière Saint-Maurice.

Le long de ces deux vallées (Saint-Maurice et à l'est du territoire d'étude), on peut éventuellement retrouver une superposition de deux aquifères séparés par une couche imperméable avec en résumé:

- en surface, un aquifère perméable à nappe libre ayant des connexions hydrauliques avec la rivière et ;
- en profondeur, un aquifère à nappe captive très perméable enfoui sous les argiles marines.

*Nota Bene*, la couche d'argile marine est considérée imperméable, mais peut, tout de même, laisser circuler de très petites quantités d'eau sur des échelles de temps long. En effet, même si elle est très faible, l'argile présente une certaine perméabilité (avec une conductivité hydraulique de l'ordre de  $10^{-11} - 10^{-10}$  m/s). Pour

information, avec une conductivité hydraulique de  $1 \times 10^{-10}$  m/s, une couche d'argile laisse percoler environ 3,15 mm d'eau par an. De plus, la couche d'argile peut être fissurée à certains endroits pouvant augmenter localement la vitesse d'écoulement et les quantités d'eau qui peuvent percoler. D'un point de vue de la protection des eaux souterraines, il est donc important de garder à l'esprit que des infiltrations et des percolations de polluants sont possibles à travers une couche d'argile, et que le contaminant pourra éventuellement atteindre la nappe bien après l'incident de déversement de contaminants dans l'environnement.

### **7.3.2 Coupe conceptuelle**

La carte des grands contextes stratigraphiques régionaux (figure 7-6) a permis de créer une coupe conceptuelle illustrant la séquence de déposition des différentes unités géologiques. Cette coupe (figure 7-9) 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).

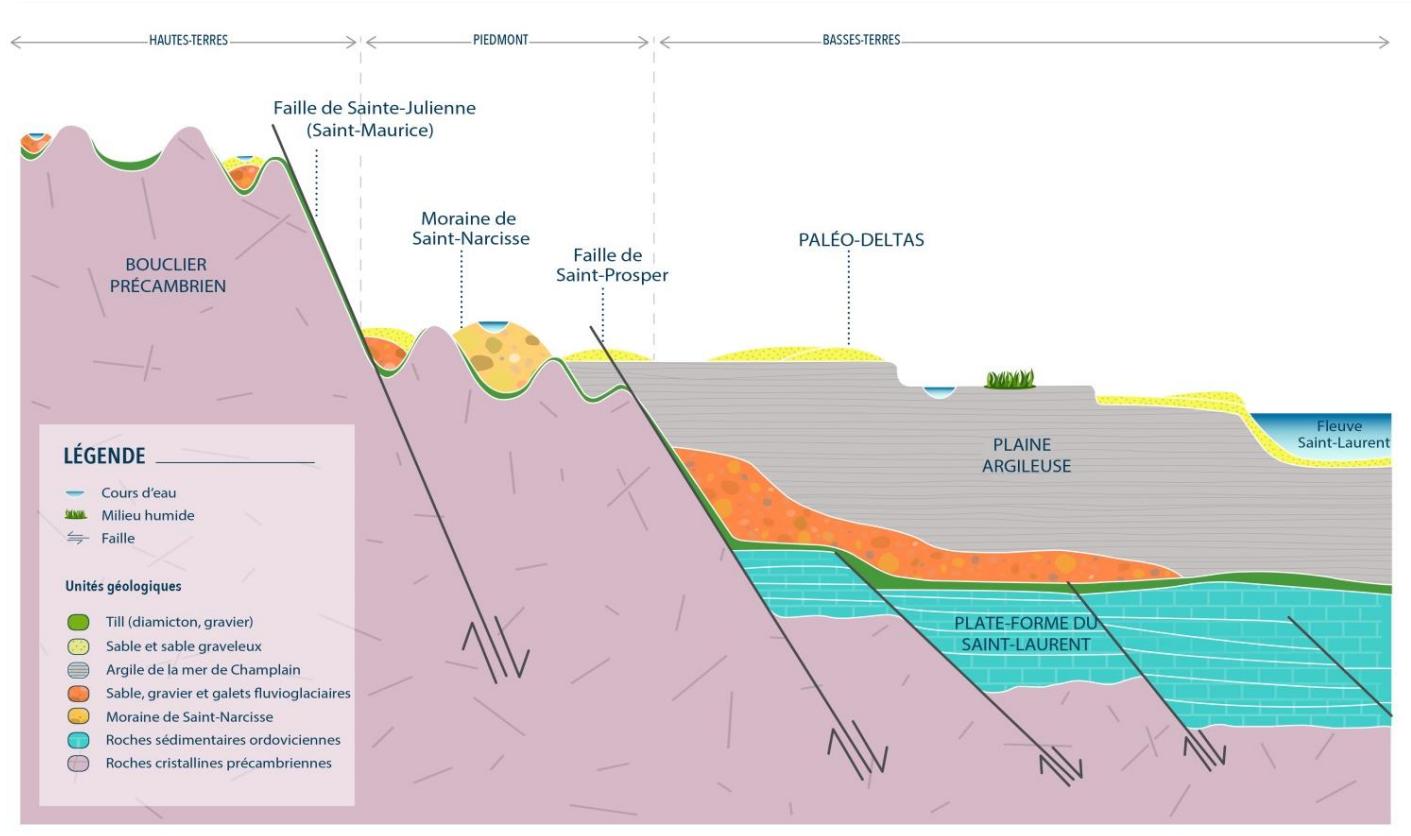


Figure 7-9 : Coupe conceptuelle des grands ensembles géomorphologiques et géologiques de l'est de la Mauricie.

## 7.4 Contextes hydrogéologiques

Un total de **9 contextes hydrogéologiques** sont interprétés pour le territoire municipalisé de l'est de la Mauricie 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 tous 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 7-10) et permet d'intégrer la 3<sup>e</sup> dimension à une carte en 2D.

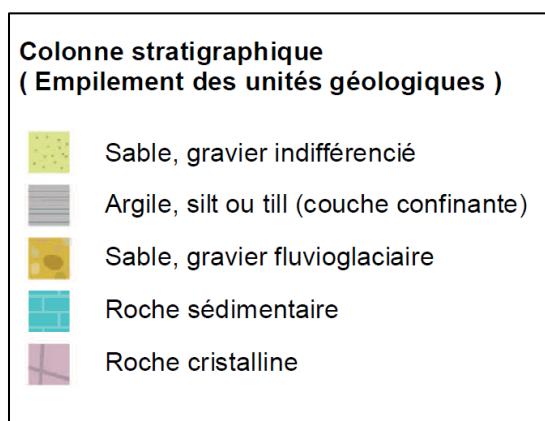


Figure 7-10 : Unités hydrogéologiques simplifiées. Ces unités hydrogéologiques constituent des séquences d'empilement formant les contextes hydrogéologiques présentés sur la carte des contextes hydrogéologiques (carte #17).

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 7-11). 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.

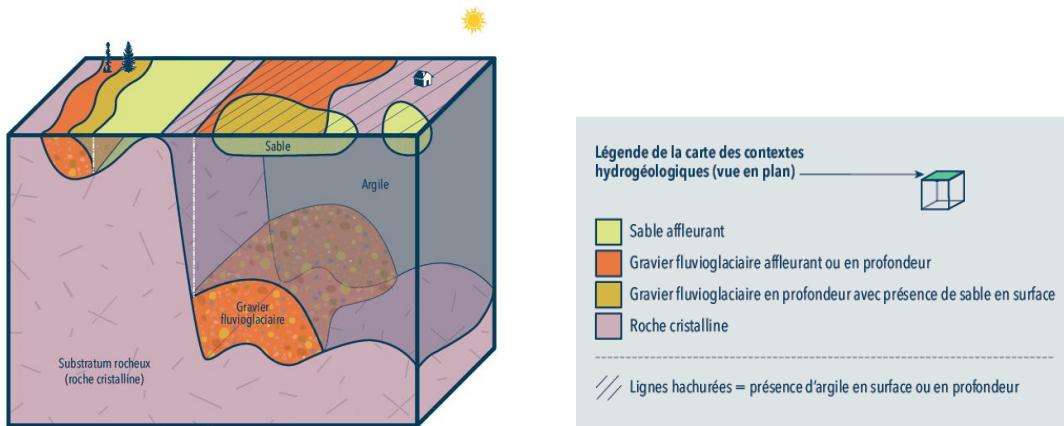


Figure 7-11 : Modèle conceptuel simplifié expliquant l'utilisation du jeu de couleur de la carte des contextes hydrogéologiques afin de décrire les milieux aquifères affleurants en surface et interprétés en profondeur.

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

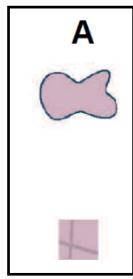
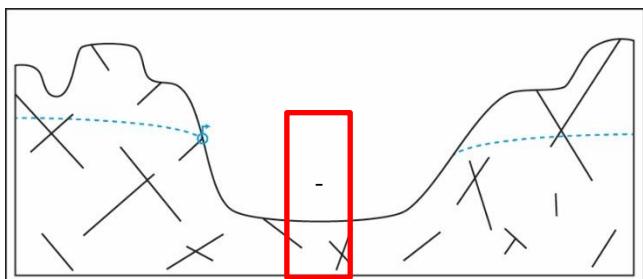
Contexte hydrogéologique	Superficie sur le territoire (km <sup>2</sup> )	% du territoire	% dans les HT	% dans le piedmont	% dans les BT	% des HT	% du piedmont	% des BT
A	3615	61%	94%	6%	<1%	75%	24%	0.4%
B	1	<1%	0%	0%	100%	0%	0%	<1%
C	399	7%	93%	7%	0%	8%	3%	0%
D	425	7%	94%	5%	<1%	9%	3%	<1%
E	22	<1%	36%	24%	40%	<1%	1%	2%
F	296	5%	60%	22%	18%	4%	8%	10%
G	1096	18%	15%	43%	42%	4%	56%	83%
H	53	1%	17%	79%	4%	<1%	5%	<1%
I	28	<1%	0%	0%	100%	0%	0%	5%

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 encadré rouge 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



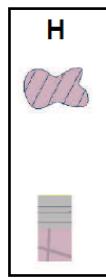
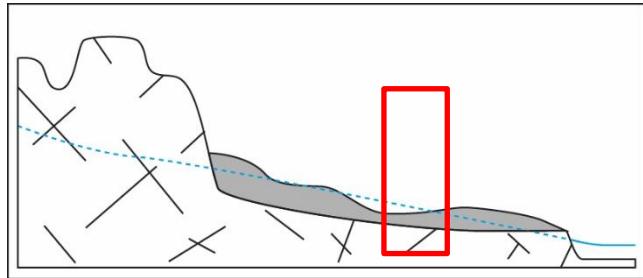
Le contexte hydrogéologique A regroupe l'ensemble des aquifères de socle rocheux fracturé qui affleurent en surface. Les milieux fracturés ont la particularité d'être très complexes, c'est-à-dire qu'ils peuvent être extrêmement perméables localement à certains endroits, alors qu'ils sont quasi imperméables 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 **61%** du territoire (tableau 7-1). Il est caractéristique des hauts reliefs du territoire de l'est de la Mauricie et se retrouve principalement au niveau des Hautes-Terres (75% des Hautes-Terres) et sur une partie des piedmonts (24% du piedmont). Le contexte A est principalement présent sur l'agglomération de La Tuque.

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 l'est de la Mauricie, il représente seulement **1%** du territoire (tableau 7-1). Il se retrouve :

- principalement dans le piedmont, dans le creux des rivières où les sables de surface ont été emportés par le cours d'eau laissant seulement les argiles de la mer de Champlain déposées sur le socle rocheux.

On retrouve ce contexte notamment dans les municipalités de Hérouxville, Saint-Tite, Sainte-Thècle, Lac-aux-Sables, Saint-Adelphe, Saint-Séverin, Saint-Narcisse, Saint-Stanislas et Sainte-Anne-de-la-Pérade et ;

- dans les Hautes-Terres, sur la municipalité de Trois-Rives, sous le lac Mékinac (Trottier et al., 2021).

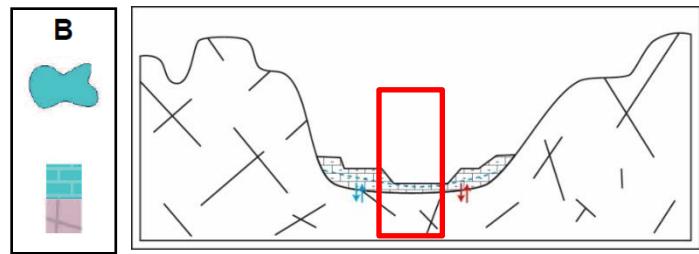
#### **7.4.2 Contexte dominé par le milieu aquifère sédimentaire fracturé**

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.

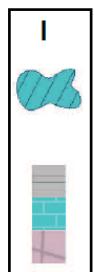
Le contexte B est peu présent sur le territoire et se



retrouve sur moins de 1% 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. 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 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, au niveau de remontées du socle rocheux qui sont suffisamment importantes pour ne pas avoir été recouvertes par les argiles de la mer de Champlain. On retrouve seulement deux remontées du socle rocheux sédimentaire, l'une dans la municipalité de Sainte-Geneviève-de-Batiscan et l'autre dans la municipalité de Sainte-Anne-de-la-Pérade.

##### 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.

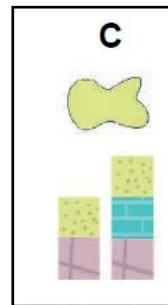
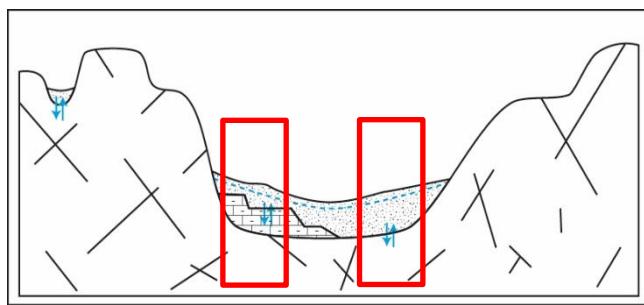
Le contexte I se retrouve uniquement dans les Basses-Terres et représente moins de 1% de tout le

territoire (tableau 7-1). On le retrouve notamment sur le territoire des municipalités de Saint-Maurice, Saint-Luc-de-Vincennes, Champlain, Sainte-Geneviève-de-Batiscan, Batiscan, Saint-Prosper-de-Champlain et Sainte-Anne-de-la-Pérade, sous les cours d'eau.

#### **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 l'est de la Mauricie, 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 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.

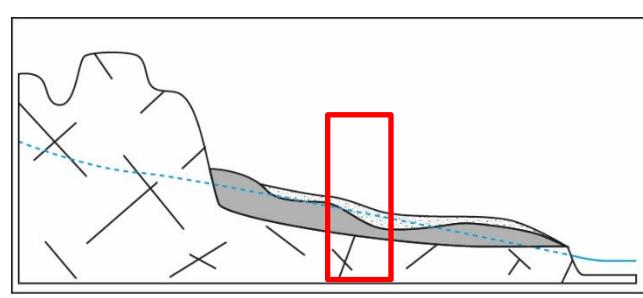
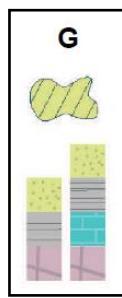
Les aquifères granulaires de surface se caractérisent par la présence d'une nappe d'eau souterraine libre, c'est-à-dire qui est en équilibre avec la pression atmosphérique. La recharge y est relativement élevée et la nappe libre affleure suivant l'hydrographie de surface (lac et cours d'eau).

Le contexte C représente seulement **7%** de toute sa superficie (tableau 7-1). On le retrouve localement et sporadiquement dans les Hautes-Terres et au niveau d'une remontée du socle rocheux importante dans le piedmont dans la municipalité de Saint-Adelphe. Ce contexte est composé de sédiments sableux qui ont déposés après l'événement de la mer de Champlain et a une altitude où la mer ne s'est pas rendue.

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

Le contexte hydrogéologique G regroupe les aquifères perméables en milieux poreux sus-jacents à 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.

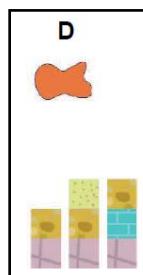
Le contexte G couvre **18%** du territoire (tableau 7-1). On retrouve le contexte G sur d'importantes superficies dans les Basses-Terres (83% des Basses-Terres) et le piedmont (56% du piedmont) ainsi que dans le creux de la vallée de la rivière Saint-Maurice, la rivière Croche et la rivière Mékinac.

Dans les Hautes-Terres, il est important de noter que l'analyse des coupes stratigraphiques et la cartographie des formations superficielles réalisée par Brouard *et al.* (2021) a mis en évidence que ces trois grandes vallées ont été comblées par des sédiments argileux de la mer de Champlain. Selon Brouard *et al.* (2021), la limite marine serait remontée jusqu'à une altitude de 240 m dans le nord du territoire de l'est de la Mauricie. Les vallées du Saint-Maurice et de la rivière Croche pourraient donc constituer des paléo-fjords.

Dans le piedmont et le sud des Hautes-Terres, 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 Saint-Roch-de-Mékinac, Lac-aux-Sables et Notre-Dame-de-Montauban dans les vallées de Saint-Maurice et du Lac-aux-Sables. Dans le reste du piedmont, on retrouve surtout des sables littoraux glaciomarins de la mer de Champlain déposés sur les argiles marines. On retrouve ce contexte dans les municipalités de Hérouxville, Saint-Tite, Saint-Adelphe, Saint-Narcisse, Saint-Séverein et Saint-Stanislas. Dans les Basses-Terres, le contexte G se traduit par les sables littoraux glaciolacustres du paléolac Lampsilis déposés sur des argiles marines. On retrouve ce contexte majoritairement dans les municipalités de Saint-Maurice, Saint-Luc-de-Vincennes, Saint-Prosper-de-Champlain et Sainte-Anne-de-la-Pérade.

#### **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 couvre **7%** 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. Le contexte D est particulièrement présent dans les Hautes-Terres (94% dans les Hautes-Terres) dans l'agglomération de La Tuque et la MRC de Mékinac et affleure tout le long de la crête de la moraine de Saint-Narcisse. On le retrouve également sporadiquement dans le piedmont sur des affleurements de roc.

Il est important de noter que la réalisation de la **carte # 17 – Contextes hydrogéologiques** est basée sur les simplifications à l'échelle régionale. La moraine de Saint-Narcisse a été interprétée avec le contexte D et le contexte F. Localement, des lits d'argile peuvent être observés à certains endroits de la moraine (Occhietti, 2007b) tels que présentés à la figure 6-12.

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 glaciolacustre déposés directement sur les graviers fluvioglaciaires, sur le territoire de la municipalité

La Bostonnais. Dans la vallée de la rivière Saint-Maurice, plusieurs forages ont montré une alternance de lits d'argile marine et de sable. Cette succession stratigraphique est interprétée comme étant un environnement de transition entre les argiles marines et les sables littoraux associés aux transgressions et régressions marines. Cette alternance de lits imperméables et perméables a été regroupée sous une unité de sable silteux (présente sur les coupes stratigraphiques) et est supposée comme étant une couche semi-perméable. Lorsque cette unité de sable silteux surmonte des sédiments fluvioglaciaires, le contexte D a été identifié, car des connexions hydrauliques peuvent avoir lieu entre les graviers fluvioglaciaires et l'unité de sable silteux. On retrouve notamment cette séquence stratigraphique dans la municipalité de La Tuque.

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.

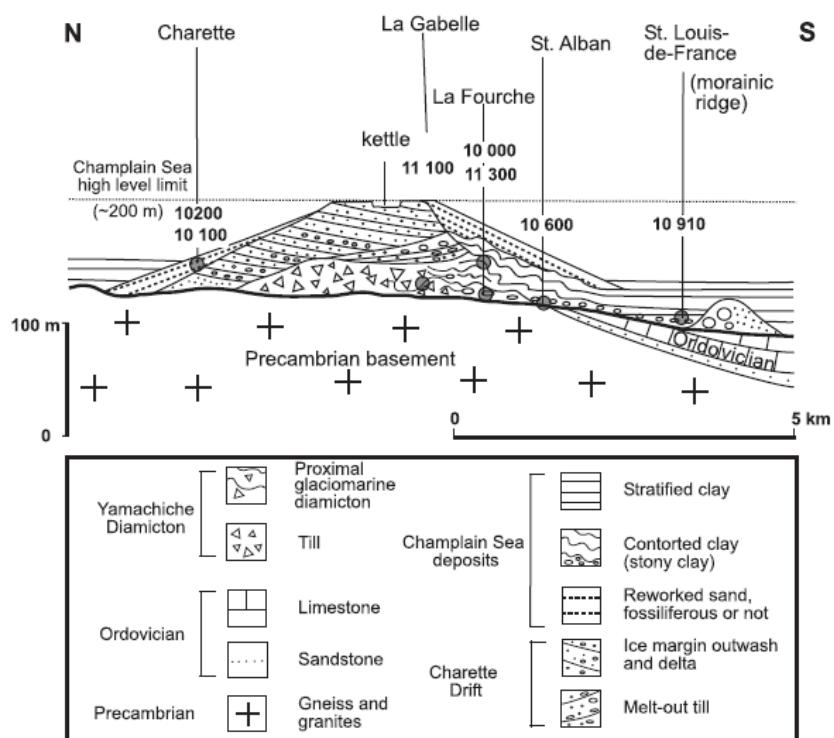


Figure 7-12 : Stratigraphie du complexe morainique de Saint-Narcisse à la marge du lobe du Saint-Maurice dans la mer de Champlain (Occhietti, 2007b).

#### 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.

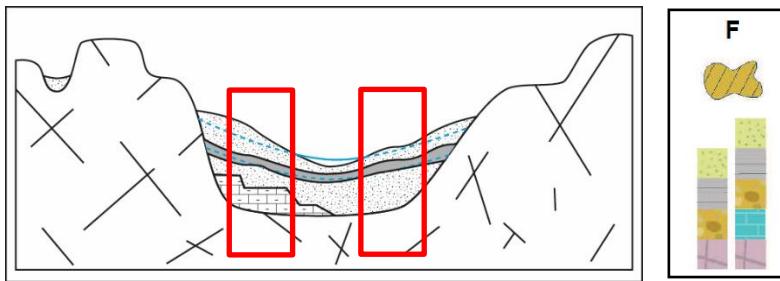
Dans le contexte E, l'aquifère en milieu poreux est confiné par une couche d'argile



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 couvre moins de **1%** du territoire (tableau 7-1). Il se retrouve principalement dans le sud de la municipalité de Grandes-Piles et localement dans le piedmont et les Basses-Terres dans le creux de certaines rivières (dans des municipalités telles que Saint-Séverin, Saint-Narcisse, Saint-Luc-de-Vincennes, Sainte-Geneviève-de-Batiscan) et sous les dépôts de glissement de terrain de la municipalité de Saint-Prosper-de-Champlain. *Nota Bene*, les dépôts de versant (dépôts de glissements de terrain, etc.), étant donné leur faible épaisseur, n'ont pas été considérés dans l'interprétation des contextes hydrogéologiques.

#### 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.

Le contexte F couvre une superficie de **5%** du territoire (tableau 7-1). Il se retrouve localement dans les Basses-Terres et le piedmont ainsi que dans les grandes vallées des Hautes-Terres, au niveau des rivières Saint-Maurice, Croche et Mékinac. On retrouve localement le contexte F sur diverses municipalités telles que Saint-Adelphe, Saint-Luc-de-Vincennes, Champlain et Sainte-Geneviève-de-Batiscan où des dépôts fluvioglaciaires de forme allongée ont été interprétés sous les argiles marines. Le contexte F se retrouve également de part et d'autre de la crête morainique de Saint-Narcisse (une partie du cordon morainique est supposée enfouie sous les argiles marines et les sables littoraux de la mer de Champlain) ainsi que dans une importante vallée à l'est du territoire chevauchant le piedmont et les Basses-Terres au niveau des municipalités de Saint-Adelphe et Sainte-Anne-de-la-Pérade. Cette vallée dans le socle rocheux cristallin a été mise en évidence grâce à l'analyse des coupes stratigraphiques. Celle-ci pourrait constituer un paléofjord qui aurait été comblé par des dépôts fluvioglaciaires puis enfouis sous les argiles de la mer de Champlain. *Nota Bene*, le relief, de ce paléofjord serait impacté par les failles normales NO-SE associées au demi-graben du Saint-Laurent (voir les coupes n° 16 et 17).

#### **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 notamment situé dans la vallée de la rivière Saint-Maurice), et finalement le contexte de dépôts granulaires perméables d'origine fluvioglaciaire affleurants (contexte D, principalement situé dans les vallées glaciaires des Hautes-Terres). Le piedmont comprend des contextes qui se retrouvent à la fois dans les Hautes-Terres et les Basses-Terres. 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 limite entre le piedmont et les Basses-Terres est marquée par la présence de la moraine de Saint-Narcisse composée par les contextes D, E et F.

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*

<b>Contexte hydrogéologique</b>	<b>Municipalités ou MRC où se manifeste majoritairement le contexte hydrogéologique</b>	<b>Localisation principale du contexte hydrogéologique</b>
A	L'agglomération de La Tuque et la MRC Mékinac	Se retrouve où le socle rocheux est affleurant dans les Hautes-Terres et dans une partie du piedmont
B	Sainte-Anne-de-la-Pérade, Sainte-Geneviève-de-Batiscan	Se retrouve au droit des buttons de roches sédimentaires dans les Basses-Terres
C	L'agglomération de La Tuque et la MRC Mékinac	Se retrouve très localement et sporadiquement dans les Hautes-Terres
D	L'agglomération de La Tuque et de Mékinac, Saint-Adelphe	Se retrouve surtout dans les vallées des Hautes-Terres et localement sur le roc dans le piedmont
E	Grandes-Piles, Saint-Luc-de-Vincennes, Sainte-Geneviève-de-Batiscan, Saint-Prosper-de-Champlain.	Se retrouve dans le sud de la municipalité de Grandes-Piles et localement dans le piedmont et les Basses-Terres dans le creux de certaines rivières
F	Saint-Adelphe, Saint-Luc-de-Vincennes, Champlain et Sainte-Geneviève-de-Batiscan, MRC de Mékinac et l'agglomération de La Tuque	Se retrouve localement dans les Basses-Terres et le piedmont ainsi que dans les grandes vallées des Hautes-Terres, au niveau des rivières Saint-Maurice, Croche et Mékinac. Il se retrouve aussi de part et d'autre de la crête morainique de la moraine de Saint-Narcisse
G	Hautes-Terres Saint-Roch-de-Mékinac, Lac-aux-Sables et Notre-Dame-de-Montauban  Piedmont : Saint-Maurice, Saint-Luc-de-Vincennes, Saint-Prosper-de-Champlain et Sainte-Anne-de-la-Pérade  Basses-Terres : Hérouxville, Saint-Tite, Saint-Adelphe, Saint-Narcisse, Saint-Séverein et Saint-Stanislas.	Se retrouve sur d'importantes superficies dans les Basses-Terres et le piedmont ainsi que dans le creux de la vallée de la rivière Saint-Maurice, la rivière Croche et la rivière Mékinac.
H	Saint-Tite, Saint-Thècle, Saint-Adelphe et Saint-Séverin	Se retrouve notamment sous le lac Mékinac, et sous les rivières du piedmont
I	Saint-Maurice, Saint-Luc-de-Vincennes, Sainte-Geneviève-de-Batiscan, Champlain, Batiscan, Saint-Prosper-de-Champlain et Sainte-Anne-de-la-Pérade.	Se retrouve uniquement 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  $T$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] 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  $T$**  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] 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  $S$**  [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ] 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.

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.

Au total, **121 données** de propriétés hydrauliques ont été extraites des rapports de consultants soit:

- **10 valeurs de conductivités hydrauliques** dans les dépôts granulaires;
- **98 valeurs de transmissivité** (57 estimations dans le granulaire, 38 dans le roc fracturé et 3 dans un aquifère inconnu) et;
- **13 valeurs d'emmagasinement** (9 estimations dans le granulaire, 3 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 l'est de la Mauricie, ce sont **51 stations** qui possèdent une ou plusieurs estimations de propriétés hydrauliques, mais 3 de ces stations n'ont pu être localisées sur le territoire. La figure 7-13 montre la localisation des 48 stations possédant des propriétés hydrauliques.

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).

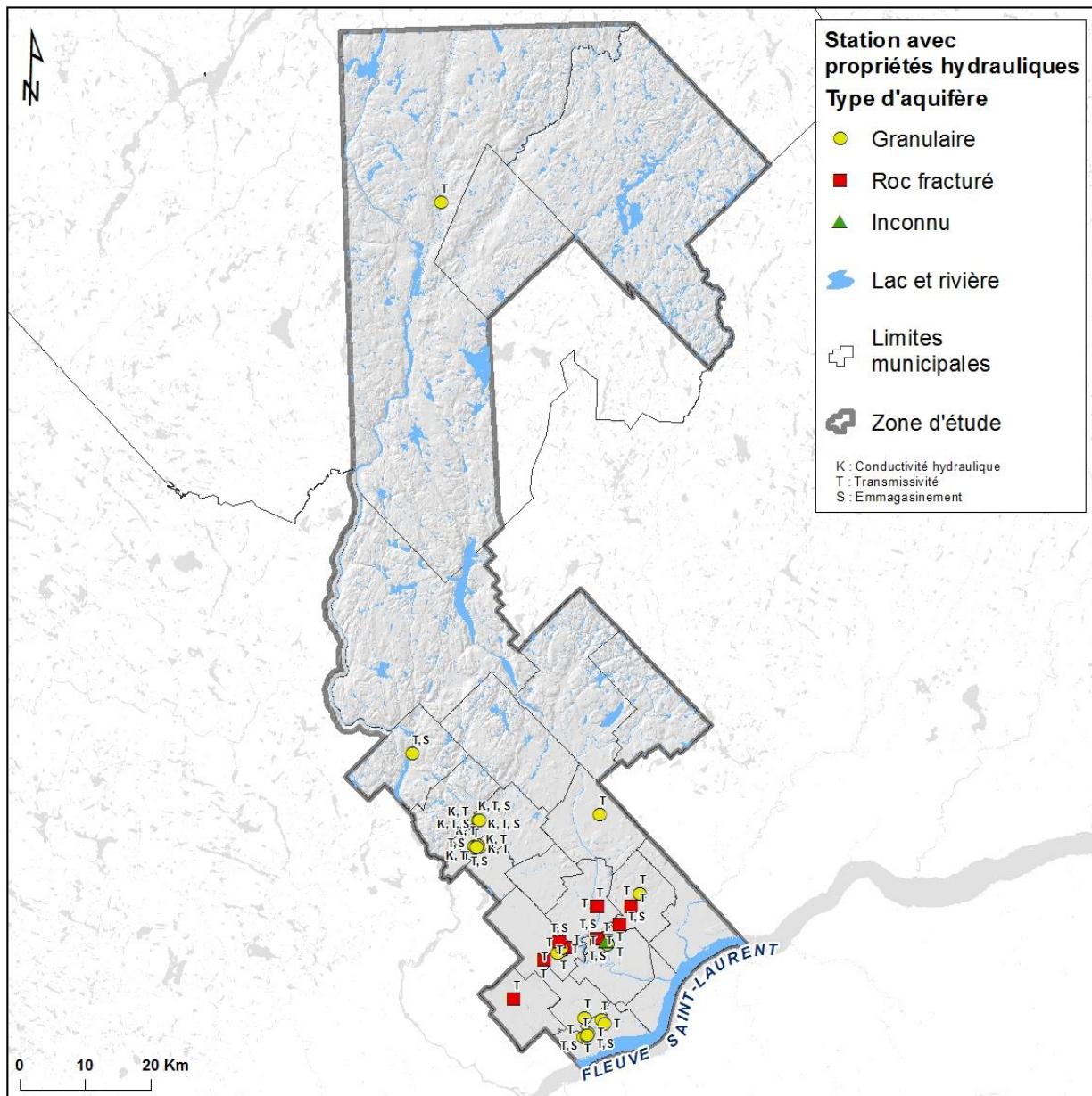
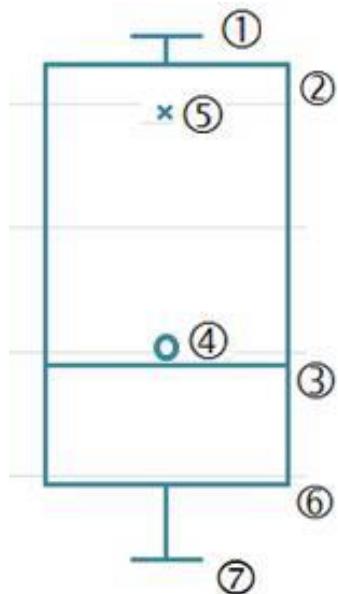


Figure 7-13 : Stations extraites des rapports de consultant et ayant une ou plusieurs propriétés hydrauliques.

Tel qu'illustrées par la figure 7-13, 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 7-14).



- 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 7-14 : 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 7-15).

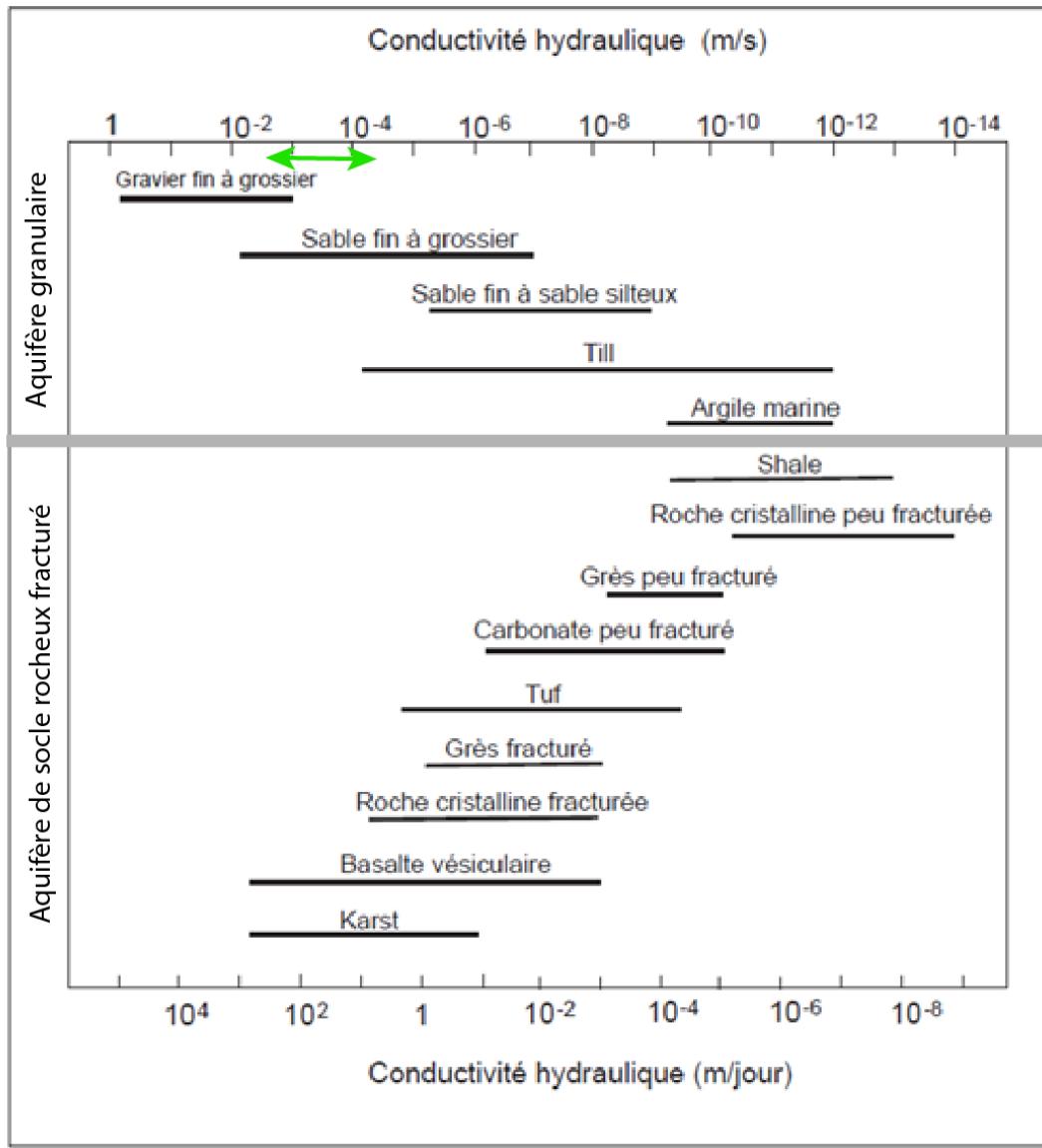


Figure 7-15 : Valeurs typiques de la conductivité hydraulique avec les gammes de valeurs des données récoltées pour les aquifères granulaires (double flèche verte) (modifié de Freeze et Cherry, 1979).

#### 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 :

- **8 valeurs de conductivité hydraulique** (8 stations dans le granulaire et aucune dans le roc fracturé);
- **50 valeurs de transmissivité** (35 stations dans le granulaire et 15 dans le roc fracturé) et;
- **10 valeurs d'emmagasinement** (7 stations dans le granulaire et 3 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.*

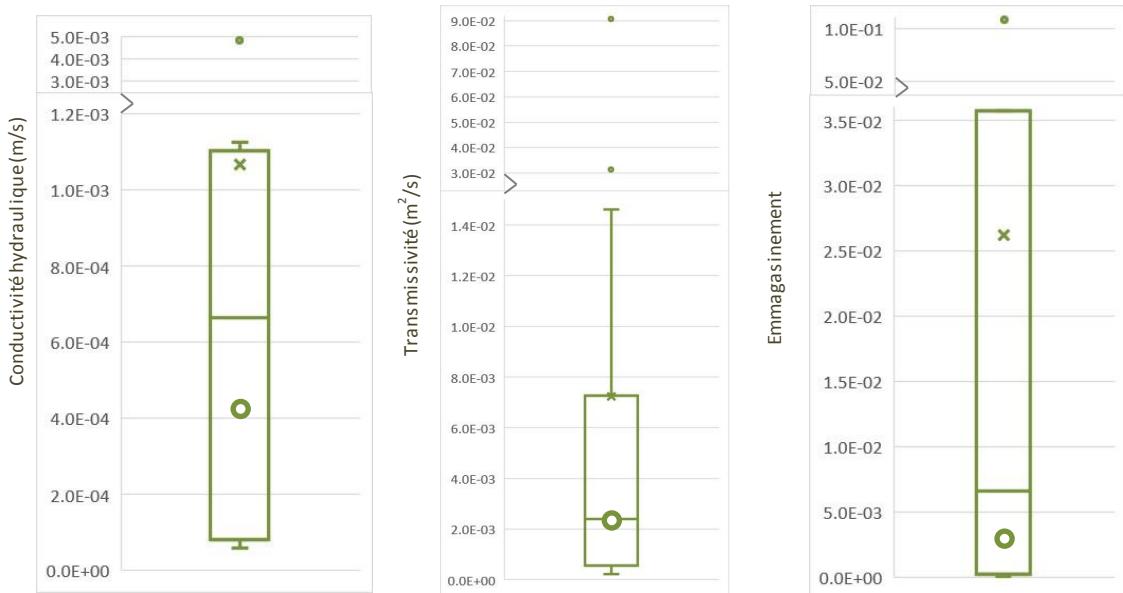
		Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Nb d'éch
<b>Transmissivité <math>T</math>(m<sup>2</sup>/s)</b>	Granulaire	2.2E-04	9.1E-02	2.3E-03	2.4E-03	35
	Roc fracturé	4.0E-05	3.1E-03	2.1E-04	1.7E-04	15
<b>Conductivité hydraulique <math>K</math> (m/s)</b>	Granulaire	6.1E-05	4.8E-03	4.2E-04	6.6E-04	8
	Roc fracturé	n-d	n-d	n-d	n-d	0
<b>Emmagasinement <math>S</math> (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	Granulaire	5.0E-06	1.1E-01	2.5E-03	6.6E-03	7
	Roc fracturé	1.3E-05	1.6E-02	6.1E-04	1.1E-03	3

### **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 7-16 présente les statistiques obtenues à partir des propriétés hydrauliques calculées pour ce type de milieux dans la région de l'est de la Mauricie.

#### Conductivité hydraulique $K$

La conductivité hydraulique des aquifères granulaires varie entre  $6,1 \times 10^{-5}$  et  $4,8 \times 10^{-3}$  m/s avec une moyenne géométrique de  $4,2 \times 10^{-4}$  m/s et une valeur médiane de  $6,6 \times 10^{-4}$  m/s (figure 7-16 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 7-15). 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.



	Conductivité (m/s) (8 valeurs)
<b>Q1</b>	8.9E-05
<b>Min</b>	6.1E-05
<b>Méd</b>	6.6E-04
<b>Max</b>	4.8E-03
<b>Moy géom.</b>	4.2E-04
<b>Q3</b>	1.1E-03

	Transmissivité (m²/s) (35 valeurs)
<b>Q1</b>	5.5E-04
<b>Min</b>	2.2E-04
<b>Méd</b>	2.4E-03
<b>Max</b>	9.1E-02
<b>Moy géom.</b>	2.3E-03
<b>Q3</b>	6.0E-03

	Emmaçanissement (7 valeurs)
<b>Q1</b>	4.7E-04
<b>Min</b>	5.0E-06
<b>Méd</b>	6.6E-03
<b>Max</b>	1.1E-01
<b>Moy géom.</b>	2.5E-03
<b>Q3</b>	3.4E-02

Figure 7-16 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères granulaires.

### Transmissivité T

La transmissivité des aquifères granulaires varie entre  $2,2 \times 10^{-4}$  et  $9,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  avec une moyenne géométrique de  $2,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et une valeur médiane de  $2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (figure 7-16 et tableau 7-3). Les valeurs de transmissivité des sédiments granulaires correspondent à celles de relativement bons aquifères.

### Emmaçanissement S

L'emmaçanissement des aquifères granulaires varie entre  $5,0 \times 10^{-6}$  et 0,1 avec une moyenne géométrique de  $2,5 \times 10^{-3}$  et une valeur médiane de  $6,6 \times 10^{-3}$  (figure 7-16 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 7-17 présente les statistiques obtenues à partir des propriétés hydrauliques calculées pour ce type de milieux dans la région de l'est de la Mauricie.

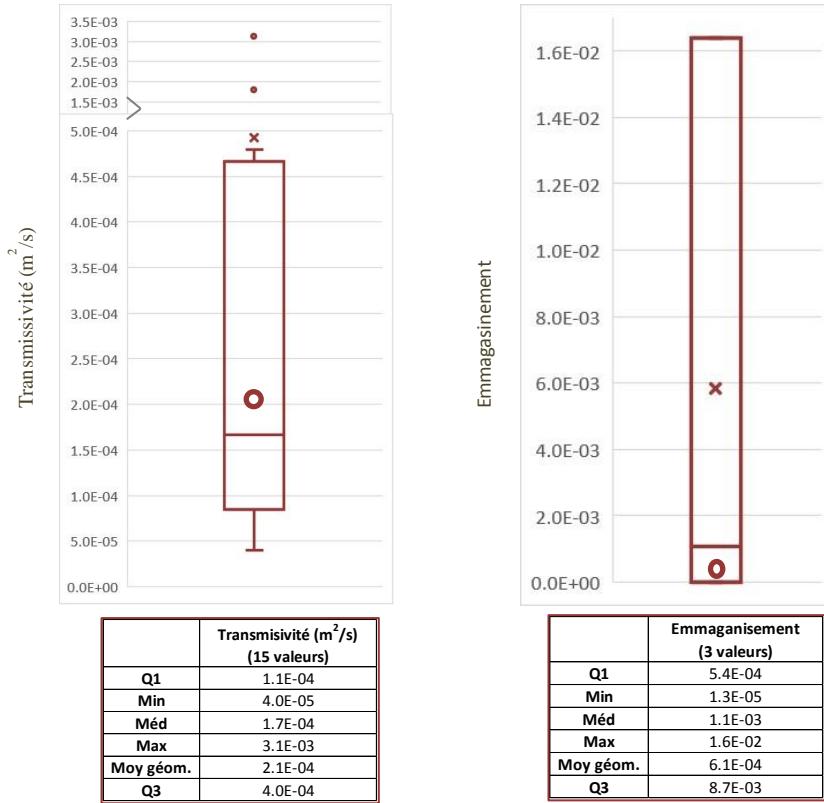


Figure 7-17 : Distribution des valeurs des propriétés hydrauliques dans les aquifères de roc fracture.

### Transmissivité T

La transmissivité des aquifères de socle rocheux fracturé varie entre  $4,0 \times 10^{-5}$  et  $3,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  avec une moyenne géométrique de  $2,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  et une valeur médiane de  $1,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  (figure 7-17 et tableau 7-3). Les valeurs de transmissivité des roches fracturées correspondent à celles d'aquifères parfois intéressants.

La figure 7-18 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 l'est de la Mauricie est de  $7,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  alors que celle des roches cristallines est  $1,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . 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 de constater qu'une seule station est localisée dans les roches sédimentaires. Le reste des stations avec des valeurs de propriétés hydrauliques est situé dans le socle cristallin.

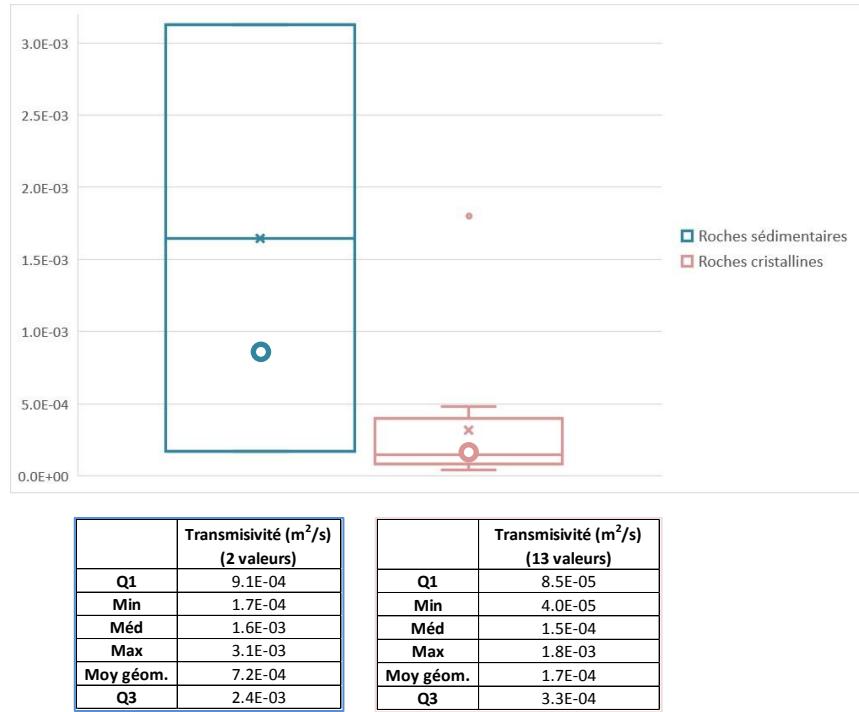


Figure 7-18 : Distribution des valeurs de transmissivité ( $m^2/s$ ) dans les aquifères de roches sédimentaires et dans les roches cristallines.

#### Emmagasinement S

L’emmagasinement des aquifères de socle rocheux fracturé varie entre  $1,3 \times 10^{-5}$  et  $1,6 \times 10^{-2}$  avec une moyenne géométrique de  $6,1 \times 10^{-4}$  et une valeur médiane de  $1,1 \times 10^{-3}$  (figure 7-17 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.

## 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<sup>12</sup>.

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

---

<sup>12</sup> 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]

### **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 510 m), et moins importante dans les vallées et les Basses-Terres (minimum 110 m). 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 **95 à 510 m**. Ces variations sont moins accentuées dans le piedmont où elles varient entre **58 et 265 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 3 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.

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 7-19 :

- 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 Saint-Maurice, La Bostonnais et Batiscan ainsi que le lac Édouard et le lac Mékinac.

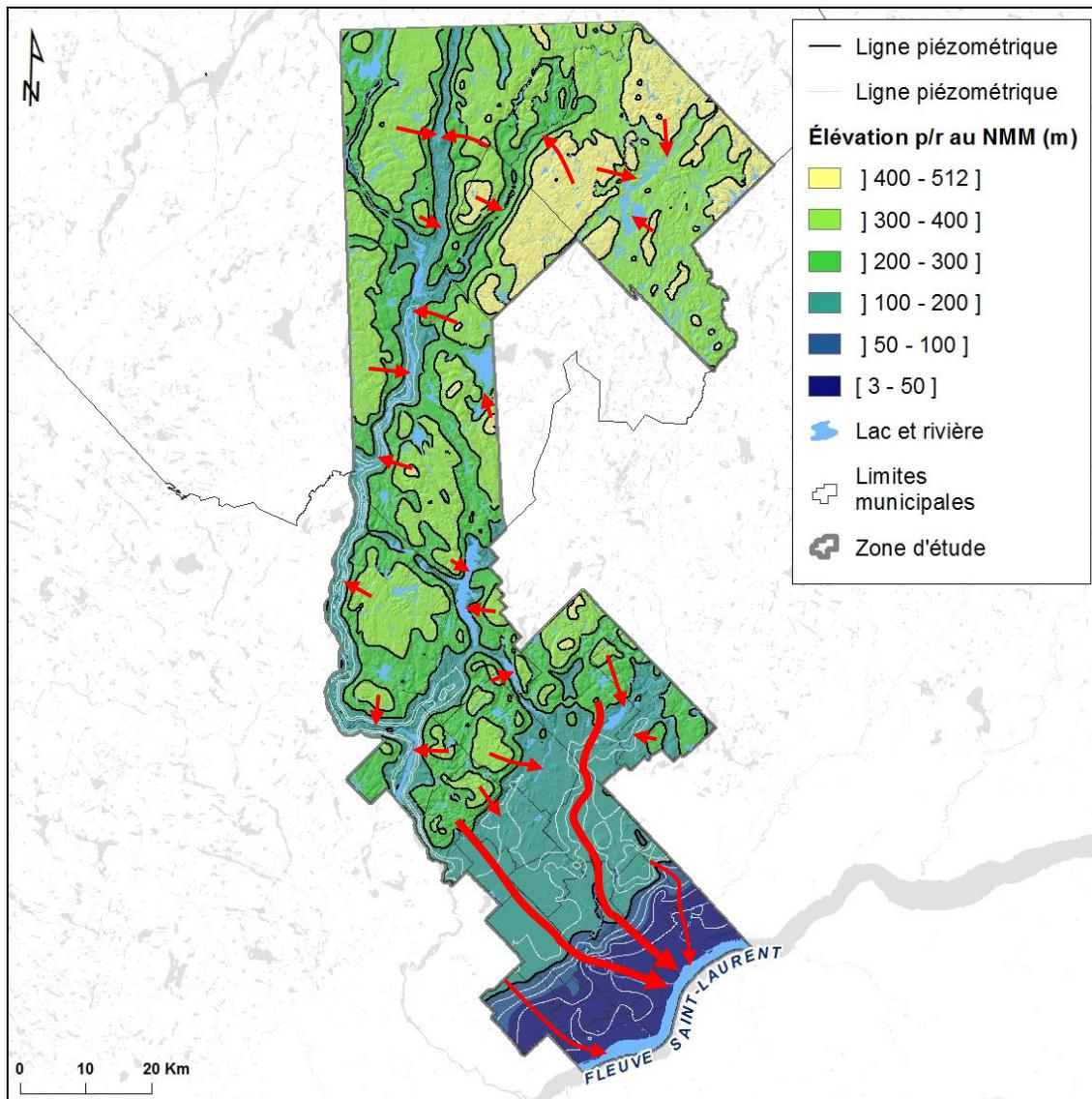


Figure 7-19 : Directions des écoulements régionaux de l'eau souterraine.

### **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 7-20) en soustrayant l'élévation de la surface du terrain (carte #3) et la piézométrie (carte #19).

Sur le territoire de l'est de la Mauricie, la profondeur estimée du toit de la nappe d'eau souterraine est en moyenne de **21 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. En comparaison, les Basses-Terres présentent des variations de plus faible amplitude : entre 0 et 20 m.

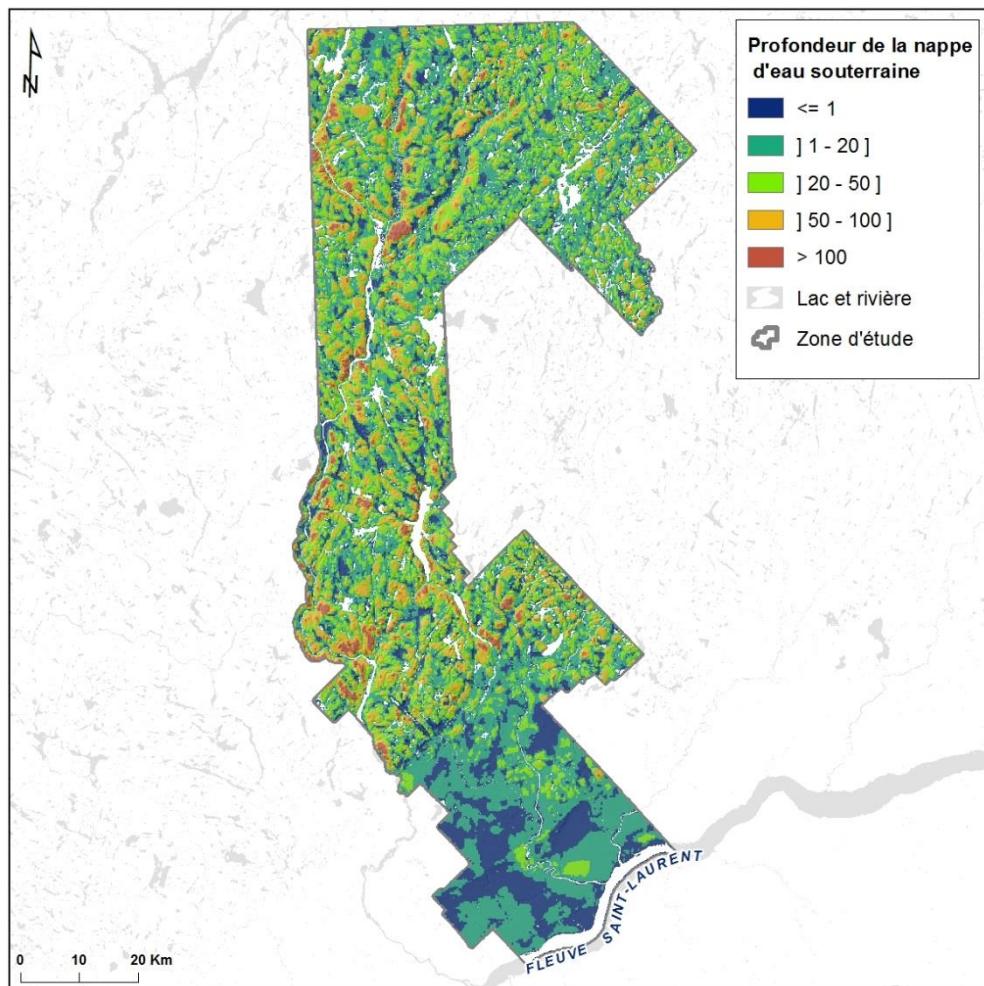


Figure 7-20 : Profondeur de la nappe d'eau souterraine (profondeur toit du premier aquifère rencontré depuis la surface). .

## 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.

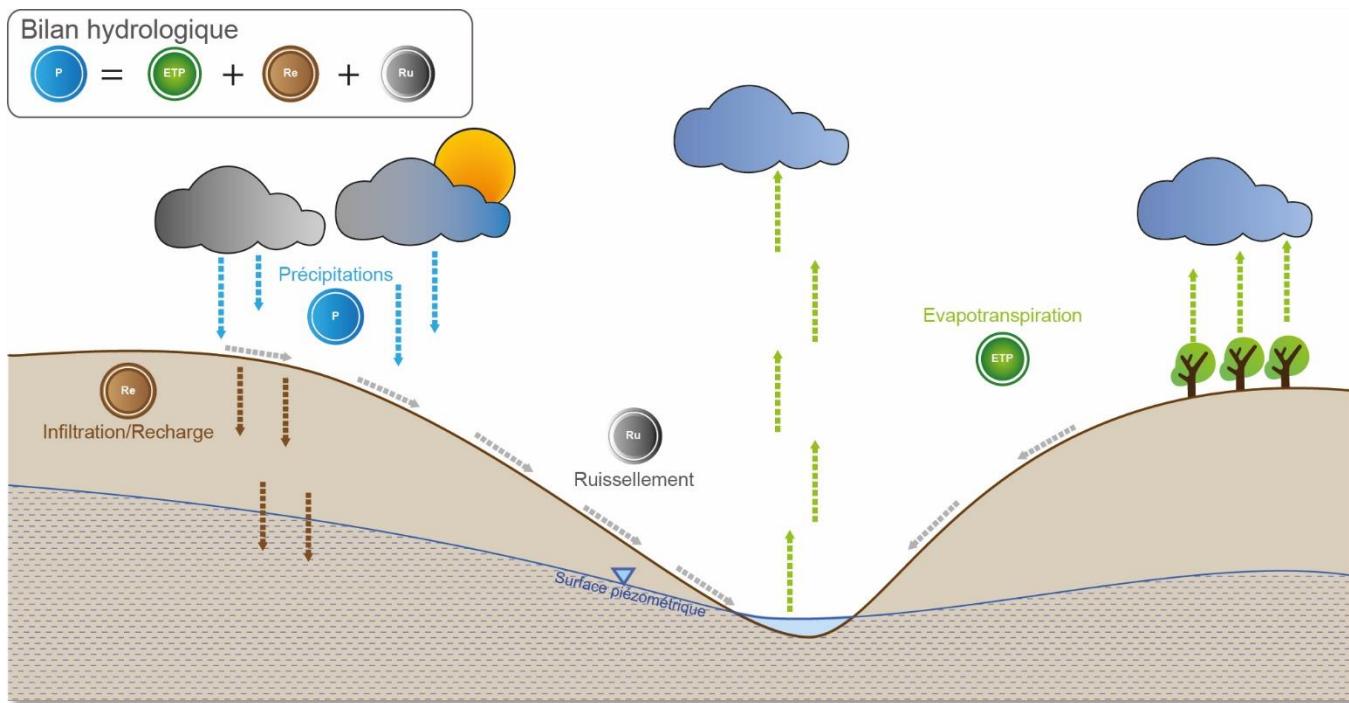
La section suivante présente les méthodes et les outils utilisés pour quantifier et spatialiser régionalement la recharge et identifier les zones potentielles de résurgence. Mis à part quelques petites différences, les méthodes utilisées sont les mêmes que le PACES-SLSJ et le PACES-CHCN (CERM-PACES, 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 7-21, 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'évapotranspiration 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 7-21 : 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 l'est de la Mauricie, 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 7-22.

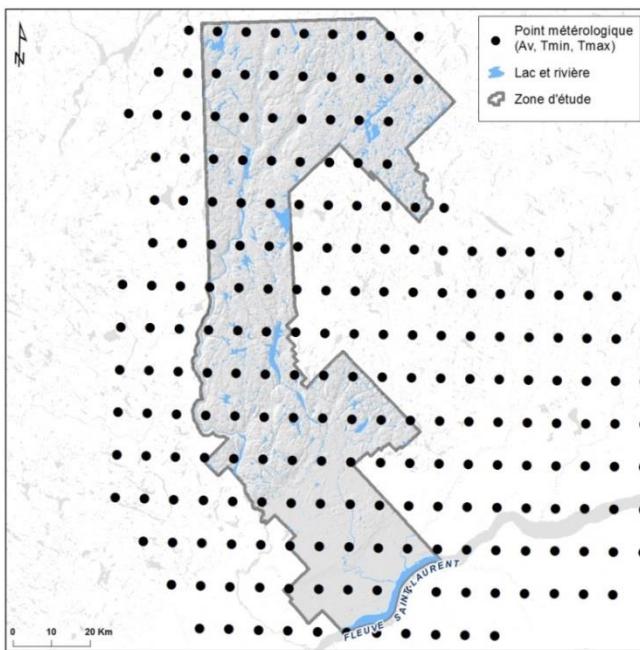


Figure 7-22 : Répartition des valeurs ponctuelles des températures minimales et maximales ainsi que les apports verticaux estimés par le CEHQ.

### Estimation de l'évapotranspiration (ETP)

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP<sub>p</sub>) 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<sub>r</sub>) annuelle est ensuite calculée à partir de la valeur de l'ETP<sub>p</sub> et des Av (Budyko, 1974) selon l'équation suivante :

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

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<sub>i</sub>)*** et de ***Curve Number réel (CN<sub>r</sub>)***.

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 l'est de la Mauricie.

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 7-23 présente la carte de distribution des  $CN_i$  sur le territoire de l'est de la Mauricie.

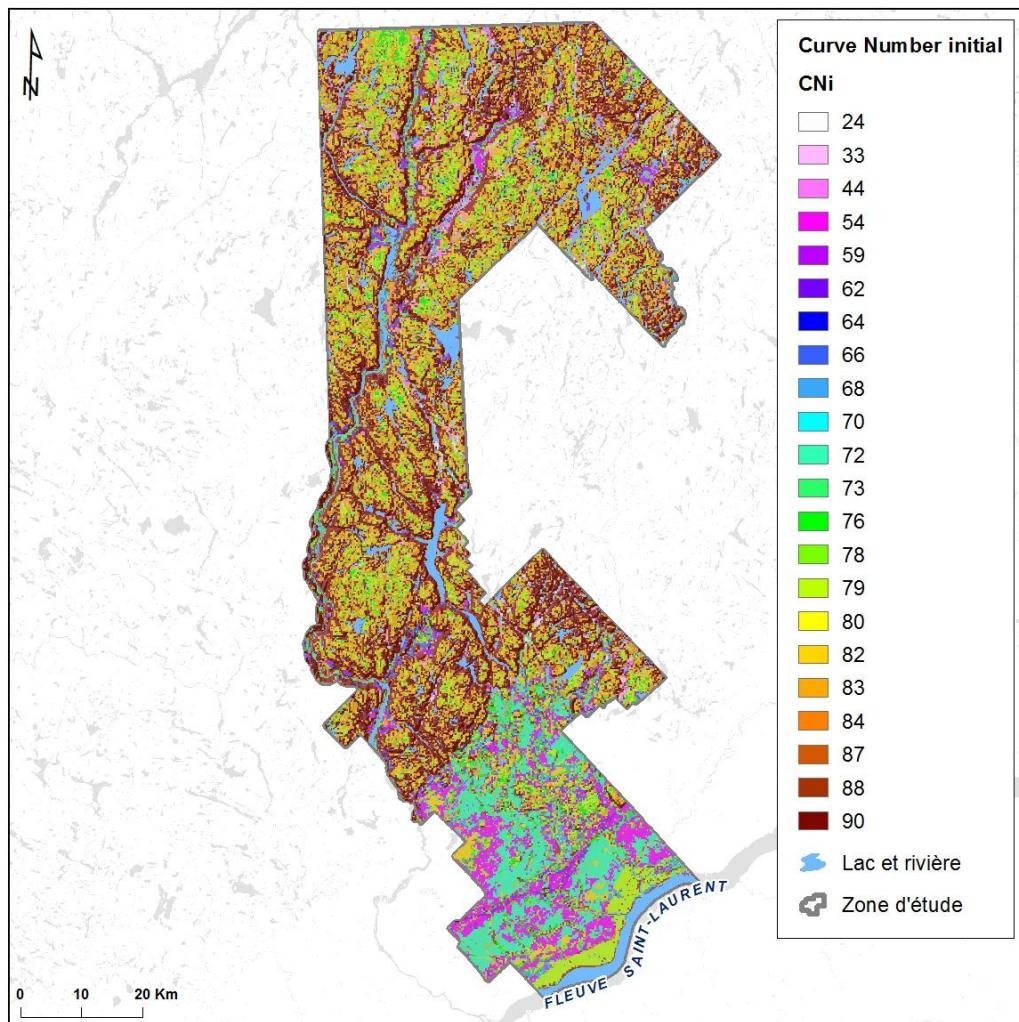


Figure 7-23 : Carte des curve number moyen ( $CN_i$ ) pour le territoire de l'est de la Mauricie.

#### 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 7-24) en fonction de l'indice API et de la saison. Le  $CN_r$  associé à un sol varie ensuite selon la classe de CHI. Cronshay (1986) définit la valeur de  $CN_r$  selon trois classes de CHI, en utilisant trois relations empiriques (figure 7-24). Le tableau 7-6 présente les valeurs utilisées dans le calcul de la recharge et extraites du graphique de la figure 7-24.

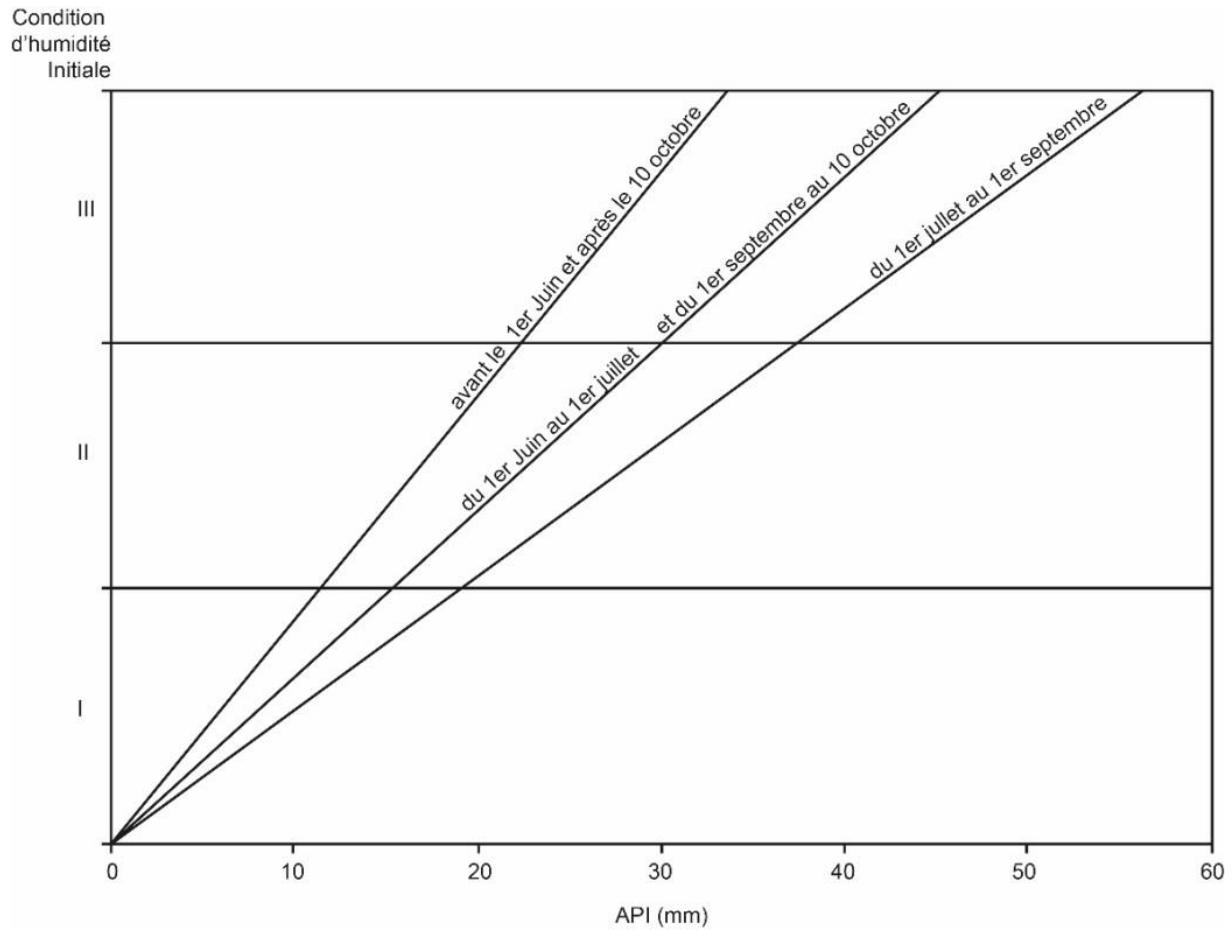


Figure 7-24 : Graphique des classes de condition d'humidité moyenne en fonction des indices API et de la saison (Cronshey, 1986).

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 <sup>er</sup> juin	11,2	<	API	< 11,2	I
			22,4	<	API	< 22,4	II
Du 1 <sup>er</sup> juin	au	1 <sup>er</sup> juil. et	15,3	<	API	< 15,3	I
			30,6	<	API	< 30,6	II
Du 1 <sup>er</sup> sept.	au	10 oct.	30,6	<	API	< 30,6	III
			18,8	<	API	< 18,8	I
Du 1 <sup>er</sup> juil.	au	1 <sup>er</sup> sept.	37,6	<	API	< 37,6	II
			37,6	<	API	< 37,6	III

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

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

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

### **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 7-25 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 réelle annuelle (mm);

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

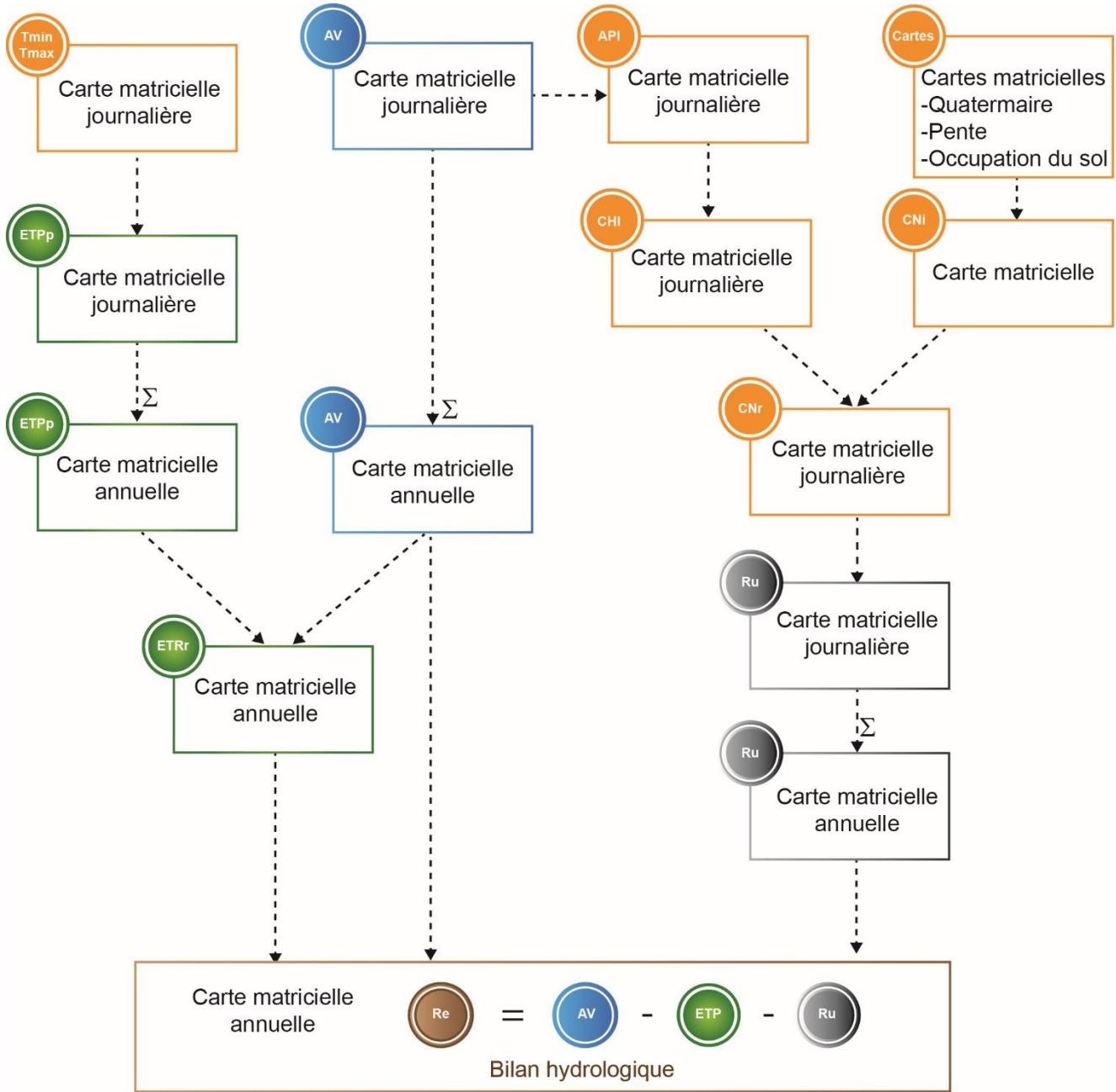


Figure 7-25 : Méthode de calcul géomatique de la recharge annuelle par bilan hydrologique.

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 10 km et fournis sous forme de données ponctuelles par le CEHQ (figure 7-22) 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 10), 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 7-26. Sur le territoire de l'est de la Mauricie, les apports verticaux annuels moyens estimés à partir des précipitations liquides et solides (modèle de fonte de la neige) varient entre 830 mm/an et 1 052 mm/an (figure 7-26a). Les valeurs annuelles moyenne de l'ETPr varient entre 531 mm/an et 604 mm/an (figure 7-26b) alors que celles du ruissellement annuel moyen varient entre 5 mm/an et 321 mm/an (figure 7-26c).

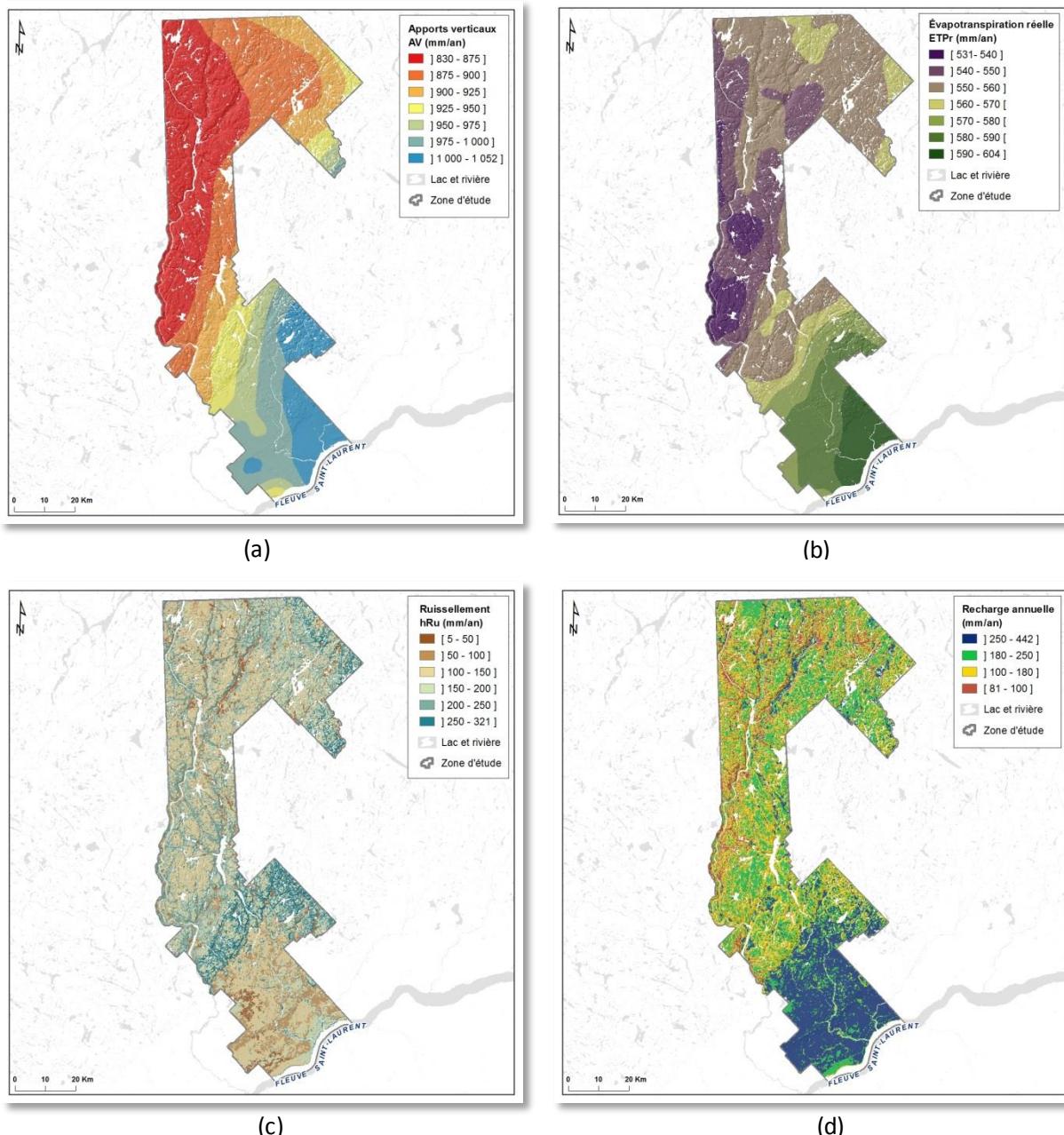


Figure 7-26 : Cartes matricielles obtenues pour chacun des paramètres du bilan hydrologique en mm/an (moyenne sur 10 ans – 2000-2009): (a) Apports verticaux (Av); (b) Évapotranspiration réelle (ETPr); (c) Ruissellement (hRu); (d) Recharge annuelle (Re).

Telles que montrées sur la **carte #28b** et la figure 7-26d, les valeurs de recharge sur le territoire de l'est de la Mauricie varient entre 81 mm/an et 442 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 7-27 présente le pourcentage de recharge par rapport aux apports verticaux (Av) et représente ainsi le taux des précipitations qui atteint la nappe d'eau.

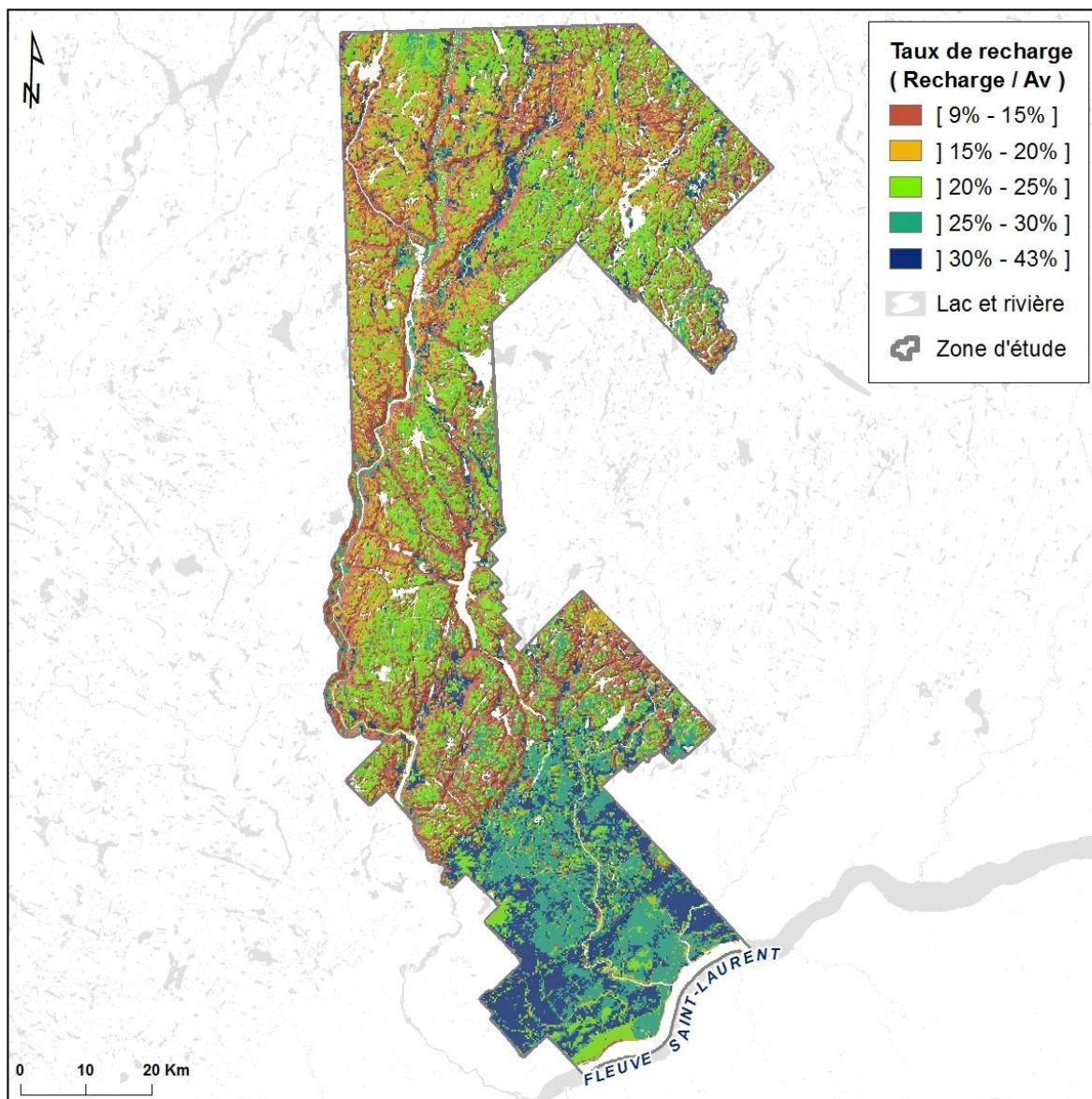


Figure 7-27 : Taux de recharge sur le territoire : La recharge en mm/an divisée par les apports verticaux (mm/an).

### **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, **14 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 l'est de la Mauricie 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 7-28). 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.

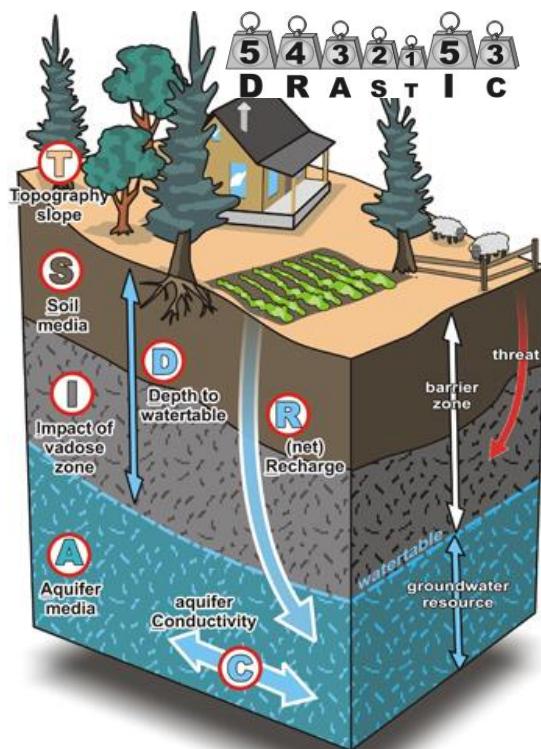


Figure 7-28 : Représentation schématique de la méthode DRASTIC et de la pondération des paramètres à la base de son évaluation (modifié de Franklin et Turner, GSC, 2009).

Chaque paramètre est défini par :

1. Sa cote<sup>13</sup> 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 l'est de la Mauricie 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 7-29a.

---

<sup>13</sup> 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.

<i>Profondeur de l'eau (m)</i>	<i>Cote</i>
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

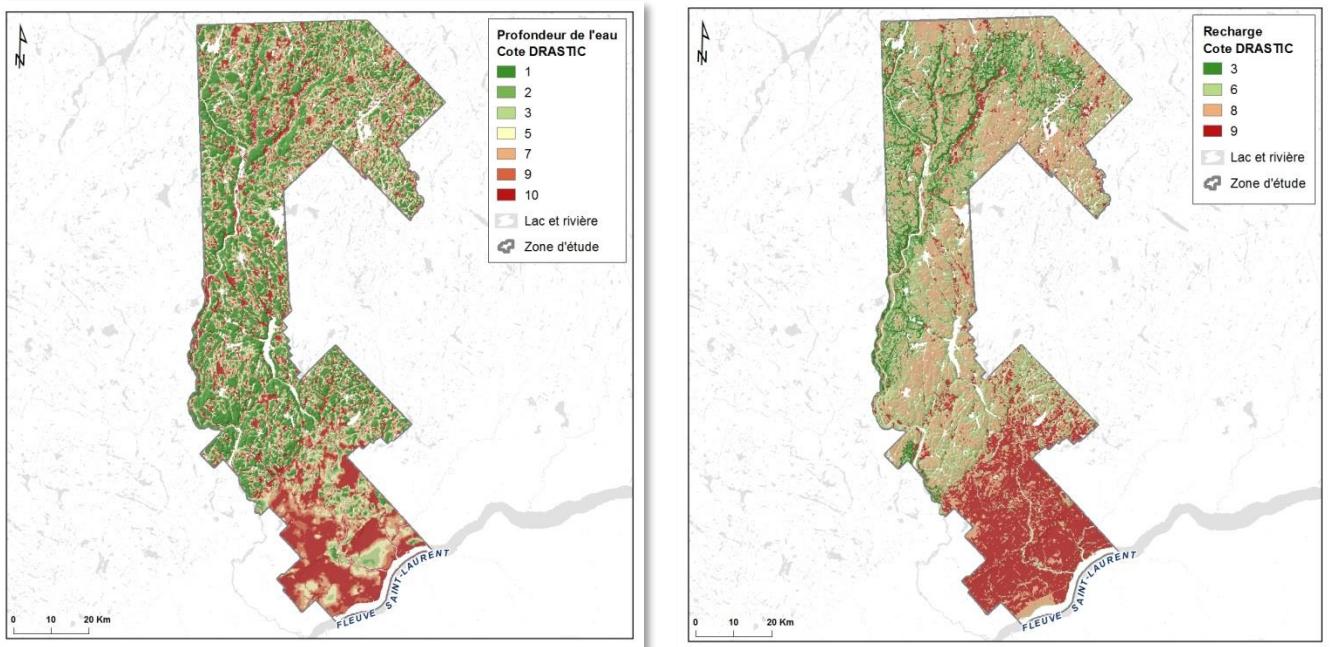
#### Paramètre R - Recharge (poids = 4)

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 7-29b 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.

<i>Recharge efficace (cm/année)</i>	<i>Cote</i>
0 à 5	1
5 à 10	3
10 à 18	6
18 à 25	8
25 et plus	9



(a)

(b)

Figure 7-29 : 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 7-30a 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
<b>Shale massif</b>			2
<b>Roches ignées/métamorphiques</b>			3
<b>Roches ignées/métamorphiques altérées</b>	<b>carte #13</b>	<b>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</b>	<b>4</b>
<b>Till</b>	<b>carte #12</b>	<b>Trm, Tr, T' ou Tc*</b>	<b>5</b>
<b>Lits de grès, calcaire et shale</b>	<b>carte #13</b>	<b>5b, 5c, 5d ou 5e</b>	<b>6</b>
<b>Grès massif</b>			6
<b>Calcaire massif</b>			6
<b>Sable et gravier</b>	<b>carte #17</b>	<b>C, D, E, F ou G</b>	<b>8</b>
<b>Basalte</b>			9
<b>Calcaire karstique</b>	<b>carte #13</b>	<b>5a</b>	<b>10</b>

\*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 7-30b.

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 fissurée		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

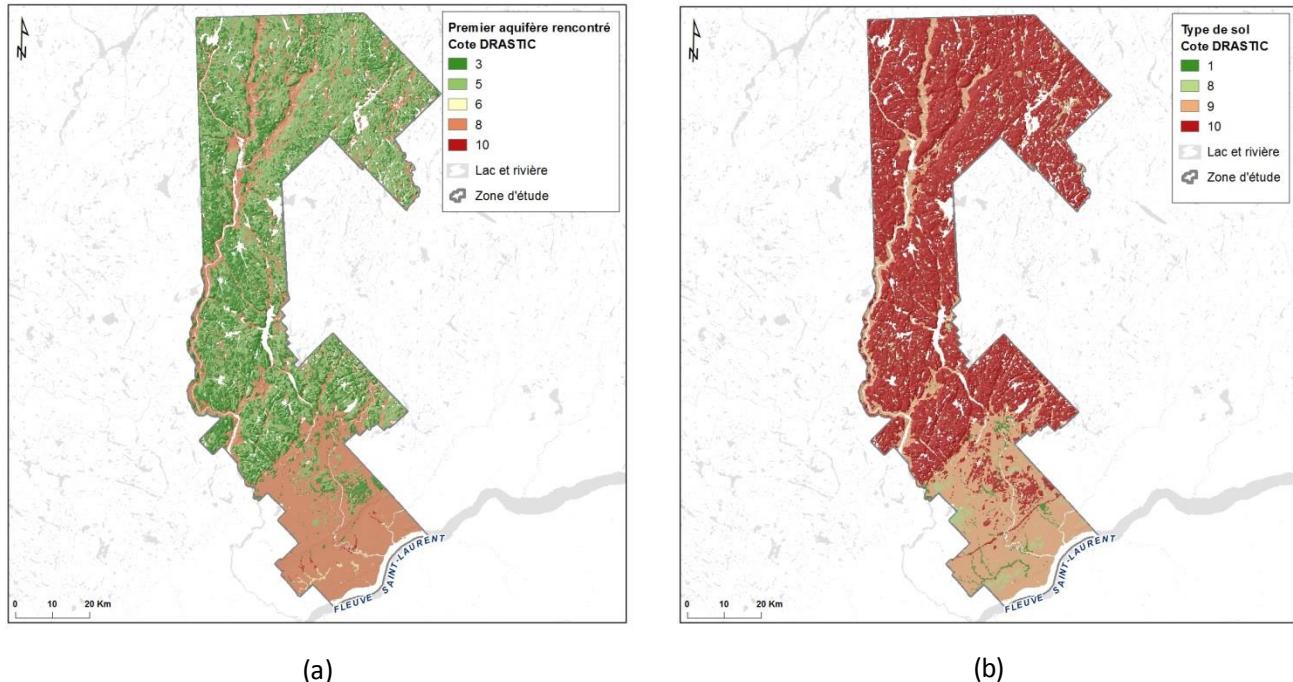


Figure 7-30 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour  
a) le premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface, et b) chaque type de sol.

### 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 7-31a 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.

<i>Pente du terrain (%)</i>	<i>Cote</i>
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
<b>18 et plus</b>	<b>1</b>

### 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 7-31b 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.

<i>Nature de la zone vadose</i>	<i>Cartes</i>	<i>Codes provenant des cartes</i>	<i>Cote</i>
<b>Couche imperméable</b>			1
<b>Silt/argile</b>	carte #12	Cg, LGa, Ma, MGa, MGi, LGa, La	3
<b>Shale</b>			3
<b>Roches ignées/métamorphiques</b>	carte #13	4f, 4e, 4d, 4c, 4b, 4a, 3h, 3g, 3f, 3e, 3d, 3c, 3b, 3a, 2c, 2b, 2a, 1g, 1f, 1e, 1d, 1c, 1b, 1a	4
<b>Calcaire</b>			6
<b>Grès</b>	carte #13	5b, 5c, 5d, 5e	6
<b>Lits de calcaire, grès et shale</b>			6
<b>Sable et gravier avec silt et argile</b>	carte #12	O, Tc, Tf, Tm, Tr, Trm	6
<b>Sable et gravier</b>	carte #12	A, Ac, Ap, At, Ax, C, Ce, Cr, Ed, Go, Gx, GxT, Gs, Lb, Ld, LG, LGb, LGd, Mb, MGb, MGd	8
<b>Basalte</b>			9
<b>Calcaire karstique</b>	carte #13	5a	10

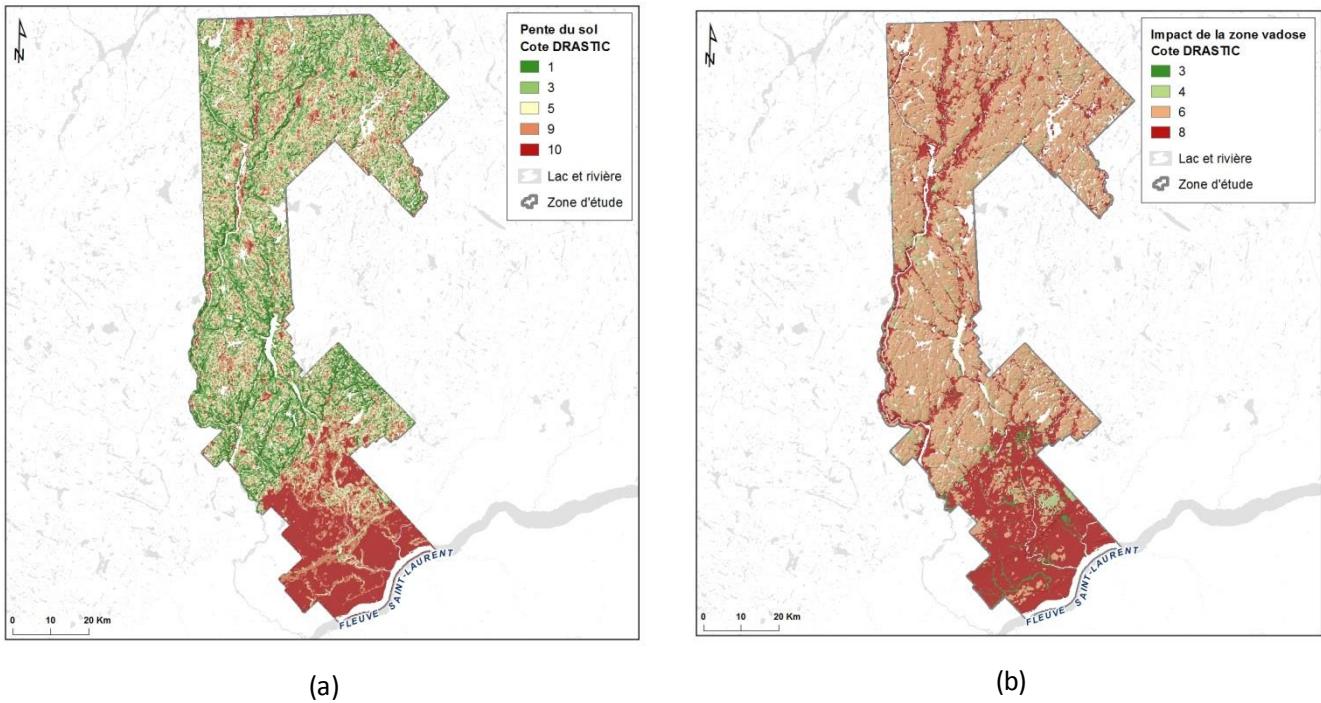


Figure 7-31 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour a) la pente du sol et b) le milieu géologique correspondant à la zone vadose.

#### 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 7-32 illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes du tableau 7-13.

Tableau 7-13 : Cote DRASTIC pour chaque classe de conductivité.

Intervalles de conductivité hydraulique selon DRASTIC (m/j)	Milieu aquifère	Cote selon DRASTIC
0,04-4	Roc fracturé (milieu semi-perméable)	<b>1</b>
4-12		2
12-29		4
29-41		6
41-82	Sable et gravier	<b>8</b>

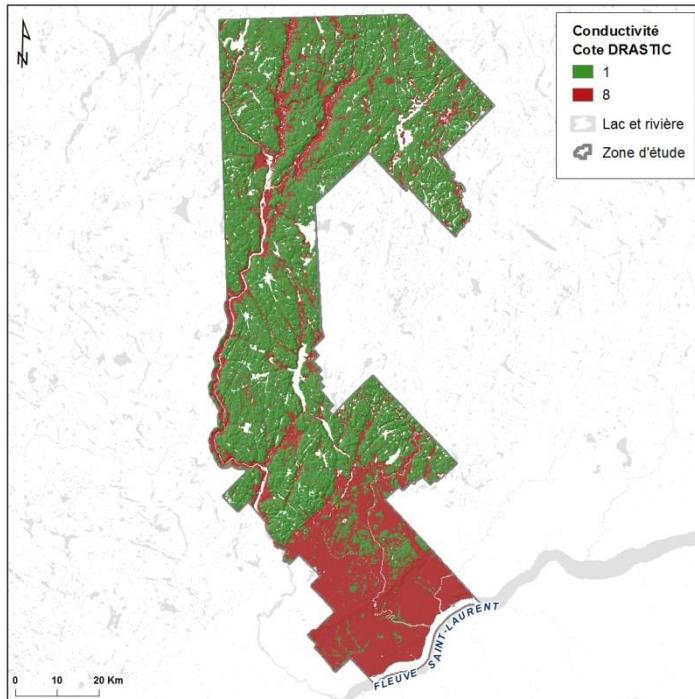


Figure 7-32 : Représentation matricielle des cotes DRASTIC pour la conductivité hydraulique.

### 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 des sables et graviers d'origine fluvioglaciaires ou des sables indifférenciés de surface (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 7-33 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.

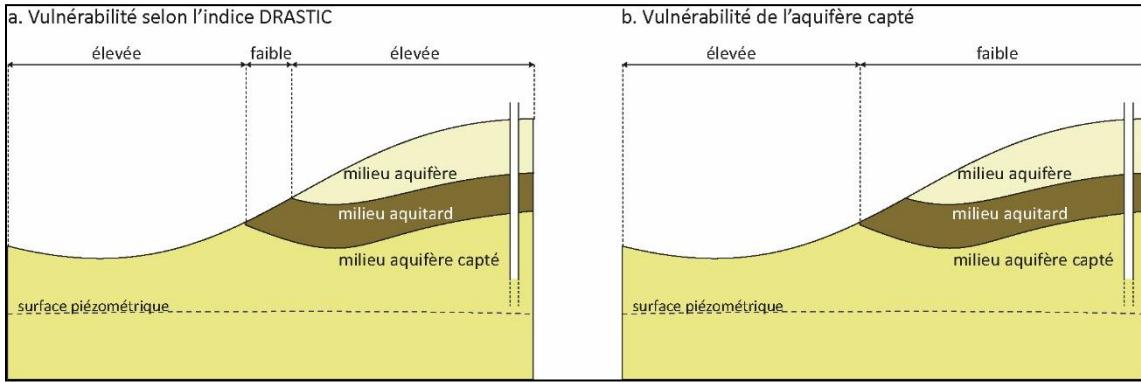


Figure 7-33 : Relativité de la vulnérabilité DRASTIC (tirée de (tiré de CERM-PACES (2013).

#### 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 l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie 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 2<sup>14</sup> 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-Stanislas, la localisation des installations municipales provient de la base de données du MELCC. Les quatre puits de Saint-Stanislas 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 Sainte-Anne-de-la-Pérade sont situées sur le territoire de la municipalité de Saint-Prosper-de-Champlain. Deux sites de captage d'eau souterraine sont donc présents sur le territoire de Saint-Prosper-de-Champlain et celui situé au centre du territoire de la municipalité est celui appartenant à Sainte-Anne-de-la-Pérade.

---

<sup>14</sup> **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)

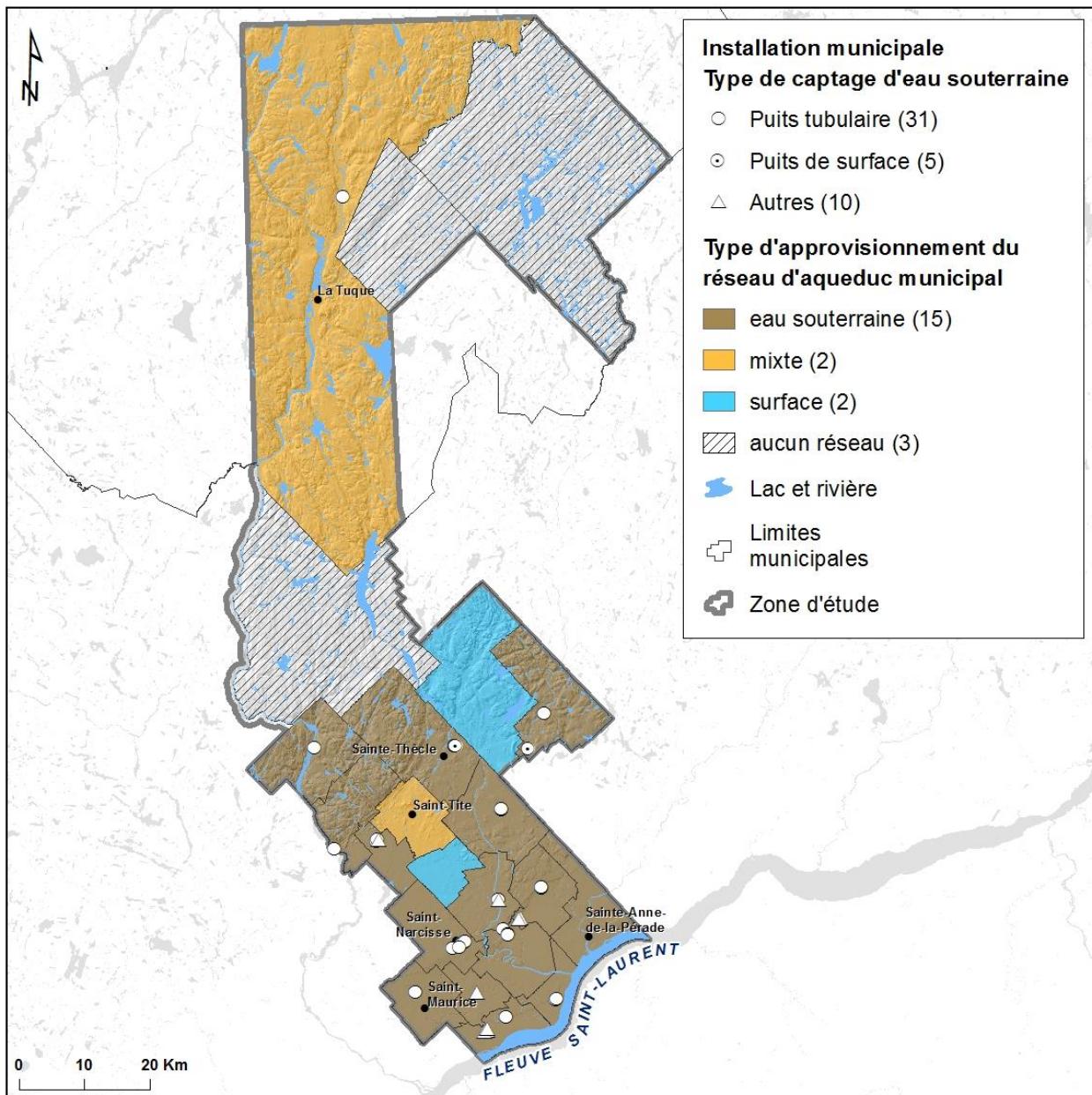


Figure 8-1 : Localisation de stations de prélèvements d'eau souterraine distribuée dans les réseaux municipaux pour l'alimentation en eau potable (catégories 1 et 2 seulement).

Le tableau 8-1 indique l'origine de l'eau distribuée par chacune des municipalités de l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie avec le type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc municipal.

Municipalités	Population (2021) <sup>1</sup>	Type d'approvisionnement du réseau d'aqueduc municipal (2021) <sup>2</sup>	Milieu aquifère	Type nappe
Agglomération de La Tuque				
La Tuque	10 814	mixte	Granulaire	Libre
La Bostonnais	544	aucun réseau	-	-
Lac Édouard	175	aucun réseau	-	-
MRC Les Chenaux				
Batiscan	918	eau souterraine	Granulaire	Libre
Champlain	1 772	eau souterraine	Granulaire	Libre
Sainte-Anne-de-la-Pérade	2 054	eau souterraine	Granulaire	Libre* et captive
Sainte-Geneviève-de-Batiscan	1 034	eau souterraine	Roc fracturé et granulaire	Libre et captive
Saint-Luc-de-Vincennes	618	eau souterraine	Roc fracturé* et granulaire	Captive
Saint-Maurice	3 263	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
Saint-Narcisse	1 826	eau souterraine	Granulaire	Libre et captive
Saint-Prosper-de-Champlain	525	eau souterraine	Granulaire	Captive
Saint-Stanislas	1 013	eau souterraine	Roc fracturé	Captive
MRC de Mékinac				
Grandes-Piles	397	eau souterraine	Granulaire	Libre
Hérouxville	1 316	eau souterraine <sup>3</sup>	Granulaire	Libre
Lac-aux-Sables	1 300	surface	-	-
Notre-Dame-de-Montauban	765	eau souterraine	Granulaire	Libre et captive
Saint-Adelphe	908	eau souterraine	Granulaire	Captive
Sainte-Thècle	2 495	eau souterraine	Granulaire	Libre
Saint-Roch-de-Mékinac	371	eau souterraine	Granulaire	Libre
Saint-Séverin	842	surface	-	-
Saint-Tite	3 762	mixte	Granulaire	Libre
Trois-Rives	467	aucun réseau	-	-

<sup>1</sup>Population des municipalités, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.

<sup>2</sup> Données recueillies sur le site présentant les réseaux municipaux de distribution d'eau potable du MELCC (Mise à jour le 13 septembre 2021).

<sup>3</sup>75 résidents sont approvisionnés via le réseau de Saint-Tite (eau de surface)

\*Via les installations d'une municipalité voisine.

Tel que montré dans le tableau 8-1 et la figure 8-1, des 22 municipalités du territoire de l'est de la Mauricie, **17** s'approvisionnent en entier ou en partie leur **réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine**, ce qui représente **77%** des municipalités présentes sur le territoire à l'étude et **89%** des municipalités possédant un réseau d'aqueduc. En effet, trois municipalités sur le territoire (Trois-Rives, La Bostonnais et Lac-Édouard) ne possèdent tout simplement pas de réseau d'aqueduc municipal.

Sur le territoire à l'étude, seules les municipalités de Saint-Séverin et Lac-aux-Sables approvisionnent leur réseau municipal strictement à partir d'une source d'eau de surface. Le réseau municipal de la municipalité de Saint-Séverin est approvisionné à partir des installations de la municipalité de Saint-Tite. Saint-Tite dessert depuis une centaine d'années son réseau d'aqueduc à partir d'une source d'eau de surface (lac Éric), mais depuis janvier 2021, elle exploite aussi un nouveau puits (étude réalisée en 2016). Cette municipalité est donc passée, au cours

de la dernière année, d'un approvisionnement strictement d'eau de surface à un approvisionnement mixte. À l'écriture du présent rapport, la source de l'eau acheminée dans le réseau d'aqueduc de Saint-Séverin était encore indiquée comme eau de surface sur le site du ministère. De son côté, la municipalité de La Tuque approvisionne majoritairement son réseau via une source d'eau de surface, mais le secteur de La Croche est approvisionné par un puits.

Certaines municipalités possèdent leurs propres installations pour desservir leur réseau d'aqueduc, mais un petit secteur situé sur leur territoire est tout de même desservi par les installations de la municipalité voisine. Ces municipalités sont Hérouxville (via Saint-Tite), Saint-Luc-de-Vincennes (via Saint-Maurice), Saint-Maurice (via Saint-Louis-de-France) et Sainte-Anne-de-la-Pérade (via Saint-Prosper-de-Champlain).

En plus des **46 installations de captage municipal** d'eau souterraine localisées sur la figure 8-1 :

- **douze (12)** installations sous la responsabilité d'une entreprise captent aussi une nappe d'eau souterraine (ex. : club de golf);
- **une (1)** installation d'eau souterraine est sous la responsabilité d'un organisme institutionnel et;
- **deux (2)** installations d'eau souterraine appartiennent à une compagnie privée (ex. : érablière).

La figure 8-2 montre la localisation de ces stations selon le type de propriétaires.

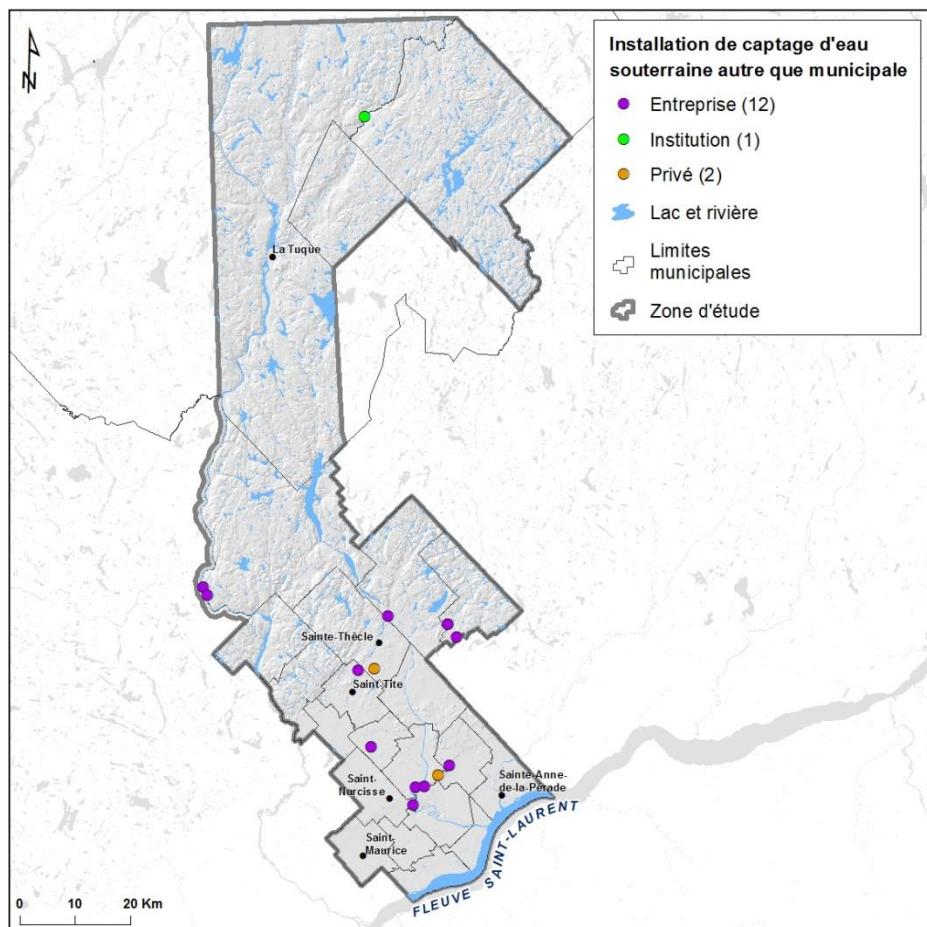


Figure 8-2 : Localisation de stations de prélèvements d'eau souterraine autres que municipaux présentes sur le territoire de l'est de la Mauricie.

### **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 **17 municipalités approvisionnant leur réseau d'aqueduc** via une source d'eau souterraine :

- **13 municipalités** distribuent de l'eau souterraine provenant d'un **aquifère granulaire**;
- **2 municipalités** distribuent de l'eau souterraine provenant d'un **aquifère de roc fracturé**;
- **2 municipalités** distribuent de l'eau souterraine provenant d'un **aquifère granulaire et d'un aquifère de roc fracturé**;

Des **17 municipalités** approvisionnant leur réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine ou mixte, **9** 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 8-3.

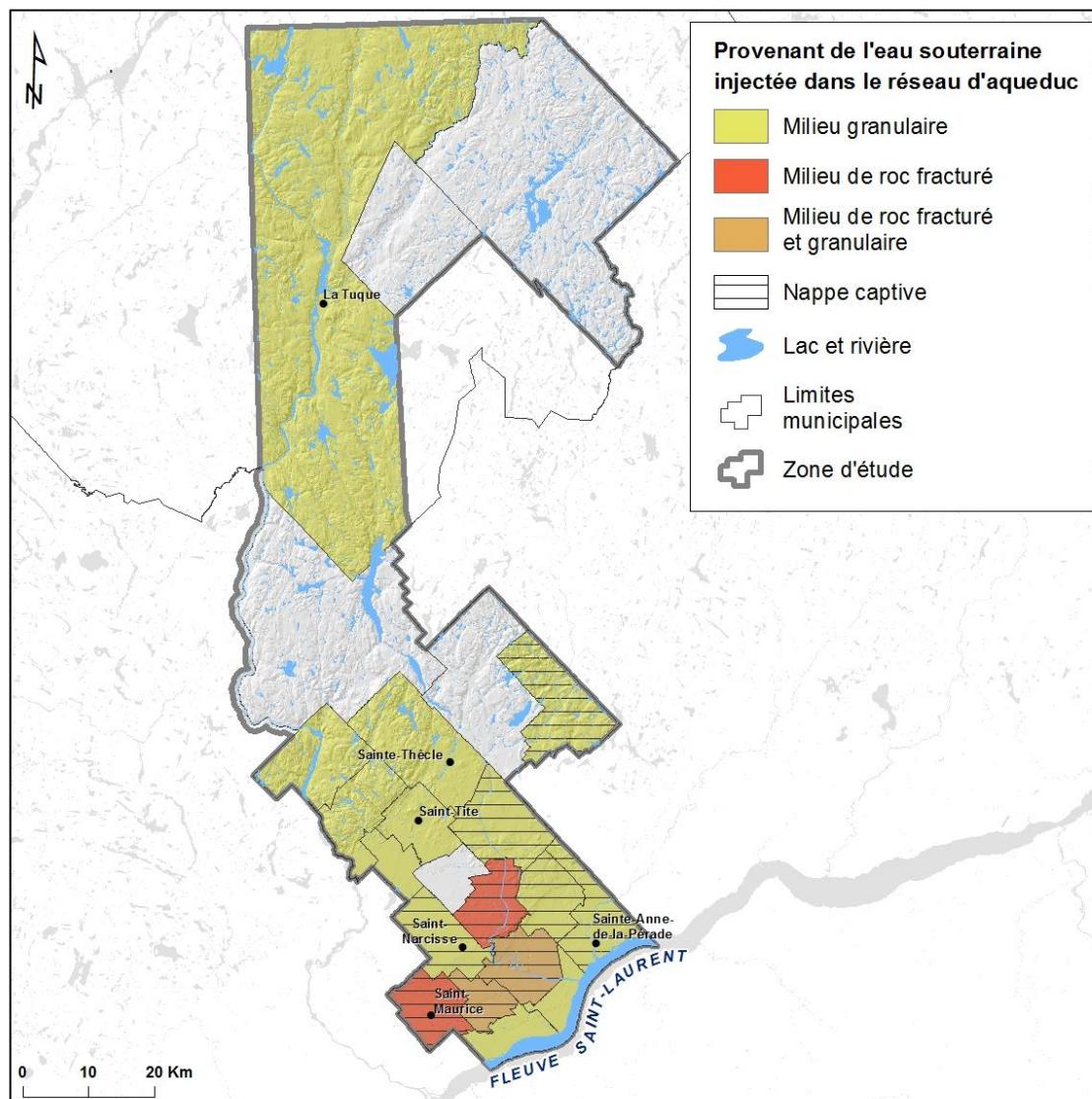


Figure 8-3 : Provenance de l'eau souterraine distribuée dans le réseau d'aqueduc municipal : le type de milieux aquifères (granulaire ou roc fracturé) et le type de nappe (captive ou libre).

La plupart des municipalités sur le territoire de l'est de la Mauricie distribuent dans leur réseau d'aqueduc l'eau captée par leurs propres installations de captage. Par contre, comme discuté précédemment, certaines municipalités distribuent aussi de l'eau provenant des installations de captage d'une municipalité voisine. Tel qu'indiqué par un astérisque dans le tableau 8-1, la municipalité de Saint-Luc-de-Vincennes capte une eau provenant d'un aquifère granulaire, ainsi que via les installations de captage de la municipalité de Saint-Maurice qui captent l'eau d'un aquifère de roc fracturé.

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 seulement **3 municipalités** captent un aquifère de roc fracturé. Les installations de la municipalité de Saint-Maurice captent un aquifère constitué de roches sédimentaires alors que celles de Sainte-Geneviève et de Saint-Stanislas captent l'eau du roc cristallin.

Les installations municipales de la région captant un aquifère de roc fracturé sont situées dans différents contextes hydrogéologiques (voir section 7.1).

**Les installations municipales** captant un aquifère de roc fracturé de :

- **une** municipalité sont situées dans le **contexte hydrogéologique A** caractérisé par un aquifère de roc cristallin fracturé, soit Sainte-Geneviève-de-Batiscan.
- **deux** 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). Un puits de la municipalité de Sainte-Geneviève-de-Batiscan et les puits de Saint-Maurice sont situés dans ce contexte. Les installations de Sainte-Geneviève-de-Bastican captent un aquifère de roc cristallin alors que celles de Saint-Maurice captent un aquifère de roc sédimentaire.
- **une** municipalité 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 de la municipalité de Saint-Stanislas captent l'eau souterraine dans le contexte G, plus précisément dans les roches cristallines.

#### Aquifères granulaires exploités par les municipalités

Les installations de **15 municipalités** captent un aquifère granulaire, mais elles sont situées dans différents contextes hydrogéologiques (voir section 7.2).

**Les installations municipales** captant un aquifère granulaire de :

- **une** seule municipalité sont situées dans le **contexte hydrogéologique D** caractérisé par un aquifère de gravier d'origine fluvioglaciaire affleurant (nappe libre) et reposant directement sur le roc. Ce sont certaines installations de la municipalité de Saint-Narcisse qui sont situées dans ce contexte.
- **dix** 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). La plupart des installations municipales situées dans ce contexte exploitent l'aquifère de gravier confiné (Sainte-Anne-de-la-Pérade, Saint-

Prosper-de-Champlain, Saint-Luc-de-Vincennes, Saint-Adelphe et certaines installations de Sainte-Geneviève-de-Batiscan, de Notre-Dame-de-Montauban et de Saint-Narcisse), mais quelques municipalités, toutes situées dans les Hautes-Terres, exploitent l'aquifère granulaire de surface (nappe libre) présent dans ce contexte (Grandes-Piles, Saint-Roch-de-Mékinac et La Tuque).

- **cinq** municipalités sont situées dans le **contexte hydrogéologique G** caractérisé par un aquifère granulaire de sable indifférencié affleurant (nappe libre) reposant sur une couche imperméable. Les municipalités dont les installations exploitent le contexte G sont situées dans les Basses-Terres (Champlain, Batiscan), dans le Piedmont (Hérouxville, Saint-Tite) ou dans les Hautes-Terres (Saint-Thècle).

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-Geneviève-de-Batiscan
D	Gravier fluvioglaciaire Sable indifférencié	Saint-Narcisse  Grandes-Piles Saint-Roch-de-Mékinac La Tuque
F	Gravier fluvioglaciaire Roc sédimentaire	Sainte-Anne-de-la-Pérade Saint-Prosper-de-Champlain Saint-Luc-de-Vincennes Saint-Adelphe Sainte-Geneviève-de-Batiscan Notre-Dame-de-Montauban Saint-Narcisse  Saint-Maurice
G	Roc cristallin Sable indifférencié Roc cristallin	Sainte-Geneviève-de-Batiscan  Champlain Batiscan Hérouxville Saint-Tite Saint-Thècle  Saint-Stanislas

## 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 l'est de la Mauricie. 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 9). Ce protocole présente l'ensemble des données utilisées et la méthodologie suivie. La majorité des données proviennent du répertoire des grands préleveurs ( $75 \text{ m}^3$  d'eau/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 quatre 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 presque en totalité, soit à **97%**, par des **installations municipales**. Au total, l'agglomération de La Tuque utilise 99% des volumes annuels d'eau de surface pour l'ensemble du territoire de l'est de la Mauricie dont 96% (plus de  $72\,000\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ ) sont exploités à partir du réseau d'aqueduc de la municipalité de La Tuque. Ce volume s'explique par l'approvisionnement en eau potable d'industries et de commerces raccordés au réseau d'aqueduc. La MRC Les Chenaux ne possède pas de grands préleveurs d'eau de surface municipaux ou privés sur son territoire. La MRC Mékinac utilise moins de 1% des volumes annuels d'eau de surface utilisée par l'ensemble du territoire de l'est de la Mauricie.

*Tableau 8-3 : Volumes estimés d'eau de surface distribuée annuellement provenant des réseaux municipaux ou d'installations privées.*

Agglomération MRC	Distribués par le réseau municipal		Distribués par des installations privées		Volume total prélevé annuellement	
	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>2</sup>
<b>La Tuque</b>	72 356 812	97%	2 522 336	3%	<b>74 879 148</b>	99%
<b>Les Chenaux</b>	0	0%	0	0%	<b>0</b>	0%
<b>Mékinac</b>	842 241	100%	0	0%	<b>842 241</b>	1%
<b>TOTAL</b>	<b>73 199 053</b>	97%	<b>2 522 336</b>	3%	<b>75 721 389</b>	100%

<sup>1</sup> Les % se lisent par MRC.

<sup>2</sup> Le % correspond à la consommation totale pour le territoire de l'est de la Mauricie.

La figure 8-4a montre que l'eau de surface utilisée par l'Agglomération de La Tuque et la MRC de Mékinac provient en majorité des réseaux municipaux (97% et 100% respectivement). La figure 8-4b illustre que sur le territoire de l'est de la Mauricie, l'Agglomération de La Tuque distribue 99% de la totalité de l'eau de surface provenant des installations municipales et 100% de celle distribuée par les installations privées.

Bien que sur le territoire de la MRC de Mékinac, les installations municipales distribuent 100% de l'eau de surface, cette quantité ne représente que 1% de celle distribuée par des installations municipales sur l'ensemble du territoire de l'est de la Mauricie.

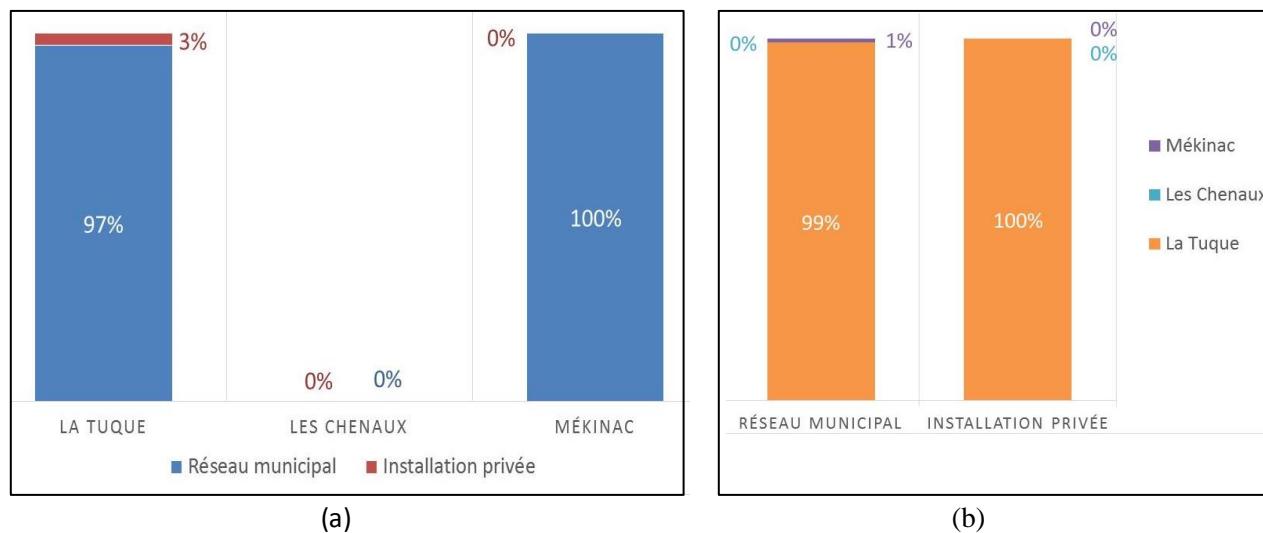


Figure 8-4 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau de surface distribuée par les réseaux municipaux et les installations privées a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.

### 8.2.2 Eau souterraine par catégories d'usage

Plus de 60% de la population de la région de l'est de la Mauricie 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 9). La **carte #26 : Utilisation de l'eau** présente les volumes d'eau souterraine attribués aux différents usages pour chacune des MRC du territoire de l'est de la Mauricie.

Le tableau 8-4 montre que la quantité totale d'eau souterraine utilisée s'estime à 6 234 133 m<sup>3</sup>/an.

- 34% de ce volume sert à l'alimentation en eau potable pour usage domestique;
- 38% sert pour l'approvisionnement en eau souterraine pour l'usage agricole;
- 17% sert à l'approvisionnement en eau potable pour la catégorie des ICI;
- 11% du volume total correspond à des fuites des réseaux de distribution.

Le tableau 8-4 montre aussi que pour des populations équivalentes :

- la MRC Les Chenaux utilise plus de la moitié de l'eau souterraine utilisée dans l'est de la Mauricie;
- la MRC de Mékinac utilise 39% de l'eau souterraine utilisée dans l'est de la Mauricie;
- l'agglomération de La Tuque utilise que 9% de toute l'eau souterraine utilisée dans l'est de la Mauricie;

Tableau 8-4 : Volumes estimés d'eau souterraine utilisée annuellement pour chacune des quatre catégories d'usage.

Aggl./MRC	Population <sup>3</sup>		Usage domestique <sup>4</sup>		Usage agricole <sup>5</sup>		Usage ICI <sup>6</sup>		Pertes en réseau <sup>7</sup>		TOTAL	
	Nbre	%	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>#</sup>
La Tuque	11 704	32	232 994	43	299 797	55	3 775	1	6 419	1	542 984	9
Les Chenaux	13 187	35	1 203 314	37	641 870	20	933 859	29	485 552	15	3 264 594	52
Mékinac	12 445	33	683 280	28	1 421 973	59	145 735	6	175 567	7	2 426 555	39
TOTAL	<b>37 336</b>	<b>100</b>	<b>2 119 587</b>	<b>34</b>	<b>2 363 640</b>	<b>38</b>	<b>1 083 368</b>	<b>17</b>	<b>667 537</b>	<b>11</b>	<b>6 234 133</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup> Les % se lisent par MRC.

<sup>2</sup> Le % correspond à la consommation totale pour le territoire de l'est de la Mauricie.

<sup>3</sup> Population des municipalités du Québec, décret de 2021, Institut de la statistique du Québec.;

<sup>4</sup> Le calcul est basé sur une moyenne de 250 L d'eau par personne par jour.

<sup>5</sup> Données provenant du fichier des grands préleveurs (75 m<sup>3</sup> d'eau par jour et plus) (MELCC, 2020) et calculées à partir du portrait de la production animale (MAPAQ, 2020);

<sup>6</sup> Données provenant du fichier des grands préleveurs (75 m<sup>3</sup> 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;

<sup>7</sup> Les pertes sont estimées à 20% de la consommation des réseaux d'aqueduc municipaux.

### Usage domestique

Une grande partie de l'eau souterraine (**34%**) sur le territoire de l'est de la Mauricie est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable résidentielle (tableau 8-4). Pour la MRC Les Chenaux, c'est la majeure partie de l'eau souterraine qui sert à un usage domestique avec un pourcentage de 37% (tableau 8-4 et figure 8-5a). C'est aussi cette MRC qui affiche les volumes d'eau souterraine les plus élevés consommés pour l'usage domestique avec 1 203 314 m<sup>3</sup>/an. Ces volumes élevés s'expliquent par le fait que toutes les municipalités de la MRC Les Chenaux possèdent un réseau d'aqueduc alimenté à partir d'une source d'eau souterraine (tableau 8-1).

La MRC de Mékinac et l'agglomération de La Tuque affichent des pourcentages d'utilisation de l'eau souterraine pour un usage domestique respectivement de 28% et 43%. Cependant, pour des populations semblables, la MRC de Mékinac et l'agglomération de La Tuque utilisent des volumes beaucoup moins élevés pour l'approvisionnement en eau potable résidentielle, soit des volumes de 683 280 m<sup>3</sup>/an et 232 994 m<sup>3</sup>/an. Les faibles volumes d'eau souterraine pour l'agglomération de La Tuque pour l'usage domestique s'expliquent par le fait que la municipalité de La Tuque, soit la municipalité la plus populeuse de l'Agglomération avec près de 94% de la population, approvisionne principalement son réseau d'aqueduc à partir d'eau de surface.

### Usage agricole

La majeure partie de l'eau souterraine utilisée sur le territoire de l'est de la Mauricie, soit **38%**, est pour un usage agricole (tableau 8-4). La MRC de Mékinac affiche le plus haut pourcentage pour l'utilisation de l'eau souterraine pour les activités agricoles avec un pourcentage de 59% (tableau 8-4 et figure 8-5a). C'est aussi la MRC de Mékinac qui utilise les plus hauts volumes pour ce type d'activité avec un volume de 1 421 973 m<sup>3</sup>/an. Les activités agricoles sont celles qui utilisent le plus l'eau souterraine sur le territoire de l'agglomération de La Tuque avec un pourcentage de 55%, mais pour des volumes nettement moins élevés soient de 299 797 m<sup>3</sup>/an. Même si l'usage agricole ne représente que 20% de l'eau souterraine utilisée sur le territoire de la MRC Les Chenaux, des volumes de 641 870 m<sup>3</sup>/an sont estimés pour ce type d'activité.

L'estimation des volumes d'eau souterraine pour l'usage agricole provient du fichier des grands préleveurs d'eau (>75 m<sup>3</sup> d'eau/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.

### 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 **17%** de l'eau souterraine prélevée sert aux usages de type ICI (tableau 8-4). La MRC Les Chenaux est celle qui affiche les volumes les plus élevés au niveau de l'usage ICI avec  $933\ 859\ m^3/\text{an}$  ce qui représente 29% de son utilisation d'eau souterraine (tableau 8-4 et figure 8-5a). L'agglomération de La Tuque est celle qui affiche les plus faibles volumes pour ce type d'activité, soit seulement  $3\ 775\ m^3/\text{an}$ , ce qui représente 1% de toute l'utilisation de l'eau souterraine sur son territoire. Pour la MRC de Mékinac, c'est 6% de l'eau souterraine utilisée sur son territoire qui un usage ICI.

### Pertes en réseau

Pour pouvoir estimer 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 l'est de la Mauricie, les pertes représentent donc 11% 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 à un volume total d'eau souterraine de  $667\ 537\ m^3/\text{an}$ .

Les pertes en réseau représentent 15% de la consommation totale d'eau souterraine pour la MRC Les Chenaux, pour un volume de  $485\ 552\ m^3/\text{an}$ , ce qui représente approximativement la moitié de l'eau souterraine utilisée pour les besoins des ICI. Ces forts volumes s'expliquent par les réseaux d'aqueduc des municipalités de la MRC qui sont strictement approvisionnés par une source d'eau souterraine.

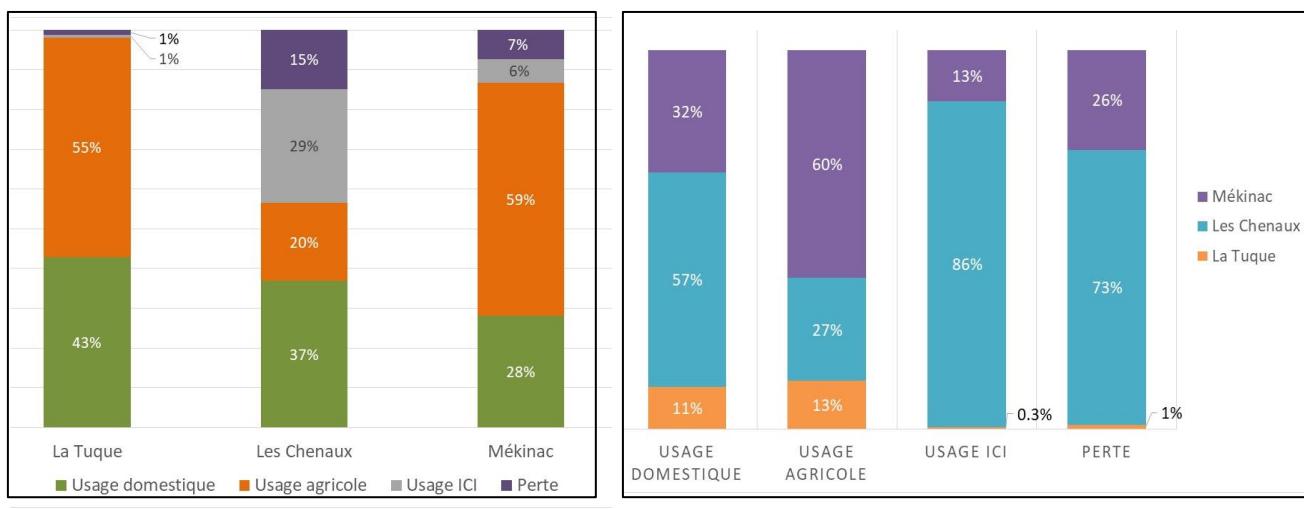


Figure 8-5 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau souterraine prélevée selon les types d'usage a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.

La figure 8-5b illustre que 60% de la consommation de l'eau souterraine régionale pour l'usage agricole est utilisée sur le territoire de la MRC de Mékinac, que 86% de la consommation d'eau souterraine ICI est utilisé par la MRC Les Chenaux et que 57% de la consommation d'eau souterraine pour l'usage domestique provient de la MRC Les Chenaux, suivie par la MRC de Mékinac avec 32%. La majorité des pertes d'eau souterraine estimée régionalement proviennent de la MRC Les Chenaux avec un pourcentage de 73%. Encore une fois, ce fort pourcentage s'explique par le fait que toutes les municipalités de la MRC Les Chenaux approvisionnent leur réseau à partir d'une source d'eau souterraine, ce qui infère nécessairement des volumes élevés lors de l'estimation des pertes en réseau (le volume des pertes est estimé en utilisant 20% du volume total d'eau souterraine distribuée par les réseaux d'aqueduc municipaux).

La figure 8-6 présente la consommation de l'eau souterraine par type d'usage et MRC avec les volumes prélevés.

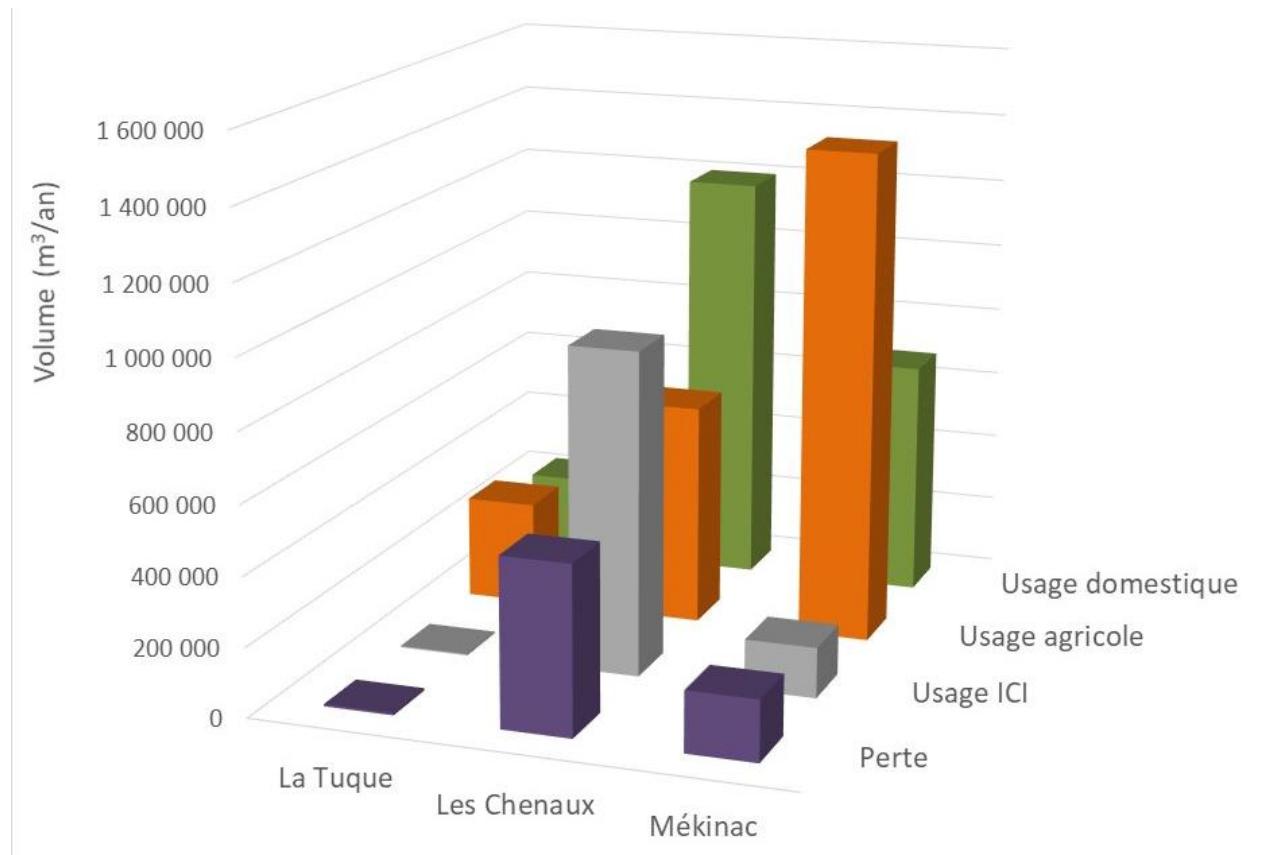


Figure 8-6 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine prélevée selon les catégories d'usage pour chacune des MRC.

### **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 9). 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 **80 000 000 m<sup>3</sup>** d'eau sont consommés annuellement sur l'ensemble du territoire de l'est de la Mauricie. L'agglomération de La Tuque est le territoire qui utilise le plus d'eau avec des volumes totalisant plus de 75 000 000 m<sup>3</sup>/an.

Plus de 90% de l'eau utilisée pour l'ensemble du territoire provient d'eau de surface. De grandes quantités sont effectivement notées sur le territoire de l'Agglomération de La Tuque où la ville de La Tuque achemine 74 879 148 m<sup>3</sup>/an d'eau de surface dans son réseau, mais retourne une partie de ce volume à la rivière. La MRC des Chenaux quant à elle prélève strictement de l'eau souterraine pour l'approvisionnement en eau potable sur son territoire. Le ¼ de l'eau utilisée par la MRC de Mékinac provient d'une source d'eau de surface alors que le ¾ est de l'eau souterraine.

Tableau 8-5 : Volumes estimés d'eau de surface et souterraine utilisés annuellement pour chaque MRC.

Agglomération MRC	Eau de surface utilisée annuellement		Eau souterraine utilisée annuellement		Consommation totale eau de surface et souterraine	
	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /an	% <sup>2</sup>
La Tuque	74 879 148	99	542 984	1	75 422 132	92
Les Chenaux	0	0	3 264 594	100	3 264 594	4
Mékinac	842 241	26	2 426 555	74	3 268 796	4
<b>TOTAL</b>	<b>75 721 389</b>	<b>92</b>	<b>6 234 133</b>	<b>8</b>	<b>81 955 522</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup> Les % se lisent par MRC.

<sup>2</sup> Le % correspond à la consommation totale pour le territoire de l'est de la Mauricie.

La figure 8-7 présente graphiquement les proportions indiquées au tableau 8-5. La figure 8-7a montre que 100% de l'eau prélevée sur le territoire de la MRC Les Chenaux provient d'eau souterraine. Sur le territoire de la MRC de Mékinac 74% de l'eau prélevée est souterraine et, 26% de l'eau prélevée est de surface. L'eau de surface représente près de 100% de l'eau utilisée pour l'agglomération de La Tuque.

La figure 8-7b montre que, **régionalement**, le territoire qui prélève la plus grande proportion de l'eau de surface est l'agglomération de La Tuque avec un pourcentage de 99%, tandis que les MRC Les Chenaux et Mékinac prélèvent le plus d'eau souterraine avec des proportions de 52% et 39% du total de l'eau souterraine utilisée sur le territoire (figure 8-7b).

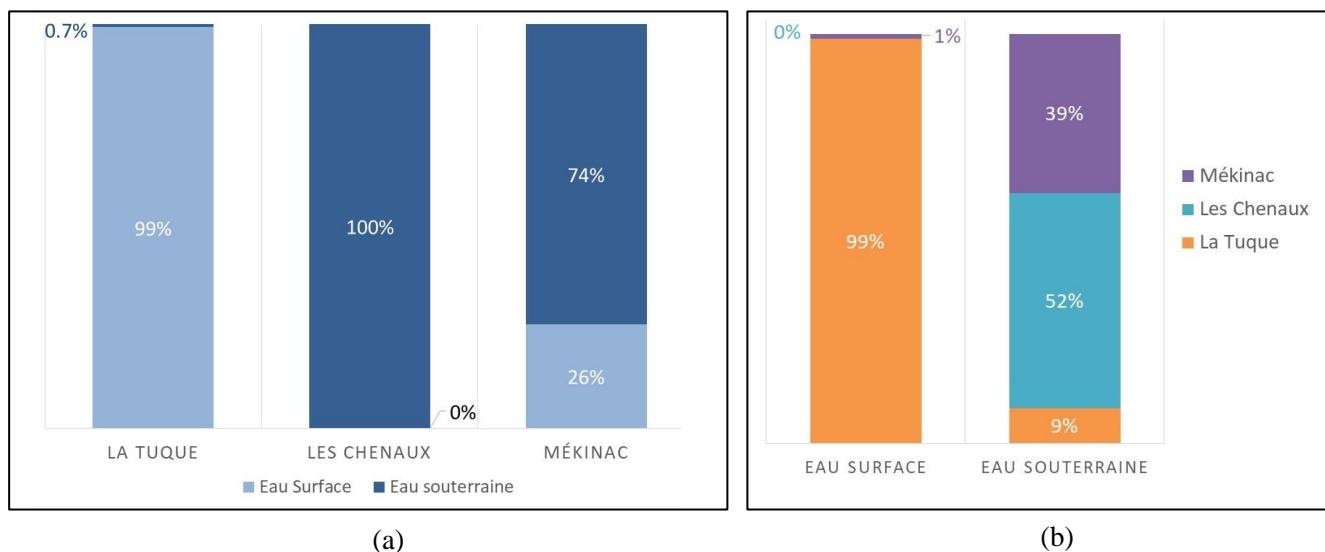


Figure 8-7 : Proportions des volumes annuels estimés d'eau de surface et d'eau souterraine prélevées a) par MRC et b) pour l'ensemble du territoire.

Le volume total d'eau utilisée sur le territoire de l'est de la Mauricie est de 81 955 522 m<sup>3</sup>/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 **l'agglomération de La Tuque**, un total de 75 422 132 m<sup>3</sup>/an d'eau (surface et souterraine) est utilisé (tableau 8-5) ce qui représente la plus grande consommation d'eau sur le territoire de l'est de la Mauricie. L'eau de surface utilisée correspond à 99% du total de l'eau utilisée (figure 8-7a) et les usages de cette dernière se présentent en deux catégories, l'eau de surface distribuée par les réseaux municipaux, soit 97%, et celle distribuée par des installations privées, soit 3% (figure 8-7a). L'eau souterraine utilisée correspond surtout à de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable pour un usage domestique (43%) ou aux activités agricoles (55%), tandis que celle utilisée pour les usages ICI et les pertes sont seulement de 1% (figure 8-5a).

Sur le territoire de la **MRC Les Chenaux**, un total de 3 264 594 m<sup>3</sup>/an d'eau (surface et souterraine) est utilisé (tableau 8-5). Aucune installation municipale ni privée ne distribue de l'eau de surface sur le territoire de la MRC. Toutes les municipalités de la MRC approvisionnent leur réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine. L'eau souterraine est surtout destinée aux usages domestiques (figure 8-5a). Les usages ICI, usages agricoles et les pertes correspondent à 29%, 20% et 15% de la consommation totale d'eau souterraine pour cette MRC.

Sur le territoire de la **MRC de Mékinac**, un total identique à celui de la MRC Les Chenaux, soit 3 268 796 m<sup>3</sup>/an d'eau (surface et souterraine), est utilisé (tableau 8-5). L'eau de surface utilisée correspond à 26% de la totalité de l'eau utilisée. Ces eaux de surface proviennent à 100% des réseaux municipaux (figure 8-4). L'eau souterraine utilisée sert surtout à l'usage agricole qui représente 59% de la quantité totale d'eau utilisée. L'usage domestique de l'eau souterraine est de 28% alors que l'usage ICI et les pertes en réseau sont de 6% et 7% (figure 8-5a). La figure 8-8 présente les volumes annuels utilisés d'eau souterraine et d'eau de surface par MRC.

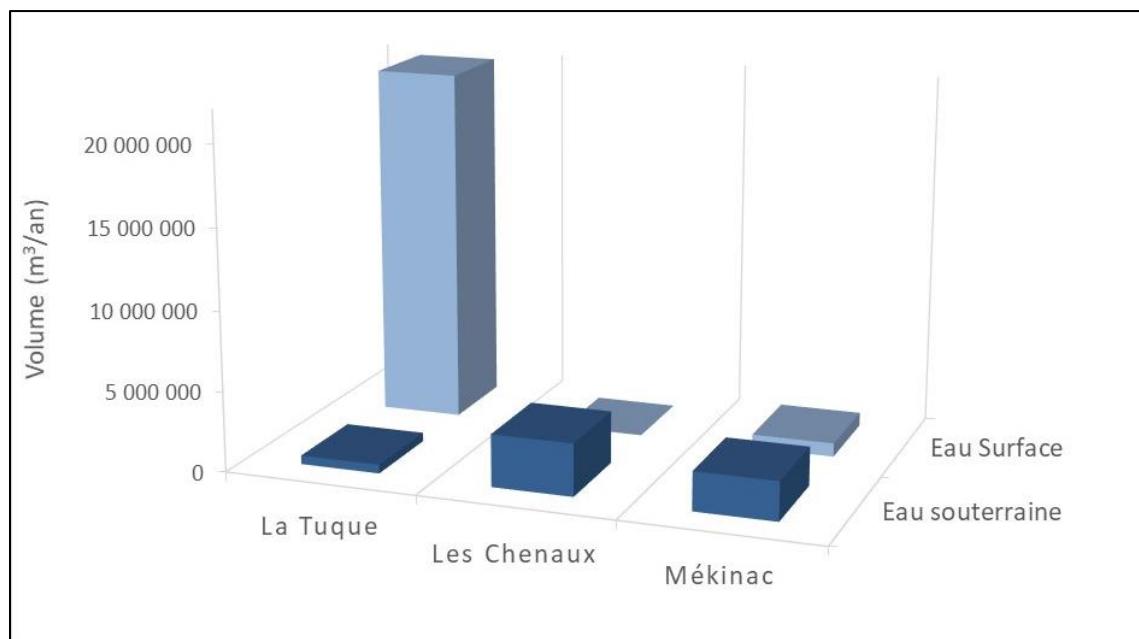


Figure 8-8 : Volumes annuels estimés d'eau souterraine et eau de surface utilisées par chacune des MRC.

## **8.3 Qualité de la ressource**

---

Cette section présente la qualité de la ressource en eau souterraine du territoire de l'est de la Mauricie. 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 le 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 et la présence de milieux humides peuvent impacter la qualité de l'eau souterraine.

La cartographie hydrogéologique des régions voisines ou à proximité du territoire d'étude (Sud-ouest de la Mauricie et Bécancour) laisse présumer la présence d'eaux souterraines salées. Aussi, la présence d'unités de roches sédimentaires paléozoïques telles que les shales d'Utica contenant des hydrocarbures (pétrole et/ou de gaz naturel) peut notamment affecter la qualité de l'eau souterraine. 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 et en nitrate créant ainsi un milieu réducteur. Ce type de milieu est favorable à la solubilisation du fer et du manganèse dans l'eau.

### **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 8-6. 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. De plus l'organisme de bassin versant (OBV) de la SAMBA a eu le mandat d'analyser la qualité bactériologique de l'eau souterraine pendant la réalisation du PACES. Certains puits des municipalités de la MRC de Mékinac ont ainsi été analysés, à la fois par l'équipe du CERM-PACES pour l'analyse des éléments majeurs et mineurs inorganiques, et à la fois par une équipe d'un OBV pour l'analyse des éléments bactériologiques. 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 que 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 cent six (**106**) **échantillons** qui ont été prélevés sur le territoire entre 2019 et 2021, dont **deux (2) réanalyses**. Un total de **91 puits** et **13 sources** ont été échantillonnés pour un total de cent quatre (**104**) stations d'échantillonnage différentes. La figure 3-11 présente la localisation des stations échantillonnées. Un contrôle de qualité sur les analyses chimiques a permis de sélectionner quatre-vingt-quatorze (**94**) **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 RQEP<sup>1</sup>.*

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
Magnésium (1978)	Aucune		
Manganèse (2019)	0.12	OE : ≤ 0,02	
Nitrate (2013)	45 sous forme de nitrate;		Nitrates + nitrite = 10

Paramètre (publié, réaffirmé)	Recommandations canadiennes		Norme québécoise CM (mg/L)
	CMA (mg/L)	OE (mg/L)	
	10 sous forme d'azote		
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	

<sup>1</sup> Les données présentées dans ce tableau proviennent du [www.canada.ca/fr/sante-canada/](http://www.canada.ca/fr/sante-canada/) et du [www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable](http://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 quatre-vingt-quatorze (94) échantillons recueillis pendant les campagnes et respectant l'électroneutralité, **vingt-huit (28) dépassements des concentrations maximales** ont été identifiés. La **carte #24 : Qualité de l'eau souterraine en fonction des concentrations maximales** présente la localisation des points des dépassements par rapport aux CM prescrites par le RQEP. Il est à noter que, pour le manganèse, la concentration maximale acceptable (CMA) recommandée par Santé Canada a été utilisée pour identifier les dépassements. En effet, il n'existe pas pour le moment dans la réglementation québécoise (RQEP) de normes (CM) pour le manganèse, mais puisque le gouvernement québécois incite tout de même à la prudence lorsque les teneurs dépassent la CMA recommandée par Santé Canada, il figure sur la carte #24.

Les éléments chimiques pour lesquels des dépassements ont été identifiés sont : le cuivre (1 dépassement), les fluorures (11 dépassements), le plomb (1 dépassement) et le manganèse (15 dépassements). Le tableau 8-7 résume les dépassements 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 dépassements sont donnés dans la thèse de maîtrise de Tremblay (2022).

Tableau 8-7 : Paramètres régis par des concentrations maximales (CM).

Paramètre	Nombre d'analyse <sup>1</sup>	Nombre de détection	Limite de détection	Minimum <sup>2</sup>	25%	Médiane	75%	Maximum	CM	Nombre de dépassement
Cu (mg/l)	94	74	0.0005	0.00025	0.0007	0.0026	0.01	5.1	1	1
F (mg/l)	94	94	0.01	0.016	0.058	0.13	0.728	7.3	1.5	11
Mn (mg/l)*	94	85	0.0004	0.0002	0.0016	0.012	0.072	0.41	0.12*	15
Pb (mg/l)	94	62	0.0001	0.00005	0.00005	0.0002	0.0005	0.27	0.005	1

<sup>1</sup> Au total, 104 puits ou sources ont été échantillonnés, mais seuls 94 échantillons respectant l'électroneutralité (EN) ont été évalués.

<sup>2</sup> 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.

**Cuivre :** un (1) échantillon dans les dépôts granulaires a montré un dépassement de la CM au niveau des Hautes-Terres, à proximité de la rivière Saint-Maurice. Le dépassement été observé dans le même puits montrant un dépassement en plomb. La présence de cuivre dans l'eau peut être d'origine naturelle ou provenir du relargage de la tuyauterie en cuivre (CEP, 2020). Selon le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, le cuivre pris à trop fortes doses (concentration supérieure à la CMA) pourrait avoir des effets gastro-intestinaux à court terme et des effets sur le foie et les reins à long terme (CEP, 2020). La CM du cuivre est fixée à 2 mg/L.

**Fluorures** : au total, douze (11) échantillons ont montré un dépassement de la CM, dont neuf (9) échantillons prélevés dans le socle rocheux fracturé, un (1) échantillon dans les dépôts granulaires et un (1) échantillon dans un puits dont on ne connaît pas le type d'aquifère exploité. Les dépassements (tout type d'aquifère confondu) se situent principalement dans le piedmont (neuf (9) échantillons), un (1) échantillon a été observé dans le sud des Hautes-Terres et un (1) échantillon a été observé au nord des Basses-Terres. 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** : un (1) échantillon dans les dépôts granulaires a montré un dépassement de la CM au niveau des Hautes-Terres, à proximité de la rivière Saint-Maurice. Le dépassement en plomb a été observé dans le même puits montrant un dépassement en cuivre. 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).

**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, quinze (15) échantillons ont montré un dépassement de la CMA, dont sept (7) échantillons prélevés dans les dépôts granulaires, quatre (4) échantillons dans le socle rocheux fracturé et quatre (4) 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).

#### 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 émis par Santé Canada.*

Paramètre	Nombre d'analyse <sup>1</sup>	Nombre de détection	Limite de détection	Minimum <sup>2</sup>	25%	Médiane	75%	Maximum	OE	Nombre de dépassement
Al (mg/l)	94	33	0.01	0.005	0.005	0.005	0.017	0.27	0.1	3
Cl (mg/l)	94	94	0.05	0.2	0.8	4.2	23	780	250	5
Cu (mg/l)	94	74	0.0005	0.00025	0.0007	0.0026	0.01	5.1	1	1
Dureté estimée	94	94	-	0.6	24.9	45.3	78.1	495	200	2
Fe (mg/l)	94	24	0.06	0.03	0.03	0.03	0.05	18	0.3	11
MDT estimée	94	94	-	16	78	154	263	1490	500	8
Mn (mg/l)	94	85	0.0004	0.0002	0.002	0.012	0.072	0.41	0.02	40
Na (mg/l)	94	94	0.1	0.77	3.2	9.4	36	400	200	4
pH	89	89	-	3.8	6.0	7.1	8.1	9.1	6.5 - 8.5	50
Sulfures (mg S/l)	86 <sup>3</sup>	13	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0	0.05	5

<sup>1</sup> Au total, 104 puits ou sources ont été échantillonnés, mais seuls 94 échantillons respectant l'électroneutralité(EN) ont été évalués.

<sup>2</sup> Une concentration égale à la moitié de la limite de détection a été considérée pour les éléments non détectés.

<sup>3</sup> L'analyse des sulfures n'était pas réalisée systématiquement sur tous les échantillons.

Parmi les quatre-vingt-quatorze (94) échantillons sélectionnés sur le territoire, cent-vingt-neuf (129) 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 (3 dépassements);
- les chlorures (5 dépassements);
- le cuivre (1 dépassement);
- la dureté estimée (2 dépassements);
- le fer (11 dépassements);
- la matière dissoute totale (MDT) estimée (8 dépassements);
- le manganèse (40 dépassements);
- le sodium (4 dépassements);
- le pH (50 dépassements) et;
- les sulfures (5 dépassements)

Comme le montre la **carte #25** les échantillons qui montrent le plus grand nombre de dépassements des OE se situent au niveau du piedmont et des Basses-Terres. Un échantillon observé dans le socle rocheux au niveau du piedmont a notamment montré un dépassement de 6 paramètres tels que les chlorures, la matière dissoute totale, la dureté, le manganèse, le sodium et des sulfures. Dans les dépôts granulaires, l'échantillon montrant le plus grand nombre de dépassements (5) des OE a permis d'identifier les paramètres des chlorures, de la matière dissoute totale, du manganèse, du sodium et du sulfure d'hydrogène. Les dépassements des OE des sulfures se situent principalement sur le piedmont. 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 l'est de la Mauricie 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 m<sup>3</sup>/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.

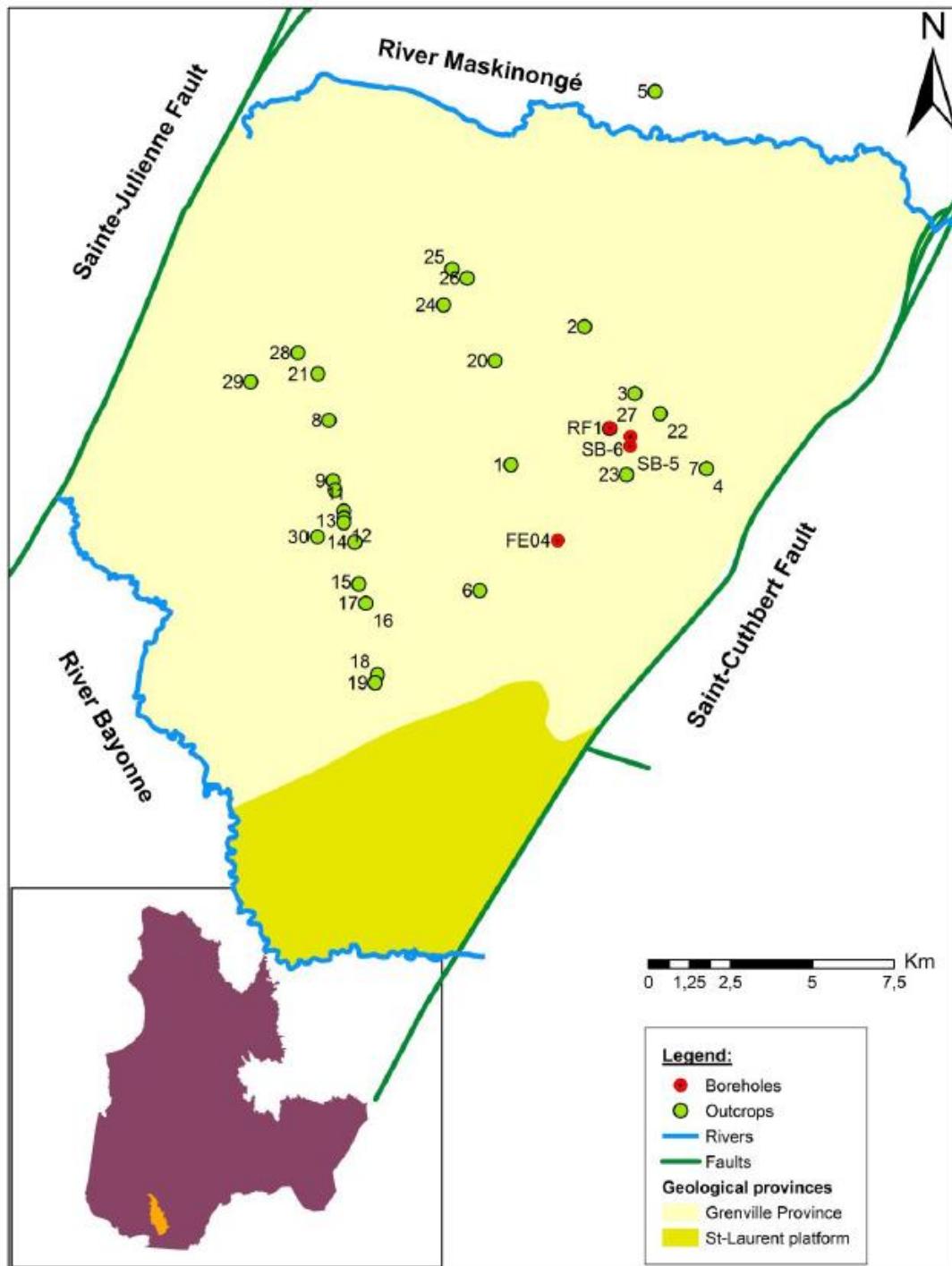


Figure 9-1 : Localisation de la zone d'étude du projet de doctorat de M. Abi Attoumane visant l'amélioration des connaissances des taux de renouvellement et du contrôle des écoulements des eaux souterraines du socle rocheux cristallin du Bouclier canadien (tirée de Abi et al. (2022)).

## 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).

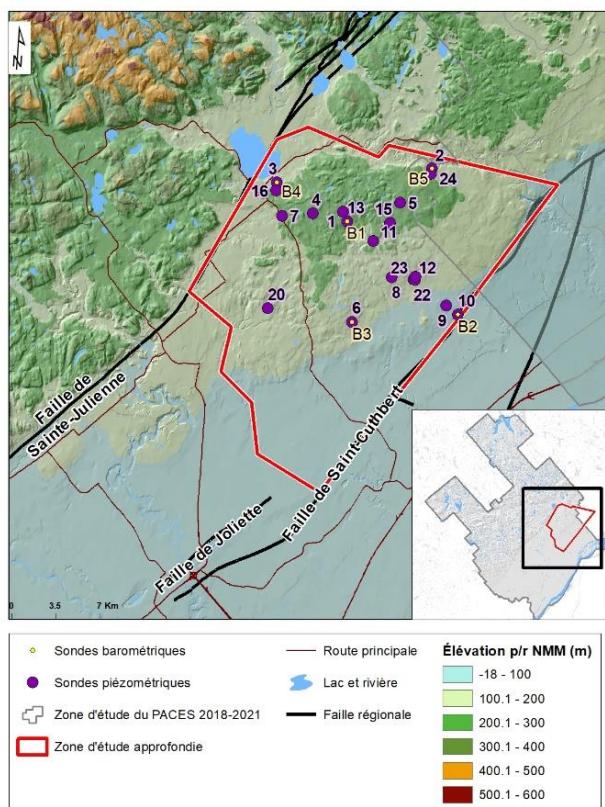
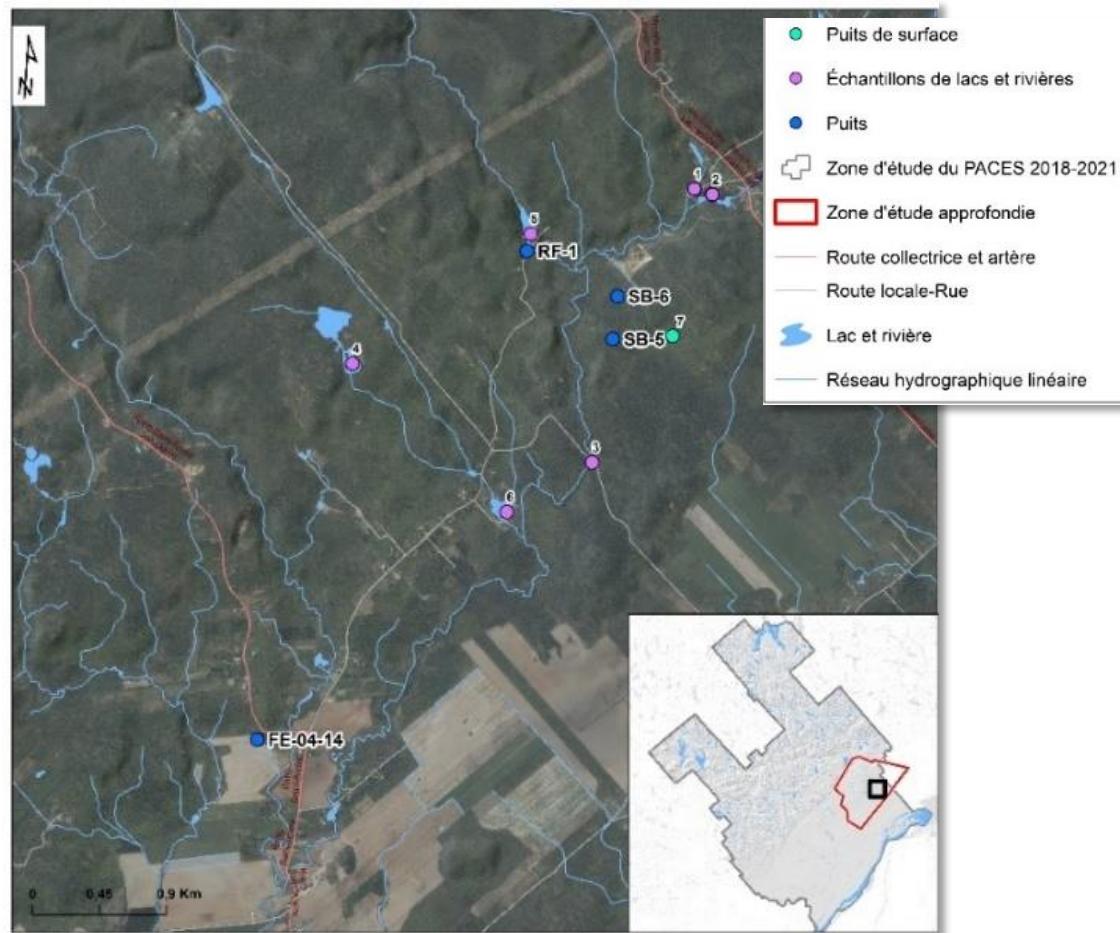


Figure 9-2 : Localisation des sondes piézométriques et barométriques installées.

À cela s'ajoute l'échantillonnage des eaux souterraines et de surface pour l'analyse des isotopes stables de l'eau ( $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$ ) 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 échantillons 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 échantillonnes lors de la campagne d'échantillonnage d'eau de surface.*

#### Résultats préliminaires

Une méthode innovante permettant la compartmentalisation structurale des massifs rocheux en domaines structuraux a été élaborée (Attoumane et al., 2021). 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 mesurée dans un forage où l'épaisseur de sédiments est inférieure à deux mètres. Une réponse diffuse et

étalées 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.

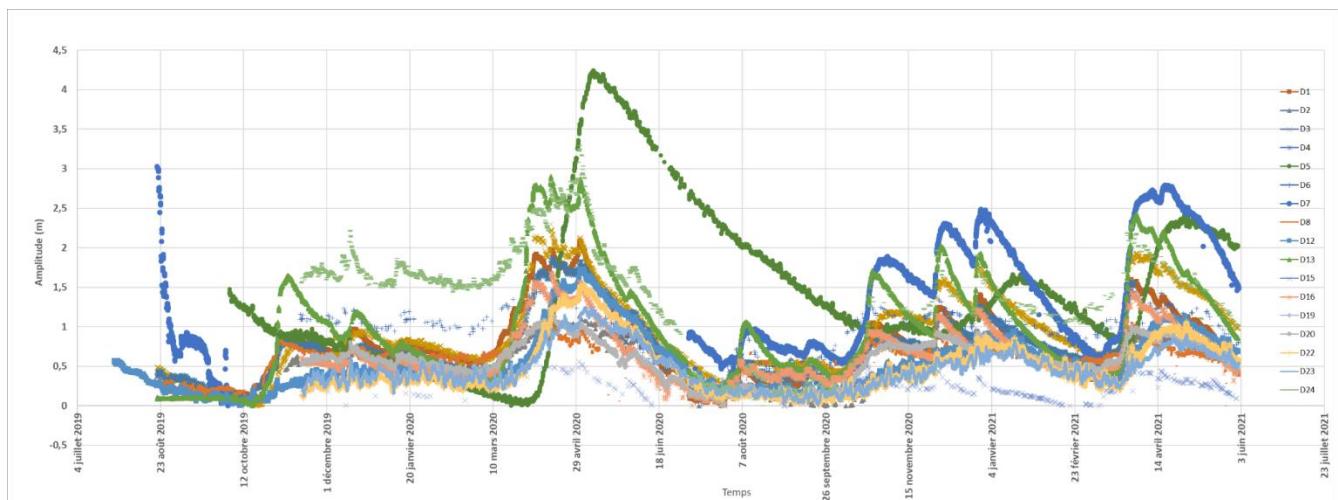


Figure 9-4: Illustration des variations piézométriques des forages dans le temps entre 2019 et 2021.

## **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). 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 géoradar (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
<b>Coupes stratigraphiques</b>	44	Moraine de Saint-Narcisse, Mauricie
<b>Transient electromagnetic (TEM)</b>	104 stations (~ 8 km)	Idem
<b>Tomographie électrique (ERT)</b>	27 lignes (~ 6 km)	Idem
<b>Géoradar 160 MHz (GPR)</b>	57 levés (~ 14 km)	Idem
<b>Géoradar 450 MHz (GPR)</b>	40 levés (~ 8 km)	Idem
<b>Levés de roc en surface</b>	16 levés	Idem
<b>Relevés de toit de nappe</b>	18 levés	Idem
<b>Forage rotosonique</b>	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.

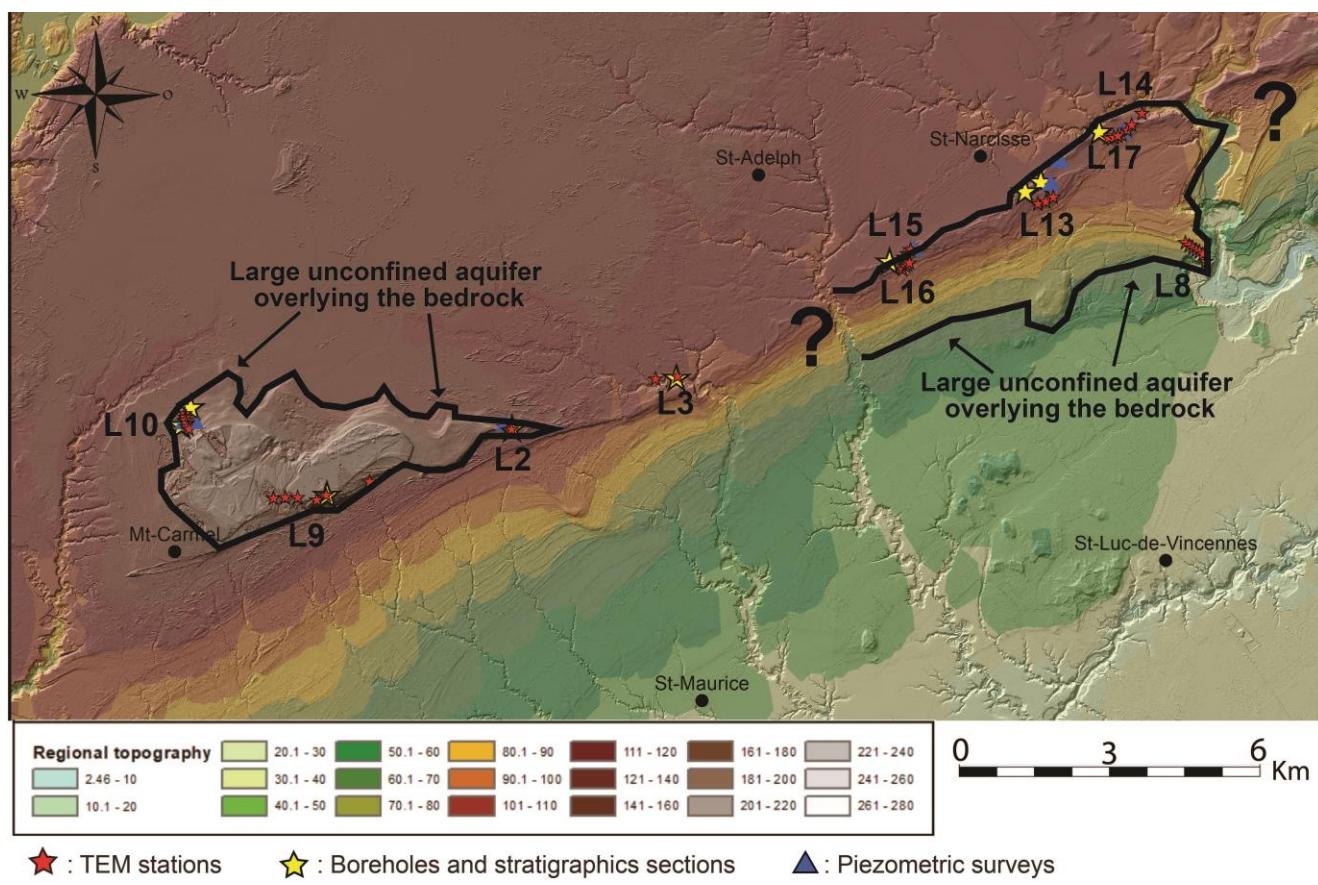


Figure 9-5: Localisation du territoire d'étude du projet doctoral de M. Yan Levesque (tiré de Lévesque *et al.* (2021)).

### **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 échantillonés 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 fluvioglaciaire (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

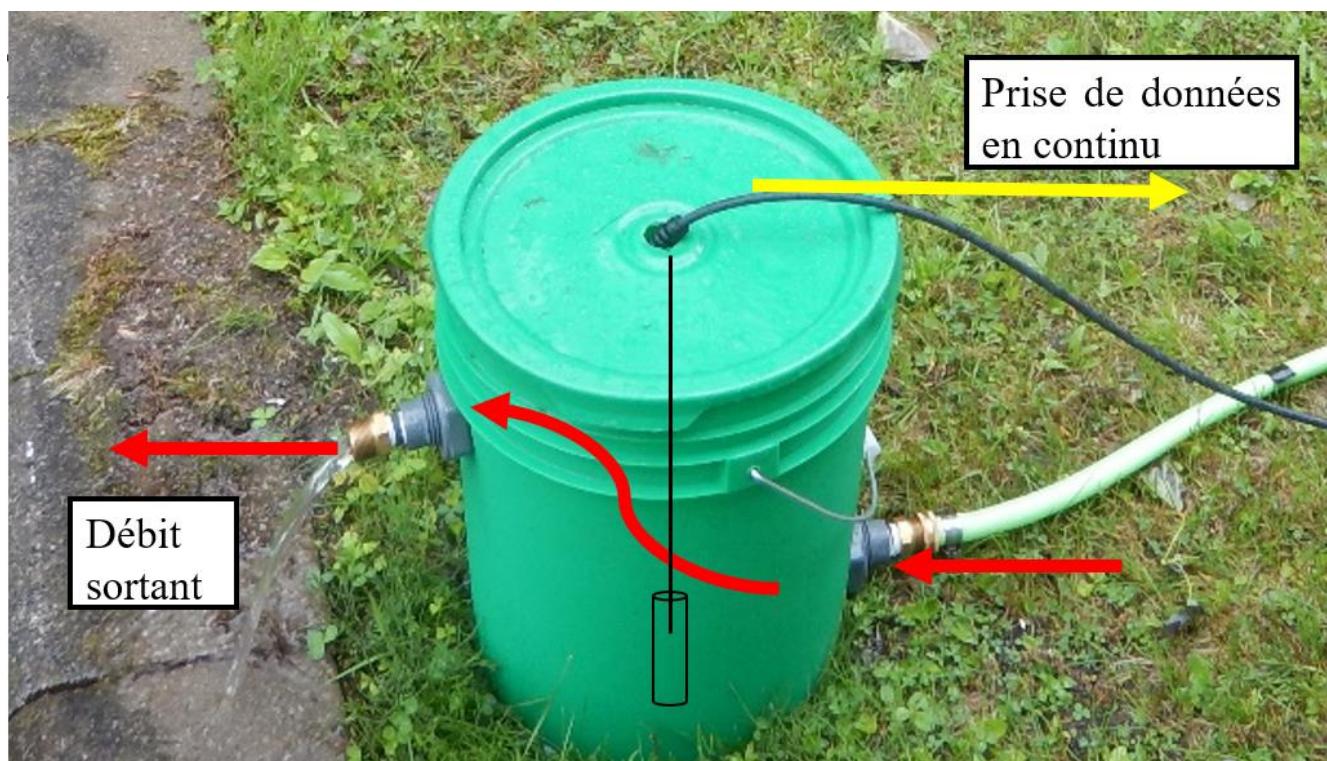


Figure 9-6 : Photo de la cellule d'écoulement utilisée pour l'échantillonnage des isotopes et le suivi des paramètres physico-chimiques en continu.

La composition chimique en termes d'éléments majeurs, mineurs, traces (terres rares et métaux lourds), et isotopiques ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  et  $^{13}\text{C}$ ) 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 façon 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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ). 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 ( $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ ) 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  $^{13}\text{C}$ . 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 M.Sc. 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.

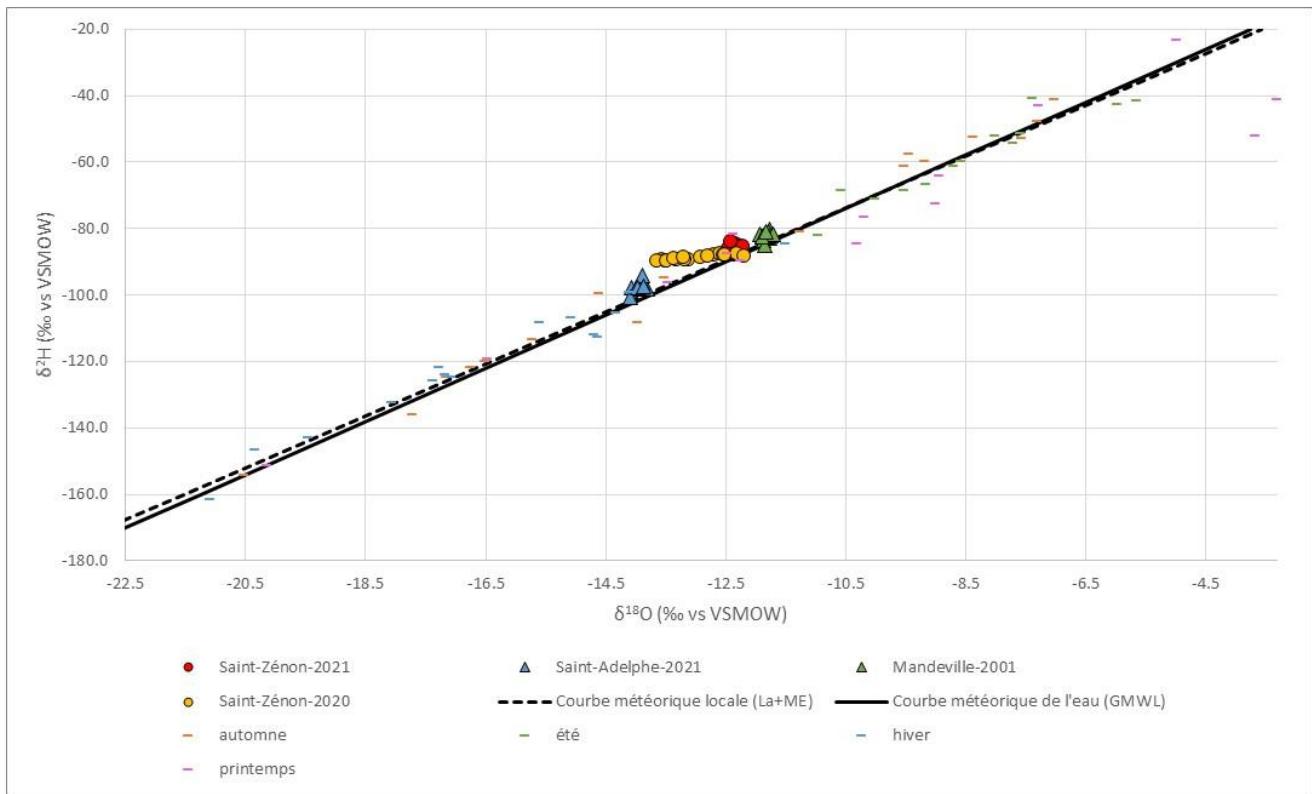


Figure 9-7 : Variations annuelles et variations lors de la purge de la signature en isotopes stables de l'eau souterraine prélevée aux 3 stations sélectionnées du projet de maîtrise de Mme Laura-Pier Perron Desmeules.

#### 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.

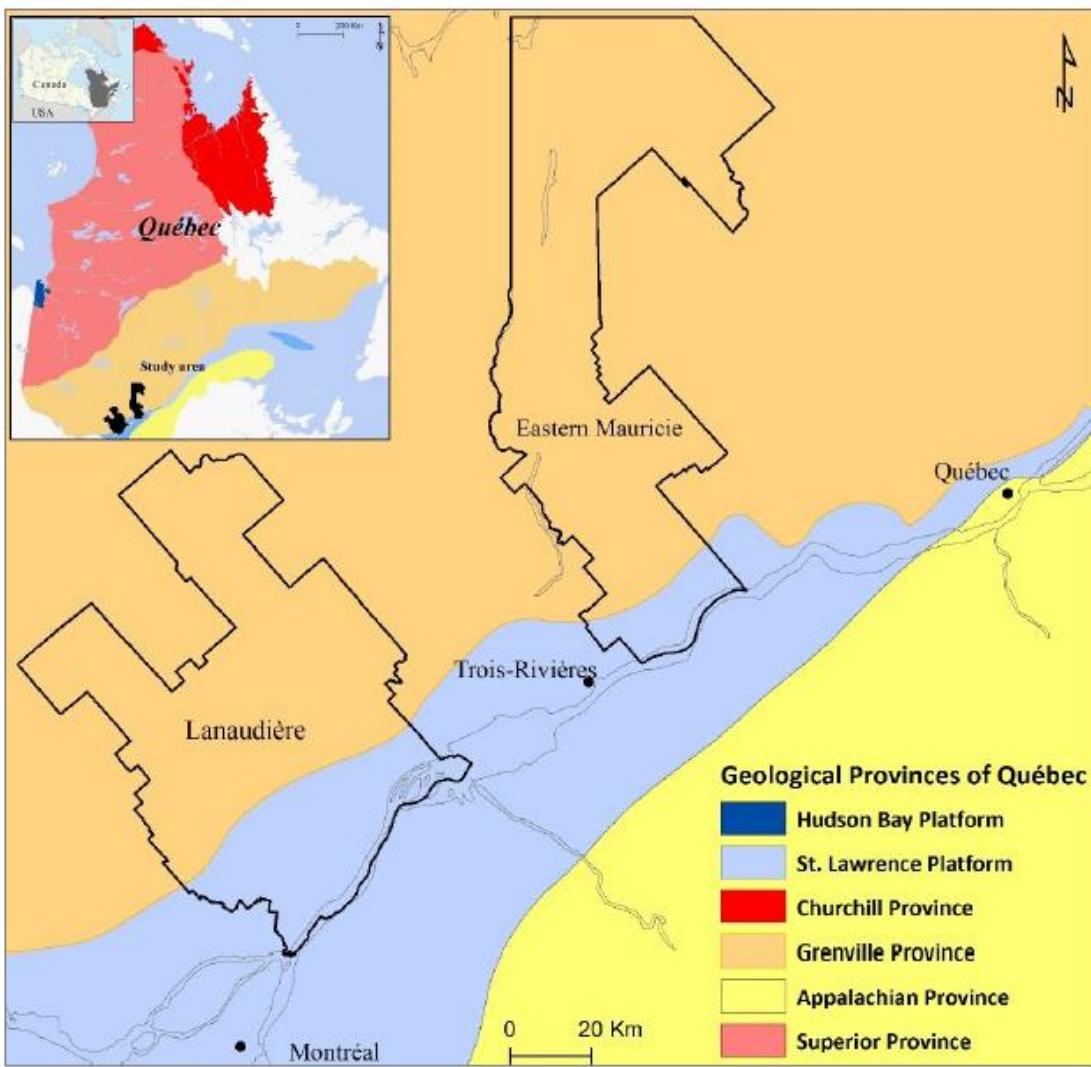


Figure 9-8 : Localisation et provinces géologiques des territoires d'étude du projet de maîtrise de Mme Roxane Tremblay (tiré de Tremblay (2022)).

### 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 ( $^2\text{H}$  et  $^{18}\text{O}$ ). 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 3.4 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 neuf (**9**) échantillons sélectionnés sur le territoire de l'est de la Mauricie pour la campagne isotopique.

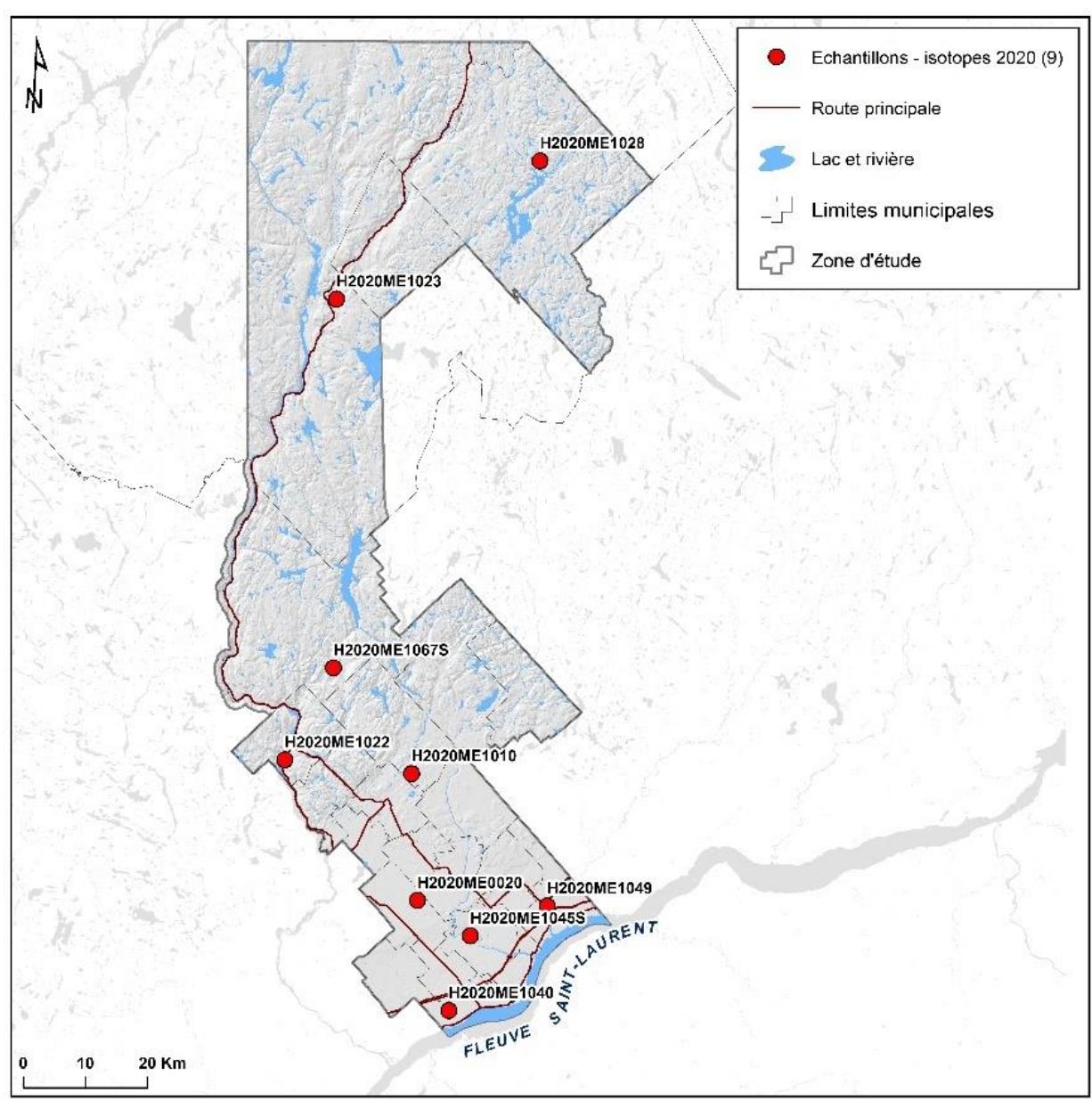


Figure 9-9 : Localisation des échantillons d'eau souterraine (pour analyses des isotopes) effectués dans des puits de particuliers dans le cadre de la campagne de caractérisation hydrogéochimique régionale réalisée au cours de l'été 2020.

**Trois (3) 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 des stations d'altitudes différentes. La première a été installée dans les Hautes-Terres Laurentienne, à la Tuque, la deuxième a été installée dans le piedmont à Lac-aux-Sables et la troisième a été installée dans les Basses-Terres à Saint-Narcisse. (figure 9-10b). Un total de **trente-huit (38) échantillons d'eau de pluie** a été collecté à l'été 2020 dont onze (11) échantillons proviennent de la station à La Tuque, quinze (15) de la station à Lac-aux-Sables et douze (12) de la station à Saint-Narcisse. L'ensemble des résultats d'analyse a été traité statistiquement (statistique descriptive et multivariée) et a été représenté à l'aide de différents graphiques.

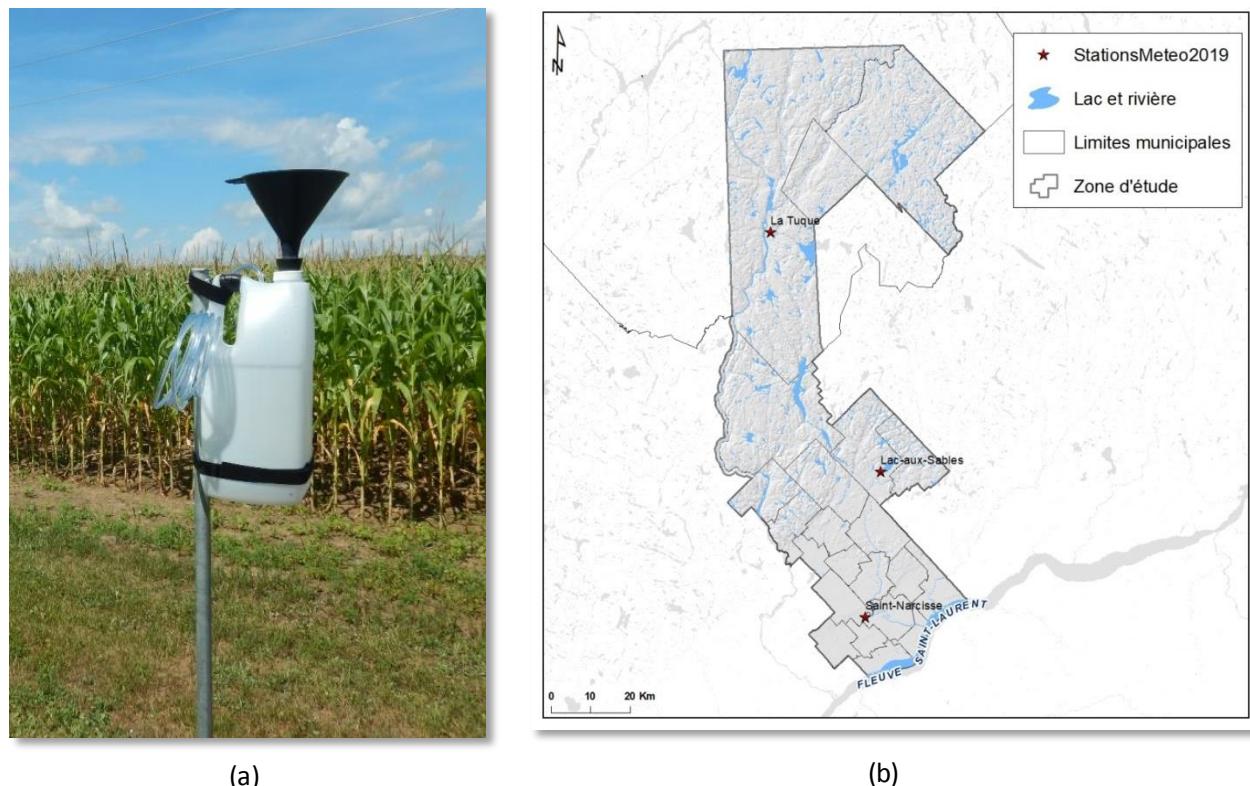


Figure 9-10 : Échantilleur d'eau de pluie. (a) Photo d'un échantilleur d'eau de pluie; (b) Localisation des trois échantilleurs d'eau de pluie sur le territoire.

### 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  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Na}^+$  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  $\text{H}_2\text{S}$  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 cuivre et 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 indépendante 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 sur le territoire de l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie 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](http://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 l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie;
- recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine.

## **10.1 Conclusions et faits saillants du projet PACES-LAMEMCN section Mauricie-Est**

---

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 géographiques, géologiques ou hydrogéologiques, dans un format homogène et continu sur l'ensemble du territoire de l'est de la Mauricie.

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 l'est de la Mauricie contient des données sur plus de 13 000 stations réparties sur tout le territoire.

Les données sources sont réparties sur 13 870 stations dont :

- 6 758 correspondent à des affleurements;

- 6 718 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;
- 394 stations où des données ont été acquises par les travaux de terrain effectués dans le cadre du PACES, soit :
  - 104 stations correspondant à des puits individuels ou des sources échantillonnées dans le cadre de la campagne d'hydrogéochimie;
  - 1 station correspondant au sondage réalisé par rotpercussion converti en piézomètres;
  - 114 stations stratigraphiques ou affleurements du roc;
  - 158 stations correspondent à des levés géophysiques effectués le long de la moraine de Saint-Narcisse surtout par induction électromagnétique dans le domaine du temps ou, dans une moindre mesure, par résistivité électrique;
  - 147 affleurements de la nappe d'eau souterraine.

La base de données géospatiales PACES, section l'est de la Mauricie, contient également 2 104 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 l'est de la Mauricie possède une population de 37 179 habitants répartie sur une superficie d'environ 6 000 km<sup>2</sup> s'étendant sur une largeur d'environ 37 km du NE au SO et sur une longueur d'environ 158 km du N au S. 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 N-S et sont tributaires de la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Le territoire de l'est de la Mauricie comprend 8 principales rivières, à savoir les rivières Batiscan, Croche, Saint-Maurice, Sainte-Anne, Bostonnais, Mékinac, des Envies, et Champlain. Les principaux lacs retrouvés sur le territoire de l'est de la Mauricie sont les lacs Édouard, Mékinac et Wayagamac. Le territoire comprend 15 bassins versants (de niveau 1), dont les 4 principaux sont ceux des rivières Saint-Maurice, Batiscan, Sainte-Anne et Champlain, qui représentent respectivement 56%, 33%, 5% et 3% de la superficie du territoire municipalisé de l'est de la Mauricie. Les zones

de tourbière les plus importantes sont situées dans les municipalités de Saint-Narcisse et de Sainte-Geneviève-de-Batiscan. Les milieux humides sont omniprésents sur le territoire de l'est de la Mauricie, et représentent 4% du territoire d'étude. Les industries retrouvées dans le nord du territoire 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 l'est de la Mauricie se caractérise par les cultures de céréales et de fourrages. Des fermes d'élevage sont également présentes sur le territoire principalement dans le piedmont. Le territoire de l'est de la Mauricie connaît une industrie touristique importante dans le nord du territoire (principalement à la Tuque).

#### **10.1.3 Portrait géologique**

La géologie du territoire de l'est de la Mauricie 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 précamalien. Dans la région de l'est de la Mauricie, les principales failles normales sont : la faille de Saint-Prosper et la faille de Saint-Maurice (aussi appelée faille de Sainte-Julienne ou faille de Rawdon). La faille de Saint-Prosper marque le contact entre les roches précamériennes et les roches sédimentaires ordoviciennes. 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 l'est de la Mauricie a été réalisée en appui au PACES (Brouard *et al.*, 2021). 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 130 m au S-E de la municipalité de Saint-Maurice. Les épaisseurs de dépôts les plus importantes (en incluant l'épaisseur de la couche d'argile) se situent dans les Basses-Terres, dans les municipalités de Saint-Maurice, Sainte-Geneviève-de-Batiscan et Saint-Prosper-de-Champlain. Dans les Hautes-Terres, les vallées contiennent des épaisseurs de dépôts beaucoup plus faibles qui sont généralement comprises entre 10 et 40 m et pouvant atteindre localement plus de 100 m particulièrement dans le secteur de Trois-Rives et le long de la rivière Croche.

#### **10.1.4 Contexte hydrogéologique et potentiel aquifère (propriétés hydrauliques)**

Sur le territoire municipalisé de l'est de la Mauricie, **44** 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 sables silteux déposés localement; et 6) les sédiments organiques présents en couches minces à la surface. Aux fins de contrôle qualité, ces 44 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 l'est de la Mauricie (Contextes A à I). Les Hautes Terres sont marquées par 4 grands types de contextes : le roc affleurant (contexte A, 61% du territoire), les contextes où une couche confinante constitué 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, 7% 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, moins de 1% du territoire chacun) 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, **121 données** de propriétés hydrauliques ont été extraites des rapports de consultants soit: **10 valeurs de conductivités hydrauliques** dans les dépôts granulaires; **98 valeurs de transmissivité** (57 valeurs estimées dans le granulaire, 38 dans le roc fracturé et 3 dans un aquifère inconnu) et; **13 valeurs d'emmagasinement** (9 dans le granulaire, 3 dans le roc fracturé, 1 dans un aquifère inconnu). La conductivité hydraulique des aquifères granulaires varie entre  $6,1 \times 10^{-5}$  et  $4,8 \times 10^{-3}$  m/s avec une moyenne géométrique de  $4,2 \times 10^{-4}$  m/s et une valeur médiane de  $6,6 \times 10^{-4}$  m/s. Ces valeurs de conductivité hydraulique correspondent à la gamme des sables moyens aux graviers fins. La transmissivité des aquifères granulaires varie entre  $2,2 \times 10^{-4}$  et  $9,1 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, avec une moyenne géométrique de  $2,3 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et une valeur médiane de  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Ces valeurs de transmissivité caractérisent de relativement bons aquifères. L'emmagasinement des aquifères granulaires varie entre  $5,0 \times 10^{-6}$  et 0,1, avec une moyenne géométrique de  $2,5 \times 10^{-3}$  et une valeur médiane de  $6,6 \times 10^{-3}$ . La transmissivité des aquifères de roc fracturé varie entre  $4,0 \times 10^{-5}$  et  $3,1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, avec une moyenne géométrique de  $2,1 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s et une valeur médiane de  $1,7 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/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  $1,3 \times 10^{-5}$  et  $1,6 \times 10^{-2}$  avec une moyenne géométrique de  $6,1 \times 10^{-4}$  et une valeur médiane de  $1,1 \times 10^{-3}$ . La création des coupes stratigraphiques et de la carte des contextes hydrogéologiques a permis de mettre en évidence la présence de trois **vallées très incisées et interprétées comme des fjords** (figure 7-5) en raison de leur caractéristiques associées au passage du glacier et de l'invasion marine : la vallée de la rivière Saint-Maurice, la vallée de la rivière Croche et une vallée enfouie sous les argiles marines qui a été interprétée dans les Basses-Terres, à l'est du territoire dans les municipalités de Sainte-Anne-de-la-Pérade et de Saint-Prosper. Ces vallées sont donc comblées par des sédiments fluvioglaciaires au fond, des argiles marines et des sables indifférenciés de surface (alluvions, sables deltaïques, littoraux, etc.). La vallée de la Bostonnais est une vallée comblée par des sédiments fluvioglaciaires sur l'ensemble de la vallée (dont l'épaisseur est généralement comprise entre 20 et 40 m) qui sont surmontés, par endroit, par des sables indifférenciés de surface. Cette vallée n'a pas été envahie par la mer de Champlain probablement due à un bouchon créé par des remontées du socle rocheux au sud de la vallée.

#### **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 95 et 510 m. Ces variations sont moins accentuées dans le piedmont où elles varient entre 58 et 265 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 3 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. 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 Croche, Saint-Maurice, la Bostonnais, Batiscan ainsi que le lac Édouard et le lac Mékinac).

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 l'est de la Mauricie, les **apports verticaux annuels moyens** estimés à partir des précipitations liquides et solides (modèle de fonte de la neige) varient entre 830 mm/an et 1 052 mm/an, les **valeurs annuelles moyennes de l'ETPr** varient entre 531 mm/an et 604 mm/an alors que celles du **ruissellement annuel moyen** varient entre 5 mm/an et 321 mm/an. Les estimations de la **recharge annuelle moyenne** varient entre 81 mm/an et 442 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 (sables et graviers fluvioglaciaires et sables indifférenciés de surface). 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**

Plus de 90% de l'eau utilisée pour l'ensemble du territoire provient d'eau de surface. Ce fort pourcentage provient de l'agglomération de La Tuque qui utilise 74 879 148 m<sup>3</sup>/an d'eau de surface ce qui représente 99% de toute l'eau utilisée sur son territoire. La MRC des Chenaux quant à elle utilise strictement de l'eau souterraine pour l'approvisionnement en eau potable sur son territoire. Le ¼ de l'eau utilisée par la MRC de Mékinac provient d'une source d'eau de surface alors que le ¾ est de l'eau souterraine. Des 22 municipalités du territoire de l'est de la Mauricie, 17 municipalités approvisionnent en entier ou en partie leur réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine ce qui représente 77% des municipalités présentes sur le territoire à l'étude et 89% des municipalités possédant un réseau d'aqueduc. Trois municipalités sur le territoire (Trois-Rives, La Bostonnais et Lac-Édouard) ne possèdent pas de réseau d'aqueduc municipal. Cet approvisionnement se fait via **46 installations de captage municipal** d'eau souterraine. On compte aussi douze (12) installations prélevant de l'eau souterraine sous la responsabilité d'une entreprise, une (1) installation sous la responsabilité d'une institution et deux (2) installations appartenant à une compagnie privée. Quinze (15) municipalités captent un aquifère granulaire, 3 municipalités captent un aquifère de roc fracturé. Sur les 17 municipalités approvisionnant leur réseau d'aqueduc via une source d'eau souterraine ou mixte, **9 municipalités** distribuent dans leur réseau une eau souterraine en **nappe captive**.

Plus de 60% de la population de la région de l'est de la Mauricie 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 6 234 133 m<sup>3</sup>/an dont 34% sont destinés à l'usage domestique, 38% servent à l'usage agricole; 17% servent aux ICI, et 11% correspondent à des fuites dans les réseaux de distribution. Le portrait réalisé montre aussi que la MRC Les Chenaux utilise plus de la moitié de l'eau souterraine utilisée dans l'est de la Mauricie, la MRC de Mékinac utilise 39% de l'eau souterraine utilisés régionalement et l'agglomération de La Tuque utilise seulement 9% de toute l'eau souterraine utilisée dans l'est de la Mauricie.

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 104 stations (91 puits et 13 sources) sur le territoire. Un contrôle de qualité sur les analyses chimiques a permis de sélectionner **94 échantillons** respectant l'électroneutralité. Parmi eux, **28 dépassements des concentrations maximales** prescrites par le RQEP ou recommandées par Santé Canada ont été identifiés. Les éléments chimiques qui concernent ces dépassements sont : le cuivre (1 dépassement), les fluorures (11 dépassements), le plomb (1 dépassement) et le manganèse (15 dépassements). De plus, parmi les 94 échantillons, **129 dépassements des objectifs esthétiques (OE)** ont été identifiés dont l'aluminium (3 dépassements), les chlorures (5 dépassements), le cuivre (1 dépassement), la dureté estimée (2 dépassements), le fer (11 dépassements), la matière dissoute totale (MDT) estimée (8 dépassements), le manganèse (40 dépassements), le sodium (4 dépassements), le pH (50 dépassements) et les sulfures (5 dépassements). Les échantillons avec le plus grand nombre de dépassements des OE se situent dans les Basses-Terres.

## **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 : 200 000. 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 sur le territoire de l'est de la Mauricie est une photographie dans le temps qui illustre l'état des informations disponibles concernant les eaux souterraines du territoire de l'est de la Mauricie. 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 1/200 000 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'attache 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 44 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, sable silteux, 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 hydrogéochimiques, 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 physiques et chimiques. 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 telles que les volumes d'eau prélevés annuellement par les réseaux municipaux et les grands préleveurs (plus de 75 m<sup>3</sup>/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 l'est de la Mauricie**

---

Les résultats du PACES constituent les connaissances hydrogéologiques du territoire municipalisé des MRC des Chenaux, de Mékinac et de l'agglomération de la Tuque. 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<sup>ème</sup> 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 bactériologique et virologique. 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 engrains.

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 engrains 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 l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie 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 l'est de la Mauricie 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.

Lors des visites des municipalités à l'été 2018-2019, le responsable des puits de la municipalité de Saint-Maurice nous a indiqué que la population a presque doublé en 10 ans et qu'un troisième puits pour assurer l'approvisionnement en eau potable des citoyens est envisagé. La municipalité prévoit donc de réaliser prochainement une recherche en eau. D'autres municipalités sur le territoire vivent probablement aussi une augmentation démographique pouvant créer une pression sur la ressource en eau. 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 installées 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.

**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 l'est de la Mauricie 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.

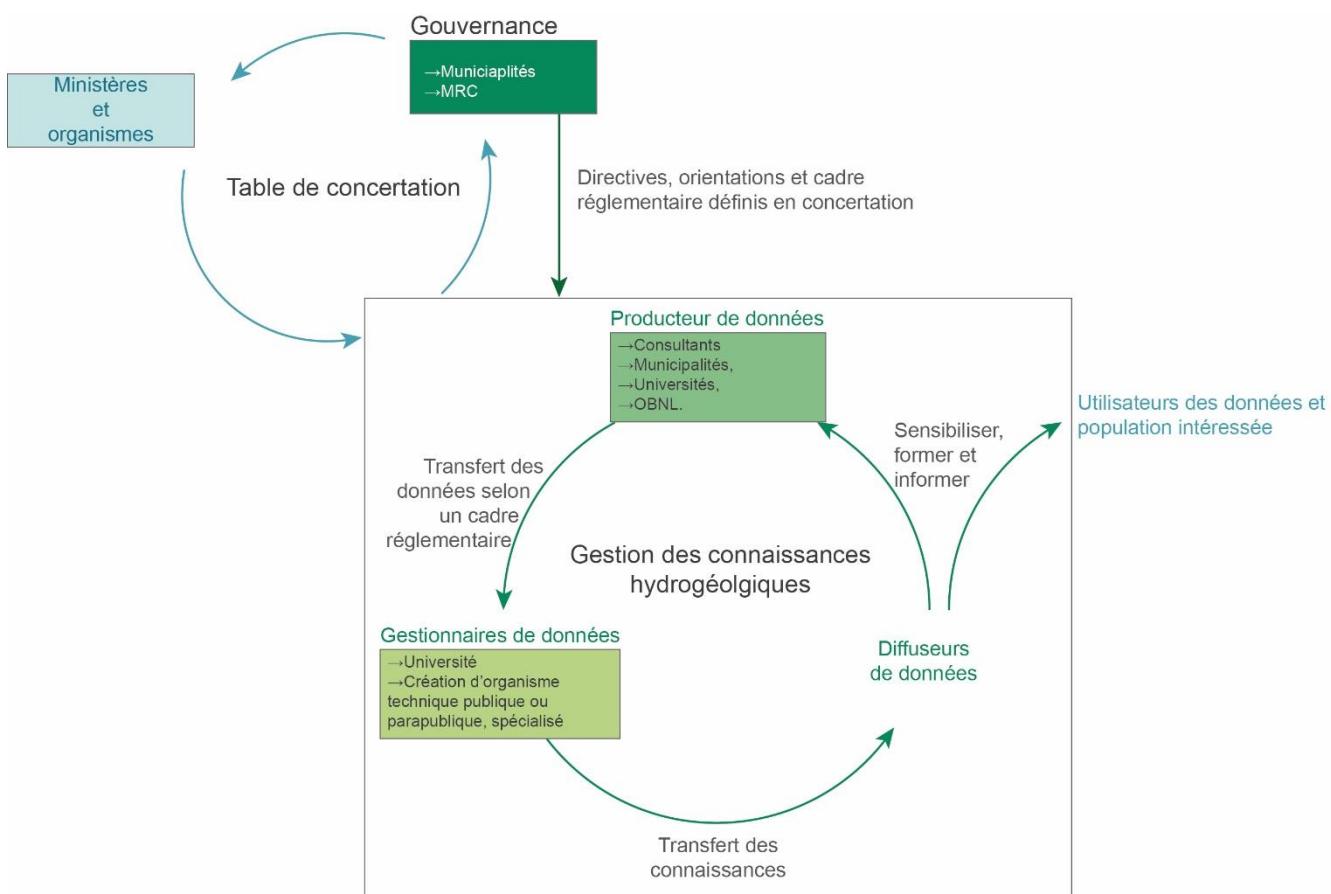


Figure 10-1 : Proposition de structure de gestion régionale de la ressource en eau souterraine.

## 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>
- Béland, J. (1953). *Geology of the Shawinigan map-area, Champlain and St-Maurice Counties, Québec*, [Ph.D., Princeton university].
- Bellavance, D. (2012). *Synthèse des événements quaternaires dans les Basses-Terres du Saint-Laurent*. Développement durable, Environnement et Parcs, Provinde de Québec.
- Benítez, L. M. (2005). *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](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>
- Brouard, É., Walter, J. et Lajeunesse, P. (2021). *Cartographie des formations superficielles réalisées dans les territoires municipalisés de la Mauricie-Est*. Université du Québec à Chicoutimi (UQAC).
- 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. et Globensky, Y. (1975). *Rapport géologique de la région des Grondines*. Ministères des Richesses naturelles, Direction générale 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). *Rapport géologique de la région de Trois-Rivières* (164). Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des mines.

Clibbon, P. B. (1969). The nature, evolution and present extension of the ecumene in the shield section of the Saint-Maurice Valley. *Cahiers de géographie du Québec*, 13(28), 5. <https://doi.org/10.7202/020853ar>

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 diaigraphies : Rapport final*. (INRSCO2-2013-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).

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.

Fagnan, N. (1998). *Cartographie hydrogéologique régionale et vulnérabilité des aquifères de la MRC de Portneuf* [M.Sc., Université du Québec, INRS - Géoressources].

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)].

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<sup>re</sup> éd.). Prentice Hall.

Gadd, N. R. (1971). *Pleistocene geology of the central St. Lawrence lowland with selected passage from an unpublished manuscript - The St. Lawrence Lowland, by J.W. Goldthwait* (Memoir 359). Departement of energy, mines and ressources, Geological survey of Canada.

Gadd, N. R. et Karrow, P. F. (1960). *Surficial geology, Trois-Rivières, St-Maurice, Champlain, Maskinonge and Nicolet Counties, Québec* (54-1959). <https://doi.org/10.4095/108651>

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/>

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. 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* [M.Sc., Université du Québec à Trois-Rivières].

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. (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.

Miled, C. (2020). *Investigation des hétérogénéités lithologiques et hydrauliques dans la zone de Mauricie-Est, Québec, Canada* [M.Sc., Université de Sfax].

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>

Morin, G. (1986). *Carte gîtologique de la région de Montauban (carte no 2038, carte du rapport MM 86-02)* [Feuille Notre-Dame-de-Montauban]. Échelle : 1/20 000. Ministère des ressources naturelles et de la faune, Direction générale de la Côte-Nord, Direction régionale de l'Exploration géologique et minérale.

- Morin, G., Québec (Province) et Direction générale de l'exploration géologique et minérale. (1987). *Gîtologie de la région de Montauban*. Gouvernement du Québec, Direction générale de l'exploration géologique et minérale.
- 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/gscof\\_3012\\_e\\_1995\\_mg1.pdf](ftp://ftp.geogratis.gc.ca/pub/nrcan_rncan/publications/ess_sst/205/205047/gscof_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 pseudotachylites in the St. Lawrence rift system of southern Quebec. *Geology*, 40(5), 443-446. <https://doi.org/10.1130/G32691.1>
- Occhietti, S. (1977). Stratigraphie du Wisconsinien de la région de Trois-Rivières-Shawinigan, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 31(3-4), 307-322. <https://doi.org/10.7202/1000280ar>
- Occhietti, S. (1980). *Le quaternaire de la région de Trois-Rivières-Shawinigan, Québec: contribution à la paléogéographie de la vallée moyenne du St-Laurent et corrélations stratigraphiques*. [s.n.] ; diffusion et commandes, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Occhietti, S. (2007a). The Saint-Narcisse morainic complex and early Younger Dryas events on the southeastern margin of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, 61(2-3), 89-117. <https://doi.org/10.7202/038987ar>
- Occhietti, S. (2007b). The Saint-Narcisse morainic complex and early Younger Dryas events on the southeastern margin of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, 61(2-3), 89-117. <https://doi.org/10.7202/038987ar>
- O'Neill, J. et Osborne, F. F. (1938a). *Carte géologique de la mine de Tetrault dans la région de Montauban-les-Mines, comté de Portneuf (Carte No 496 associée au rapport No 136)* Échelle : 1/3048.
- O'Neill, J. et Osborne, F. F. (1938b). *Géologie de la mine de Tetrault, Montauban-les-Mines, comté de Portneuf* (P.R. No. 136).
- 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>
- Plante, L. (1989). *Géologie de la région de Grondines - Montauban* (MB 89-14). Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service géologique de Québec.

- 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>
- Pyke, D. R. (1666). *Rapport géologique de la région de Montauban-Colbert, comtés de Champlain et de Portneuf* (R. P No 545) [Rapport préliminaire]. Ministère des Richesses naturelles.
- Pyke, D. R. (1965). *Carte géologique de la région de Montauban, comtés de Champlain, Joliette et portneuf (carte associée au rapport No 545)* Échelle : 1:63 360. Ministère des richesses naturelles, Service d'exploration géologique.
- 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>
- Rondot, J. (1978). *Géologie de la région de saint-Maurice* (DPV-594). Ministère des Richesses naturelles.
- 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>
- Saby, M., Larocque, M., Pinti, D. L., Barbecot, 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, 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].
- Trottier, A.-P., Brouard, E., Lajeunesse, P. et Normandeau, A. (2021). The morphosedimentary record of glacial to postglacial environmental changes in fjord-lake Mékinac and adjacent areas (southeastern Canadian Shield). *Geomorphology*, 376, 107565. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107565>
- Walker, R. G., James, N. P. et Geological Association of Canada. (1992). *Facies models: response to sea level change*. Geological Association of Canada (Association géologique du Canada).
- 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>