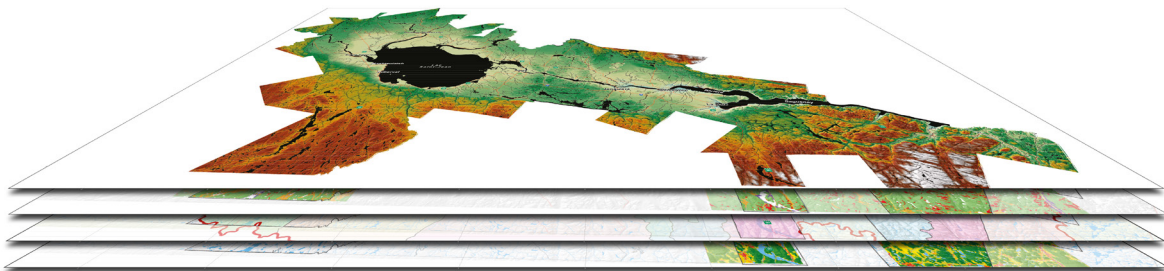




Développement durable,
Environnement,
Faune et Parcs
Québec

RÉSULTATS DU PROGRAMME D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES SUR LES EAUX SOUTERRAINES DU SAGUENAY – LAC-SAINT-JEAN



2013

PARTENAIRES RÉGIONAUX



ÉQUIPE PACES-SLSJ

Coordination : Alain Rouleau et Réal Daigneault

Professionnels en hydrogéologie : Julien Walter, Denis Germaneau, Marie-Line Tremblay

Coordination du rapport scientifique : Julien Walter

Responsable de la géomatique et des bases de données : Mélanie Lambert

Coordination de l'Atlas : Denis Germaneau

Graphisme : Claude Dallaire

Supervision des étudiants et stagiaires : Romain Chesnaux, Alain Rouleau, Pierre A. Cousineau et
Denis W. Roy

Géophysique : David Noël et Patrick Simard

Assistants de recherche : Annie Moisan et Nicolas Thouvignon

CITATION

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.

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 du Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ). Cette étude a été effectuée dans le cadre du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES), géré par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). Ce rapport présente les résultats des trois phases du PACES-SLSJ échelonnées sur quatre années de travail (2009 – 2013).

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 stratigraphiques de près de **9 000** forages ont été numérisées. Parmi ces derniers, **1 200** forages ont été extraits de rapports spécialisés en hydrogéologie et ont permis la numérisation de **260** résultats d'analyses chimiques, plus de **500** estimations de propriétés hydrauliques, d'environ **550** résultats de tamisage de dépôts granulaires, de **45** cartes piézométriques, de **58** coupes stratigraphiques et de plusieurs autres données pertinentes, telles des levés géophysiques, des estimations d'aire d'alimentation, des résultats d'essais au piézocône, par exemples. Aussi, deux protocoles garantissant la traçabilité et la fiabilité des données ont été rédigés et sont fournis avec ce rapport. Les données ont été intégrées dans une base de données spatiales implantée dans une *file géodatabase* d'ESRI.

La phase 2 a permis de mener des travaux d'investigation sur le terrain. Ils incluent plus de **100** levés géophysiques (combinaison des méthodes EMDT, résistivité électrique, sismique réfraction et géoradar), **12** diagraphies géophysiques en forage, **354** levés hydrogéochimiques, **274** levés de géologie structurale (seuil de Kénogami), **7** forages destructifs et **1** forage carotté (type rotasonic), **34** sondages au piézocône, **165** essais hydrauliques en forage et **1 356** levés hydrostratigraphiques; ces derniers ont été réalisés pour la plupart lors d'un projet du ministère des Ressources Naturelles, réalisé par l'UQAC et l'UQAM, visant la cartographie des dépôts quaternaires de surface (carte fournie avec ce rapport). De plus, ces travaux ont permis l'installation de **21** piézomètres dans les dépôts meubles (3 nids et 14 individuels) et de **4** piézomètres dans le roc. Après la phase 2, la base de données spatiales contenait plus de **12 000** points d'information.

La phase 3 a mené à la synthèse de l'information sous la forme de **29 cartes** (format A0). Les cartes représentent les milieux naturel et humain, et les contextes géologiques (roc et dépôts meubles). L'interprétation de **134 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 du SLSJ. 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-SLSJ. Enfin, certaines cartes montrent un premier portrait de l'utilisation et de la qualité de l'eau souterraine. Les protocoles fournis avec ce rapport détaillent techniquement l'élaboration des livrables cartographiques du PACES-SLSJ. Des recommandations ont été formulées spécifiquement aux suivis des résultats du PACES-SLSJ, 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-SLSJ a montré que dans la région :

- 13% de l'eau utilisée provient d'eau souterraine et 87% d'eau de surface;

- 34% de la population régionale est alimentée en eau potable à partir d'eau souterraine (13% par des installations privées et 21% à partir de réseaux municipaux);
- 50% de l'eau souterraine régionale est utilisée pour un usage domestique, 46% pour un usage industriel et près de 4% pour usage agricole;

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 numériques à références spatiales;
- Le territoire municipalisé présente plusieurs accumulations de dépôts de surface (sable et argile) pouvant dépasser 180 m d'épaisseur en divers endroits du territoire étudié;
- Les dépôts glaciaires sont privilégiés pour l'alimentation en eau potable des municipalités et plusieurs secteurs sont susceptibles d'abriter d'importants réservoirs encore non identifiés, notamment à l'ouest et au nord-ouest du lac Saint-Jean;
- 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 10 m à partir de la surface);
- L'existence d'au moins 2 nappes d'eau souterraine dans les dépôts granulaires semble commune, notamment aux endroits où sont trouvées les imposantes accumulations sédimentaires d'origine deltaïque associées aux grandes rivières de la région;
- D'importantes variations de la topographie de surface suggère l'existence de 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);
- L'étendue des shales et des calcaires ordoviciens a été modifiée dans cette étude et ces unités sont interprétées maintenant comme présentes au nord du lac Saint-Jean sous d'épais dépôts meubles (supérieurs à 50 m);
- 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;
- La carte de recharge montre des lacunes d'informations au droit des milieux humides et des tourbières communément associés aux dépôts granulaires deltaïques dont les valeurs de recharge calculées dans le cadre du PACES-SLSJ sont les plus importantes (avec celles des sables et graviers fluvioglaciers qui affleurent);
- Le portrait de la qualité de l'eau révèle globalement une eau souterraine douce de bonne qualité. Cependant, il révèle aussi qu'environ 25% des échantillons prélevés dépassent les critères esthétiques pour le manganèse, souvent en association avec des dépassements en fer; qu'environ 20% des échantillons dépassent la norme pour les fluorures; que les fluorures sont généralement plus concentrés dans les échantillons provenant du socle rocheux; qu'il existe localement une eau souterraine salée dont plusieurs occurrences ont été identifiées autour du lac Saint-Jean.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été rendu possible par la contribution financière du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), ainsi que des partenaires suivants : la Conférence régionale des Élus du Saguenay-Lac-Saint-Jean (CRÉ-SLSJ), la Ville de Saguenay, la MRC du Domaine-du-Roy, la MRC du Fjord-du-Saguenay, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC de Maria-Chapdelaine, le conseil de bande Pekuakamiulnuatsh et l'Université du Québec à Chicoutimi. Le comité de gestion du projet (CONCERT'EAU) a réuni des représentants de chacun de ces partenaires financiers auxquels se sont ajoutés des représentants du ministère des Ressources naturelles (MRN), du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et de l'Agence de la santé et des services sociaux (ASSS) du SLSJ.

Le comité CONCERT'EAU a été présidé par Madame Ursula Larouche (CRRNT – CRÉ-SLSJ) et comprenait les membres suivants: Nathalie Audet (MRC Lac-Saint-Jean-Est), Danny Bouchard (MRC Domaine-du-Roy), Jacques Potvin (MRC Maria-Chapdelaine), Steeve Lemyre (MRC du Fjord-du-Saguenay), Luc Desbiens (Ville de Saguenay), David Cleary (Pekuakamiulnuatsh Takuhikan), Anne Guilbert (MAPAQ), Omer Gauthier (MRN), David Dufour et Pierre A. Gauthier (MAMROT), Michel Savard (ASSS) ainsi que l'équipe du CERM/UQAC.

Des données importantes ont été fournies par les partenaires mentionnés plus haut et par plusieurs autres organismes gouvernementaux et paragonnementaux, notamment le ministère des Transports du Québec et l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA). Il faut aussi souligner la collaboration précieuse des municipalités de la région qui ont fourni des données riches en informations hydrogéologiques.

Notons que l'ensemble du projet a été réalisé dans un cadre de collaboration étroite avec tous les autres représentants des projets PACES au Québec regroupés au sein du GRIES (Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines) et du RQES (Réseau québécois sur les eaux souterraines) ainsi que les experts du MDDEFP. De plus, il faut souligner l'excellente collaboration offerte par le Centre de géomatique du Québec (CGQ) dans la réalisation de plusieurs livrables.

Les auteurs de ce rapport tiennent à remercier les professeurs Jacques Carignan de l'UQAC et Robert-André Daigneault de l'UQAM, ainsi que Jean Roy (consultant en géophysique), Amélia J. Fernandes (IG-SP, Brésil) et Roger H. Morin (USGS-Denver, CO) pour leur contribution scientifique au projet. Le personnel du CERM, Michel Tremblay et Sonia Dorval ont assuré la gestion financière du projet. Nous tenons à souligner également la contribution de plusieurs personnes au projet soit les stagiaires, Cécile Baudement, Vianney Dugrain, Ugo Fillastre et Jacques Gautier; les étudiants de cycles supérieurs, Sandra Richard, Annie-Pier Elliott, Étienne Hudon-Gagnon, Daphne Silva Pino; les étudiants de 1^{er} cycle, Marie-France Beaulieu, Emmanuelle B. Gagné, Kaïssa-Loriane Blessy, Mario Bolduc, Maxime Bouchard, Martine Chabot, Gabriel Dalpé, François-Joseph Eteta'a Tchoungui, Samuel Gagnon, Hugues Guérin-Tremblay, Viviane Lavoie, Sophie Maltais, Marie-Eve Parr, Léo Poignant-Molina, Christophe Potvin-Doucet et Cynthia Vigneault.

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE PACES-SLSJ.....	ii
CITATION	ii
RÉSUMÉ.....	iii
REMERCIEMENTS.....	v
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xvii
LISTE DES PHOTOS.....	xix
LISTE DES ANNEXES	xx
LISTE DES ANNEXES NUMÉRIQUES.....	xx
LISTE DES CARTES EN FORMAT A0	xxi
LISTE DES PROTOCOLES.....	xxii
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Objectifs.....	1
1.2 Équipe de réalisation et partenaires	2
1.3 Présentation du territoire à l'étude	5
1.3.1 Contexte géologique régional	5
1.3.2 Milieu naturel	15
1.3.3 Milieu humain.....	18
1.4 État des connaissances hydrogéologiques régionales	21
1.4.1 Stratigraphie et propriétés hydrauliques des formations aquifères identifiées	21
1.4.2 Qualité de l'eau souterraine.....	28
1.4.3 Autres données.....	28
1.4.4 En résumé.....	28
1.5 Raison d'être du PACES-SLSJ	29
1.5.1 La protection des eaux souterraines	30
1.5.2 Conflits d'usage	30
1.5.3 La qualité naturelle des eaux souterraines et la santé.....	30
1.5.4 Changements climatiques et besoins en eau	30
1.5.5 Un outil d'aide à la décision pour la gestion des eaux souterraines	31
2 ACQUISITION DES DONNÉES ET CARACTÉRISATION.....	32
2.1 Collecte de l'information existante et sources des données	32
2.1.1 Types de données existantes.....	32

2.1.2	Type de données provenant des rapports obtenus des municipalités	40
2.2	Travaux de caractérisation hydrogéologique	49
2.2.1	Levés géophysiques	49
2.2.2	Diagraphie géophysique en forage dans le socle rocheux	56
2.2.3	Échantillonnage hydrogéochimique	57
2.2.4	Levés hydrostratigraphiques	59
2.2.5	Levés de géologie structurale	61
2.2.6	Forages et installation de piézomètres de 2 à 6 pouces de diamètre	63
2.2.7	Sondages au piézocône et installation de piézomètres de 1 pouce de diamètre	65
2.2.8	Essais hydrauliques	67
2.3	Saisie, validation et archivage des données	69
2.3.1	Numérisation des données existantes	69
2.3.2	Numérisation des données acquises sur le terrain (caractérisation hydrogéologique)	70
2.4	La base de données spatiales	72
2.4.1	Modèle d’implantation	72
2.4.2	Les métadonnées	72
3	CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX	75
3.1	Les milieux aquifères régionaux	75
3.1.1	Les milieux aquifères de roc fracturé	75
3.1.2	Les milieux aquifères de type granulaire	82
3.2	Données stratigraphiques	93
3.2.1	Les informations collectées sur le terrain	93
3.2.2	Simplification de la stratigraphie	109
3.2.3	Les coupes stratigraphiques	110
3.3	Cadre stratigraphique régional	115
3.3.1	Épaisseur des dépôts meubles	115
3.3.2	Topographie du roc	124
3.3.3	Limites et améliorations	126
3.4	Limites des milieux aquifères régionaux	126
3.4.1	Intégration en plan des données de stratigraphie des dépôts de surface	127
3.4.2	Résultats	129
4	CARACTÉRISTIQUES DES AQUIFÈRES ET DES EAUX SOUTERRAINES	134
4.1	Propriétés hydrauliques	135

4.1.1	Types de données disponibles.....	136
4.1.2	Sélection des données.....	137
4.1.3	Traitement et principaux résultats statistiques	138
4.1.4	Synthèses des résultats et liens possibles avec les contextes géologiques	140
4.2	Piézométrie régionale	143
4.2.1	Sources des données	143
4.2.2	Distribution spatiale	144
4.2.3	Distribution temporelle des données piézométriques.....	147
4.2.4	Méthode d'interpolation.....	148
4.2.5	Résultats et discussion	149
4.3	Recharge et résurgence des milieux aquifères régionaux.....	153
4.3.1	Méthode du bilan hydrique pour l'estimation de la recharge	153
4.3.2	Quantification de la recharge moyenne régionale.....	156
4.3.3	Zones de recharges préférentielles et de résurgence	158
4.3.4	Limites d'utilisation de la carte	160
4.4	Vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination de surface	160
4.4.1	Intrants du modèle DRASTIC et pondération	162
4.4.2	Carte DRASTIC.....	173
4.4.3	Limites d'utilisation de la carte	174
4.5	Activités anthropiques.....	176
4.5.1	Aléa versus risque.....	176
4.5.2	Données disponibles.....	177
4.5.3	Représentation des données et discussion	177
5	L'EAU SOUTERRAINE COMME SOURCE D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	180
5.1	Qualité de l'eau souterraine.....	180
5.1.1	Données hydrogéochimiques.....	180
5.1.2	Contrôle de la qualité des données (balance ionique).....	181
5.1.3	Statistiques descriptives des analyses d'eau souterraine	183
5.1.4	Types d'eau.....	186
5.1.5	Corrélation entre les milieux aquifères et les types d'eau.....	187
5.2	Potabilité de l'eau souterraine	191
5.2.1	Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques (OE).....	192
5.2.2	Qualité de l'eau en fonction des concentrations maximales acceptables (CMA).....	197
5.2.3	Remarques générales sur la potabilité de l'eau	198

5.3	Utilisation de l'eau.....	199
5.3.1	Données disponibles.....	200
5.3.2	Traitement des données.....	200
5.3.3	Présentation des résultats.....	202
5.3.4	Exploitation des principaux milieux aquifères à des fins d'alimentation en eau potable	209
5.3.5	Faits saillants – les statistiques.....	218
5.3.6	Conclusion sur l'utilisation de l'eau en lien avec l'exploitation des milieux aquifères.....	219
6	CONCLUSIONS.....	221
6.1	Territoire d'étude	221
6.2	Le roc fracturé d'âge précambrien et ordovicien.....	222
6.2.1	Propriétés hydrauliques des milieux aquifères de roc fracturé	222
6.2.2	Topographie du roc et épaisseur des dépôts de surface	223
6.3	Les dépôts granulaires d'âge quaternaire	223
6.3.1	Stratigraphie simplifiée	223
6.3.2	Propriétés hydrauliques des milieux aquifères de type granulaire.....	224
6.4	Contextes hydrogéologiques régionaux.....	224
6.5	Piézométrie régionale et zones de résurgence	225
6.6	Zones préférentielles de recharge.....	225
6.7	Vulnérabilité selon DRASTIC et activités anthropiques.....	226
6.8	Qualité de l'eau souterraine.....	227
7	RECOMMANDATIONS	228
7.1	Recommandations spécifiques aux suivis des résultats du PACES SLSJ	228
7.1.1	Suivi géochimique des puits individuels.....	228
7.1.2	Mise à jour de la base de données	229
7.1.3	Cartographie fine des grands aquifères régionaux	229
7.1.4	Zones de recharge préférentielle	230
7.1.5	Inventaire des résurgences	231
7.1.6	Eau souterraine et exploitation de tourbières	231
7.1.7	Estimation de l'épaisseur de dépôt et la topographie du roc.....	231
7.1.8	Équipements pour le suivi de la ressource.....	232
7.1.9	Inventaire de l'utilisation de l'eau.....	233
7.1.10	Activités anthropiques.....	233
7.2	Recommandations générales relatives aux bonnes pratiques pour les forages et pour la détermination de la vulnérabilité.....	234

7.2.1	Une évolution nécessaire vers de meilleures pratiques de forages et un meilleur contrôle	234
7.2.2	Recommandation pour la définition de la vulnérabilité des aquifères	238
7.3	Recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine.....	239
7.3.1	Structure de gestion régionale de la ressource en eau souterraine	239
7.3.2	Capacités de développement et de gestion des données sur les eaux souterraines au SLSJ	240
RÉFÉRENCES		242
ANNEXES.....		249

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Organigramme du partenariat régional	4
Figure 1-2: Localisation de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et de la Province de Grenville parmi les provinces géologiques du Québec.	6
Figure 1-3: Compilation de la géologie régionale selon Avramtchev, 1993.....	7
Figure 1-4: Carte structurale de la région de Chicoutimi (Tirée de Hébert, 2004).....	8
Figure 1-5: Géologie des formations superficielles d'après Lasalle et Tremblay (1978).....	11
Figure 1-6: Retrait glaciaire dans la région du SLSJ (adaptée de Lasalle et Tremblay, 1978).	14
Figure 1-7: Annotations du modèle numérique d'altitude du Saguenay-Lac-Saint-Jean modifié d'après Roy (2009).	16
Figure 1-8 : Coupes stratigraphiques A-A' et B-B' tirées de Dessureault (1975).....	23
Figure 1-9 : Coupes stratigraphiques C-C' et D-D' tirées de Dessureault (1975).	24
Figure 1-10 : Coupes stratigraphiques E-E' et F-F' tirées de Dessureault (1975).....	25
Figure 1-11: Localisation des coupes stratigraphiques tirées des rapports de Dessureault (1975) et de LaSalle et Tremblay (1978).	26
Figure 1-12: Coupes stratigraphiques tirées de LaSalle et Tremblay (1978).....	27
Figure 2-1 : Localisation des forages géologiques extraits des compilations géoscientifiques du Système d'information géologique et minière (SIGEOM).....	34
Figure 2-2 : Localisation des affleurements extraits du SIGEOM.	35
Figure 2-3 : Distribution spatiale des forages décrits dans la compilation GUHS.	37
Figure 2-4 : Distribution spatiale des forages décrits dans le Système d'information hydrogéologique (SIH).	39
Figure 2-5 : Distribution spatiale des forages décrits dans le portail géotechnique du ministère des Transports du Québec (MTQ).	39
Figure 2-6 : Distribution spatiale des forages provenant des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.....	42
Figure 2-7 : Localisation des données hydrogéochimiques extraites des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.....	43
Figure 2-8 : Localisation des propriétés hydrauliques obtenues lors d'essais de pompage présentés dans les rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.	44
Figure 2-9 : Localisation des résultats d'essais de perméabilité extraits des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.....	44
Figure 2-10 : Localisation des résultats d'analyse granulométrique extraits des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.....	45
Figure 2-11 : Localisation des cartes piézométriques numérisées à partir des cartes présentées dans les rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.	46
Figure 2-12 : Localisation des résultats d'essais au piézocône extraits des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.....	46
Figure 2-13 : Localisation des aires d'alimentation dont les données ont été numérisées à partir des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.	47
Figure 2-14 : Localisation des levés géophysiques dont les données ont été extraites des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.	48
Figure 2-15 : Localisation des coupes stratigraphiques.	49
Figure 2-16 : Localisation des levés géophysiques réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ.	50
Figure 2-17 : Exemple de tomographie électrique (RES6L2 – Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).....	52
Figure 2-18 : Exemple de pseudo-section (du sud vers le nord) de résistivité électrique obtenue par TDEM (NTS6L1 - Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).....	53

Figure 2-19 : Levé de sismique réfraction (SRS3L2 – Labrecque site 3).	54
Figure 2-20 : Localisation des puits ayant fait l’objet d’une diaggraphie géophysique en forage.	57
Figure 2-21 : Répartition géographique des échantillons d’eau souterraine.....	58
Figure 2-22 : Répartition géographique des levés hydrostratigraphiques.....	61
Figure 2-23 : Localisation des stations de levés de géologie structurale.	63
Figure 2-24 : localisation des forages destructifs et de type rotasonic.....	65
Figure 2-25 : Localisation des essais au piézocône et des piézomètres de 1 pouce de diamètre.	67
Figure 2-26 : localisation des essais de pompage réalisés lors des campagnes d’échantillonnage hydrogéochimique.....	68
Figure 2-27 : Diagramme schématique de la procédure de numérisation et d’archivage des documents existants.	69
Figure 2-28 : Formulaire numérique de saisie Access; exemple de la campagne d’échantillonnage hydrogéochimique.....	71
Figure 2-29 : Modèle d’implantation de la base de données spatiale.	74
Figure 3-1 : Nouvelle interprétation de l’étendue des calcaires ordoviciens sur le territoire municipalisé du SLSJ.....	77
Figure 3-2 : Principaux éléments de géologie structurale et interprétation linéamentaire.	79
Figure 3-3 : Distribution de la direction des coupes rocheuses exposées (adapté de Pino, 2012).	81
Figure 3-4 : Projection stéréographique des contours de densité des pôles de joints mesurés sur le seuil de Kénogami durant le levé général (adapté de Pino, 2012).	81
Figure 3-5 : Colonne stratigraphique adaptée de la légende des formations superficielles (Parent et al., 2010) et annotée pour les fins du PACES-SLSJ.	84
Figure 3-6 : Localisation des eskers cartographiés par R.A. Daigneault et al. (2011).	87
Figure 3-7 : Localisation des travaux d’investigation dans le secteur de Saint-Méthode – Site S35.....	94
Figure 3-8 : Pseudo-section de la résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisés au site S35 (secteur Saint-Méthode).	95
Figure 3-9 : Localisation des travaux d’investigation dans le secteur de Vauvert – Site S104.....	97
Figure 3-10 : Localisation des travaux d’investigation dans le secteur de Saint-Eugène-d’Argentenay – Site S103.	99
Figure 3-11 : Localisation des travaux d’investigation dans le secteur de Saint-Ludger-de-Milot – Site S16.....	100
Figure 3-12 : Localisation des travaux d’investigation dans le secteur de Labrecque – Site S24.	102
Figure 3-13 : Pseudo-section de la résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisés au site S24 (secteur Labrecque).	103
Figure 3-14 : Localisation des travaux d’investigation dans le secteur de Saint-David-de-Falardeau – Site S18.	105
Figure 3-15 : Pseudo-section de résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisés au site S18 (secteur Saint-David-de-Falardeau).	106
Figure 3-16 : Localisation des travaux d’investigation du secteur de Métabetchouan – Site S6.	107
Figure 3-17 : Pseudo-section de la résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisé au site S6 (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).	108

Figure 3-18 : Colonne stratigraphiques conceptuelles présentant la stratigraphie simplifiée des sites investigués dans le cadre des travaux de terrain du PACES-SLSJ. La légende se trouve à la Figure 3-34.	110
Figure 3-19 : Localisation en plan des traces des 134 coupes stratigraphiques interprétées dans le cadre du PACES-SLSJ.	111
Figure 3-20 : Gabarit utilisé pour l'interprétation manuelle des coupes stratigraphiques du PACES-SLSJ (exagération verticale de 30x).....	113
Figure 3-21 : Coupe stratigraphique interprétée et numérisée dans le logiciel ArcMap (exagération verticale de 30x).....	114
Figure 3-22 : Représentation sous forme de diagrammes barrières des 134 coupes stratigraphiques interprétées.	115
Figure 3-23 : Répartition des stations possédant une valeur d'épaisseur des dépôts (en haut) et densité des stations possédant une valeur d'épaisseur de dépôts (en bas).	117
Figure 3-24 : Localisation des affleurements pour la région SLSJ	118
Figure 3-25 : Forages virtuels créés le long d'une coupe stratigraphique (exagération verticale de 30x).	119
Figure 3-26 : Localisation des points de contrôle sélectionnés pour la 1 ^{ère} validation	121
Figure 3-27 : Validation croisée des résultats d'interpolation au droit des points de contrôle sélectionnés.....	121
Figure 3-28 : Localisation des points de contrôle indépendants de l'interpolation utilisés pour la 2 ^e validation.	123
Figure 3-29 : Validation croisée des résultats d'interpolation au droit des points de contrôle indépendants de la 2 ^e validation croisée.	123
Figure 3-30 : Délimitation en surface des milieux aquifères régionaux de type granulaire groupés en 3 unités stratigraphiques simplifiées.....	127
Figure 3-31 : Compilation des données existantes (cas des milieux aquifères fluvioglaciaires).....	128
Figure 3-32 : Interprétations locales.	129
Figure 3-33 : Compilation régionale des milieux aquifères présumés.	129
Figure 3-34 : Coupe conceptuelle des contextes aquifères régionaux créée à partir des informations collectées lors des travaux de terrain du PACES-SLSJ, des coupes stratigraphiques et des cartes géologiques.	132
Figure 3-35 : Bloc diagramme conceptuel des milieux aquifères du SLSJ.....	133
Figure 4-1 : Coupe conceptuelle des conditions hydrogéologiques régionales illustrant les zones de recharge et de résurgence théoriques, les lignes d'écoulements schématiques de l'eau souterraine et les cas de nappes libres et confinées pouvant conduire localement à des conditions artésiennes.....	134
Figure 4-2 : Schémas montrant la porosité primaire et la porosité secondaire ; la taille du domaine représenté est de l'ordre du cm pour la porosité primaire et du mx10 pour la porosité secondaire (modifiée de Banton et Bangoy, 1999).	135
Figure 4-3 : Boîtes à moustaches illustrant les données statistiques de la transmissivité (m ² /s) des aquifères fracturés.	139
Figure 4-4 : Boîtes à moustaches illustrant les données statistiques des propriétés hydrauliques (transmissivité m ² /s, conductivité hydraulique m/s) des aquifères granulaires.	140
Figure 4-5 : Localisation des valeurs de transmissivité (provenant de l'analyse d'essais de pompage) par rapport aux limites des aquifères fracturés (carte #18A).	141

Figure 4-6 : Localisation par rapport aux limites des aquifères granulaires des valeurs de transmissivité obtenues par essais de pompage.....	142
Figure 4-7 : Précision d'interpolation suivant la densité et le semi de points (modifié de Dugrain, 2011).	145
Figure 4-8 : Répartition des points de mesure de la piézométrie et contour de densité des données piézométriques de la base de données spatiales du PACES-SLSJ.	146
Figure 4-9 : Répartition des points de mesure d'élévation de l'hydrographie et contour de densité des données d'élévation hydrographique de la base de données spatiales du PACES-SLSJ.	147
Figure 4-10 : Histogramme des quantités de mesures piézométriques disponibles par années.	148
Figure 4-11 : Comparaison de l'interpolation avec les valeurs de piézométries dans le roc (a) dans les dépôts (b) et cumulées (roc et dépôts) (c).	149
Figure 4-12 : Distribution des valeurs de piézométrie par gammes de profondeurs mesurées par rapport au niveau de la surface topographique.	150
Figure 4-13 : Directions des écoulements régionaux de l'eau souterraine.....	151
Figure 4-14 : Représentation schématique d'une zone de résurgence théorique obtenue par interpolation de la surface piézométrique dans une zone de rupture de pente...	152
Figure 4-15 : Pentas de la surface piézométrique. Les zones de résurgence interprétées sont : (a) le Fjord du Saguenay, (b) le seuil topographique de Cap-Éternité et (c) les murs nord et sud du Graben du Saguenay.....	152
Figure 4-16 : Composantes du bilan hydrique (modifiée de Baudement, 2012).	154
Figure 4-17 : Méthode de calcul de la recharge journalière par bilan hydrique.....	156
Figure 4-18 : Répartition des valeurs ponctuelles des apports verticaux estimés par le CEHQ. .	157
Figure 4-19 : Moyennes mobiles sur 10ans des valeurs estimées de la recharge annuelle (Pdc = point de contrôle).	158
Figure 4-20 : Délimitation des zones de recharge préférentielle.....	159
Figure 4-21 : Représentation schématique de la méthode DRASTIC et de la pondération des paramètres à la base de son évaluation (modifié de Franklin et Turner, 2009). ...	161
Figure 4-22 : Carte de la profondeur de l'eau.	163
Figure 4-23 : Cote D déterminée en fonction de la carte de la profondeur de la nappe.....	163
Figure 4-24 : Image matricielle présentant la recharge moyenne sur une période de 10 ans. ...	164
Figure 4-25 : Cote R déterminée en fonction de la quantité de recharge efficace.....	165
Figure 4-26 : image matricielle présentant le premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface.....	166
Figure 4-27 : Cote A déterminée en fonction du premier milieu aquifère intercepté.....	167
Figure 4-28 : Image matricielle des types de sol issus de la carte pédologique.	168
Figure 4-29 : Cote S déterminée en fonction de la nature du sol.	169
Figure 4-30 : Image matricielle de la pente (%) du sol.....	170
Figure 4-31 : Cote T déterminée en fonction du pourcentage de la pente.	170
Figure 4-32 : Image matricielle des unités géologiques (roc et dépôts meubles) correspondant à la zone vadose.....	171
Figure 4-33 : Cote I déterminée en fonction du milieu géologique (roc ou dépôts meubles) correspondant à la zone vadose.....	172
Figure 4-34 : Cote C déterminée en fonction de la conductivité hydraulique du premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface.....	173
Figure 4-35 : Relativité de la vulnérabilité DRASTIC.....	175

Figure 4-36 : Activités anthropiques (regroupement des zones agricoles et des zones urbaines) extraites de la carte #7 – Occupation du sol	177
Figure 4-37 : Combinaison des activités anthropiques (zones agricoles et urbaines) extraites de la carte #7 – Occupation du sol) et de la carte de vulnérabilité selon l'indice DRASTIC élaborée dans le cadre du PACES-SLSJ.....	178
Figure 5-1 : Répartition des échantillons d'eau souterraine en fonction du type de milieu aquifère échantillonné.....	181
Figure 5-2 : Histogramme des fréquences (nombre d'échantillons) de l'erreur sur la balance ionique.....	182
Figure 5-3 : Diagramme de Durov des échantillons collectés dans le cadre du PACES-SLSJ.....	186
Figure 5-4 : Proportion entre le calcium et le sodium des échantillons collectés dans le cadre du PACES-SLSJ et localisés dans le roc fracturé (A) et en milieu granulaire (B).	188
Figure 5-5 : Répartition des groupes d'eau en fonction des milieux aquifères de roc fracturé (A) et des milieux aquifères granulaires (B).....	189
Figure 5-6 : Répartition des concentrations en manganèse (Mn) des échantillons d'eau souterraine collectés dans le cadre du PACES-SLSJ dans les milieux aquifères fracturés (A) et granulaires (B).	196
Figure 5-7 : Répartition des concentrations en fluorures (F) des échantillons d'eau souterraine collectés dans le cadre du PACES-SLSJ dans les milieux aquifères fracturés (A) et granulaires (B).	198
Figure 5-8 : Proportion par entité administrative régionale de la population et de l'utilisation du volume régional d'eau (eau souterraine et eau de surface).	202
Figure 5-9 : Proportion par municipalité du volume régional d'eau utilisé (eau souterraine et eau de surface).	203
Figure 5-10 : Proportion des types d'eau utilisés au SLSJ (eau souterraine et eau de surface)...	203
Figure 5-11 : Proportion par entité administrative régionale de la population et de l'utilisation du volume régional d'eau souterraine.	204
Figure 5-12 : Utilisation de l'eau souterraine en fonction du volume régional d'eau (souterraine et de surface) utilisé par les municipalités du SLSJ et en fonction de la population de chacune des municipalités (proportionnelle à la grosseur de la bulle).	205
Figure 5-13 : Proportion par catégorie d'usage du volume d'eau souterraine prélevé dans la région.....	206
Figure 5-14 : Proportion par entité administrative régionale de la population et de l'utilisation de l'eau souterraine selon les trois catégories d'usage définies dans le cadre du PACES-SLSJ.....	207
Figure 5-15 : Proportion par municipalité du volume régional d'eau souterraine utilisé pour répondre aux besoins des industries exploitant 75m ³ /jour et plus au SLSJ.....	208
Figure 5-16 : Proportion par municipalité du volume régional d'eau souterraine utilisé pour répondre aux besoins domestiques (alimentation en eau potable).	208
Figure 5-17 : Proportion de la population du SLSJ présentée par types d'alimentation en eau potable (réseau municipal ou puits individuel) et par source d'eau (eau de surface ou eau souterraine).	209
Figure 5-18 : Localisation des puits municipaux captant l'eau souterraine d'aquifère rocheux fracturé.	210
Figure 5-19 : Localisation des puits d'alimentation en eau potable alimentant les réseaux municipaux sur la carte des limites des milieux aquifères granulaires régionaux	

(A) et sur la carte d'épaisseur des dépôts de surface (B) réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ.....	212
Figure 5-20 : Localisation des puits d'alimentation en eau potable alimentant les réseaux municipaux et captant l'eau souterraine provenant d'aquifère granulaire d'origine fluvioglaciale.	213
Figure 5-21 : Localisation des puits d'alimentation en eau potable alimentant les réseaux municipaux et captant l'eau souterraine provenant d'aquifères granulaires constitués de sables hétérogènes de surface.....	215

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1—1 : Présentation des membres de l'équipe et de leur rôle.	3
Tableau 1—2 : Liste des partenaires.	4
Tableau 1—3 : Roches sédimentaires du Saguenay-Lac-Saint-Jean (adapté de Desbiens et Lespérance, 1989).	10
Tableau 1—4 : Sommaire des formations quaternaires identifiées par Lasalle et Tremblay (1978; adapté de Lasalle et Tremblay, 1978).	12
Tableau 1—5 : Résumé des principales caractéristiques des rivières et lacs du SLSJ.	17
Tableau 1—6 : Principales caractéristiques du réseau routier au SLSJ.	18
Tableau 1—7 : Population et superficie des municipalités du SLSJ par MRC.	20
Tableau 2—1 : Couches numériques correspondant aux données sur le milieu naturel.	33
Tableau 2—2 : Couches numériques correspondant aux données sur le milieu humain.	33
Tableau 2—3 : Rapports obtenus des municipalités pour lesquels de l'information hydrogéologique est intégrée à la base de données numériques spatiales.	41
Tableau 2—4 : Types de données et nombres d'éléments numérisés à partir des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités	41
Tableau 2—5 : Sommaire des levés de géoradar.	55
Tableau 2—6 : Sommaire des levés de résistivimètre.	55
Tableau 2—7 : Sommaire des levés de sismique réfraction.	55
Tableau 2—8 : Sommaire des levés TDEM.	56
Tableau 2—9 : Liste des paramètres mesurés in situ lors de la campagne d'échantillonnage des eaux souterraines du PACES-SLSJ.	59
Tableau 2—10 : Liste des paramètres analysés en laboratoire lors de la campagne d'échantillonnage des eaux souterraines du PACES-SLSJ.	59
Tableau 2—11 : Sommaire des levés de géologie structurale.	62
Tableau 2—12 : Résumé des installations piézométriques.	65
Tableau 3—1 : Principales familles de joints sur le seuil de Kénogami (tirée de Pino, 2012).	82
Tableau 3—2 : Travaux d'investigation réalisés dans le secteur Saint-Méthode – Station S35	94
Tableau 3—3 : Travaux d'investigation réalisés dans le secteur Vauvert – Station S104.	96
Tableau 3—4 : Travaux d'investigation réalisés dans la municipalité de Saint-Eugène- d'Argentenay – Station S103.	98
Tableau 3—5 : Travaux d'investigation réalisés dans la municipalité de Saint-Ludger-de- Milot – Station S16.	100
Tableau 3—6 : Travaux d'investigation réalisés dans le secteur Labrecque – Stations S3 et S24.	101
Tableau 3—7 : Travaux d'investigation réalisés dans la municipalité de Saint-David-de- Falardeau – Station S18.	104
Tableau 3—8 : Travaux d'investigation réalisés dans la municipalité de Métabetchouan – Lac-à-la-Croix – Station S6.	107
Tableau 3—9 : Proportion des stations utilisées lors de l'interprétation des coupes stratigraphiques selon leur source.	112
Tableau 3—10 : Résumé des paramètres et des données d'interpolation par Krigeage de l'épaisseur des dépôts meubles.	119
Tableau 3—11 : Valeurs obtenues pour la validation des modèles de l'épaisseur des dépôts meubles.	120
Tableau 4—1 : Nombre de données disponibles par type d'aquifère selon les différentes méthodes d'estimation des propriétés hydrauliques.	136

Tableau 4—2 : Données statistiques sur les valeurs de transmissivité (m^2/s) des aquifères fracturés.....	138
Tableau 4—3 : Données statistiques sur les valeurs de propriétés hydrauliques des aquifères granulaires.	140
Tableau 4—4 : Cote DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau.....	163
Tableau 4—5 : Cote DRASTIC pour chaque classe de recharge efficace.....	164
Tableau 4—6 : Cote DRASTIC pour chaque classe de type d'aquifère en milieu fracturé.	166
Tableau 4—7 : Cote DRASTIC pour chaque classe de type d'aquifère granulaire du SLSJ.....	166
Tableau 4—8 : Cote DRASTIC pour chaque type de sol.	167
Tableau 4—9 : Cote DRASTIC pour chaque type de sol du SLSJ.....	168
Tableau 4—10 : Cote T de DRASTIC pour chaque classe de pente.	170
Tableau 4—11 : Cote DRASTIC conventionnelle selon la nature de la zone vadose.....	171
Tableau 4—12 : Cote DRASTIC adaptée selon les milieux rencontrés dans la zone vadose du SLSJ.....	172
Tableau 4—13 : Valeurs de conductivités obtenues dans le cadres du PACES-SLSJ.	173
Tableau 4—14 : Cote DRASTIC pour chaque classe de conductivité.....	173
Tableau 5—1 : Description des populations d'échantillons définies d'après les valeurs de balance ionique calculées à partir de deux analyses d'une même station.	183
Tableau 5—2 : Résultats statistiques des données hydrogéochimiques obtenues dans le cadre du PACES-SLSJ.	185
Tableau 5—3 : Normes et recommandations de l'eau potable utilisées dans le cadre des projets PACES (tiré du protocole P1).	192
Tableau 5—4 : Dépassements des objectifs esthétiques pour les ions majeurs et les paramètres mesurés in situ (Recommandations sur la qualité de l'eau potable au Canada).....	193
Tableau 5—5 : Dépassements des objectifs esthétiques pour les ions métalliques (Recommandations sur la qualité de l'eau potable au Canada).....	194
Tableau 5—6 : Dépassements des maximum acceptables (Règlement sur la qualité de l'eau potable).....	197

LISTE DES PHOTOS

Photo 2-1 : Sondage électromagnétique à Labrecque. Une boucle émettrice et une boucle réceptrice sont installées au sol et branchées sur l'appareil d'acquisition TDEM.....	52
Photo 2-2 : Diagraphie géophysique en forage à Hébertville, dans un puits inutilisé.	56
Photo 2-3 : Prélèvement d'échantillon d'eau souterraine chez un résident de la région	58
Photo 2-4 : Coupes stratigraphiques observées par l'équipe de cartographie des dépôts de surface.....	60
Photo 2-5 : Levés structuraux sur un affleurement à l'intérieur des limites du seuil de Kénogami.....	62
Photo 2-6 : Forage destructif et installation de piézomètres (à gauche de la photo) dans le secteur de Saint-Félicien, arrondissement de Saint-Méthode.	64
Photo 2-7 : Levé au piézocône réalisé dans le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.....	66
Photo 2-8 : Piézomètre de 5 cm de diamètre captant une nappe captive artésienne jaillissante sur le site d'investigation de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.	66
Photo 2-9 : Mesure du rabattement et de la remontée occasionnés par la purge du puits préalable à l'échantillonnage hydrogéochimique.....	68
Photo 3-1 : Till massif sous une couche d'argile glaciomarine observé le long de la rivière aux Vases.....	85
Photo 3-2 : Till d'ablation observé sur les hautes terres à Saint-Eugène.....	85
Photo 3-3 : Sables, graviers et cailloux mis en place dans une plaine d'épandage subaérien à Saint-David-de-Falardeau.....	86
Photo 3-4 : Graviers et blocs sub-anguleux d'une terrasse de Kame à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.	88
Photo 3-5 : Sédiments glaciolacustres deltaïques recouverts par des sédiments alluviaux anciens à Chambord.....	89
Photo 3-6 : Sédiments glaciomarins d'eau profonde à Normandin.....	90
Photo 3-7 : Champ de dunes paraboliques (3 km au NO de Saint-Eugène).....	92

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Livrables cartographiques en format 8,5 X 11 po	250
Annexe 2 : Exemple d’entente et de projet de résolution	280
Annexe 3 : Description des Tables, Feature Class et Raster Dataset de la base de données spatiales PACES-SLSJ	286
Annexe 4 : Attribution des valeurs de CN selon le type de sol (1), la granulométrie dominante (2) et la granulométrie secondaire (3)	302
Annexe 5 : Tableaux statistiques de l’hydrogéochimie des 4 groupes d’eaux définis dans le cadre du PACES-SLSJ	303
Annexe 6 : Chartes de consommation végétale et animale MAPAQ	307

LISTE DES ANNEXES NUMÉRIQUES

- AN1 : Résultats des levés géophysiques (figures).
- AN2 : Rapport des travaux de diagraphies.
- AN3 : Logs de forages.
- AN4 : Coupes stratigraphiques.
- AN5 : Cartes des recharges annuelles de 1900 à 2010.

LISTE DES CARTES EN FORMAT A0

- Carte #1 – Topographie
- Carte #2 – Routes, limites municipales et toponymie
- Carte #3 – Modèle numérique d'altitude
- 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 des dépôts de surface
- Carte #13 – Géologie du socle rocheux
- Carte #15a – Épaisseur des dépôts de surface
- Carte #15b – Erreurs sur l'épaisseur des dépôts de surface
- Carte #16a – Topographie du socle rocheux obtenue par krigeage
- Carte #16b – Topographie du socle rocheux obtenue par méthode TIN
- Carte #18a – Limites régionales des milieux aquifères de roc fracturé
- Carte #18b – Limites régionales des milieux aquifères granulaires
- Carte #19 – Piézométrie régionale
- Carte #22 – Vulnérabilité selon l'indice DRASTIC
- Carte #24 – Qualité de l'eau souterraine en fonction des concentrations maximales acceptables
- Carte #25a – Qualité de l'eau souterraine en fonction des objectifs esthétiques des ions métalliques
- Carte #25b – Qualité de l'eau souterraine en fonction des objectifs esthétiques des paramètres *in situ*
- Carte #26a – Utilisation de l'eau de surface *versus* l'eau souterraine
- Carte #26b – Utilisation de l'eau de souterraine en fonction des usages domestiques, agricoles et industriels
- Carte #27 – Stations météorologiques, stations hydrométriques et de suivi de la nappe d'eau souterraine
- Carte #28 – Zones de recharge préférentielle et de résurgence

LISTE DES PROTOCOLES

P1_Topographie
P2_Routes limites municipales et toponymie
P3_Modèle numérique de terrain
P4_Pente du sol
P5_Hydrographie
P6_Limites de bassins et de sous-bassins
P7_Occupation du sol
P8_Couverture végétale
P9_Milieus humides
P10_Affectation du territoire
P11_Pédologie
P12_Géologie du Quaternaire
P13_Géologie du roc
P14_Coupes_stratigraphiques
P15_EpaisseurDesDépôtsMeubles
P16_Topographie du roc
P18_Limites régionales des aquifères
P19-20_Piézométrie régionale
P21_Paramètres_hydrauliques
P22_Vulnérabilité des aquifères – DRASTIC
P24_25-Qualité de l'Eau souterraine
P26_Utilisation_de_l'eau
P27_Station_météo_hydrométrique_suivi_nappes
P28_Zones de recharges préférentielles et résurgences
P29a_Numérisation et archivage
P29b_Fiabilité et validation des données de forage

1 INTRODUCTION

À l'été 2008, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) du Québec a lancé un programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES). Le comité régional sur les eaux souterraines du Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ) regroupant des représentants du monde municipal, du milieu de la recherche et d'organismes gouvernementaux en région ont confié au Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) le mandat d'élaborer la proposition qui a été retenue par le MDDEP.

Le territoire visé se situe dans la région administrative du SLSJ. Il correspond au territoire municipalisé de la Ville de Saguenay et des quatre municipalités régionales de comté (MRC) de la région, soit la MRC du Domaine-du-Roy, la MRC du Fjord-du-Saguenay, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est et la MRC de Maria-Chapdelaine. Ce territoire couvre une superficie de 13 210 km².

La PACES-SLSJ a été divisé en trois phases qui se sont échelonnées sur quatre années :

- phase 1 : établissement de l'état des connaissances actuelles à partir de compilations et d'intégrations de données existantes;
- phase 2 : acquisition de nouvelles données par des campagnes de terrain;
- phase 3 : analyse et traitement de l'information visant à l'amélioration des connaissances sur les eaux souterraines

Ce rapport, accompagné de 27 cartes élaborées à partir d'une base de données originale, constitue le livrable final du projet PACES-SLSJ. Il présente de manière exhaustive les différentes étapes qui ont conduit à l'élaboration des livrables du PACES-SLSJ à partir des données existantes et de celles acquises en cours de projet. De plus, il présente la synthèse de l'analyse détaillée des livrables, leur interprétation et leur portée quant aux connaissances hydrogéologiques régionales, ainsi que leur limite d'après les méthodes utilisées pour leur élaboration. Il comprend également les recommandations portant sur la protection et la gestion de l'eau souterraine sur le territoire couvert. Ce rapport s'articule autour de 5 axes que sont : l'acquisition des données (chapitre 2), la caractérisation des contextes hydrogéologiques (chapitre 3), la détermination des caractéristiques des milieux aquifères régionaux et des eaux souterraines (chapitre 4), la description de l'eau souterraine comme source d'alimentation en eau potable (chapitre 5), et finalement, la formulation d'une conclusion (chapitre 6) et de recommandations spécifiques aux suivis des résultats du PACES-SLSJ, relatives 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 (chapitre 7). Préalablement, les objectifs et l'équipe de réalisation du PACES-SLSJ sont décrits, de même que le territoire à l'étude, l'état des connaissances hydrogéologiques régionales et la raison d'être du PACES-SLSJ.

1.1 Objectifs

Les objectifs visés par ce projet consistent à :

- Dresser un portrait des ressources en eau souterraine à l'échelle des quatre MRC de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et du territoire de la Ville de Saguenay, afin de soutenir les besoins d'information sur cette ressource;

- Établir l'état de cette ressource, sa recharge et sa vulnérabilité ;
- Consolider les partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire dans l'acquisition des connaissances sur les ressources en eau souterraine afin de favoriser une saine gestion de cette ressource;
- Répondre aux préoccupations du milieu en ce qui concerne les ressources en eau souterraine.

1.2 Équipe de réalisation et partenaires

Pour réaliser le projet, une équipe multidisciplinaire a été formée au sein du CERM. Le Tableau 1—1 présente les membres de l'équipe de réalisation du PACES-SLSJ et leur rôle. Aussi, le CERM s'est adjoint les services du Centre de Géomatique du Québec (CGQ) pour organiser les données sur le territoire et produire les couches numériques et les métadonnées s'y rapportant. Affilié au Cégep de Chicoutimi, le CGQ est un organisme parapublic à but non lucratif qui possède le statut de centre collégial de transfert de technologie conféré par le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS) et par le ministère des Finances et de l'Économie (MFE).

La réalisation d'un projet de cette envergure nécessite l'implication de partenaires techniques et financiers. Ces partenaires proviennent des milieux municipaux, gouvernementaux et de la recherche. La diversité de ces partenaires témoigne en elle-même de la grande importance sociale et économique accordée aux eaux souterraines. Pour définir les orientations de recherche et cibler les objectifs des partenaires régionaux, un comité de gestion des partenaires sur les aquifères du SLSJ a été créé. L'organigramme du partenariat régional est présenté à la Figure 1-1 et les partenaires et leurs représentants sont identifiés au Tableau 1—2.

Tableau 1—1: Présentation des membres de l'équipe et de leur rôle.

Nom	Statut	Rôle
Réal Daigneault	Professeur-chercheur	Co-coordonnateur, géologie structurale et géomatique
Alain Rouleau	Professeur-chercheur	Co-coordonnateur, hydrogéologie
Jacques Carignan	Professeur-chercheur	Spécialiste géostatistique
Romain Chesnaux	Professeur-chercheur	Spécialiste hydrogéologie
Pierre A. Cousineau	Professeur-chercheur	Spécialiste sédimentologie
Denis W. Roy	Professeur-chercheur	Spécialiste géomorphologie et géologie structurale
Claude Dallaire	Professionnel	Graphisme, dessin technique, plateforme web
Denis Germaneau	Professionnel	Hydrogéologie
Mélanie Lambert	Professionnelle	Géomatique
Annie Moisan	Professionnelle	Base de données numériques, contrôle de la qualité
Marie-Line Tremblay	Professionnelle	Hydrogéologie
Michel Tremblay	Professionnel	Administration
Julien Walter	Professionnel	Hydrogéologie
David Noël	Technicien	Hydrogéologie et géophysique
Patrick Simard,	Stagiaire post-doctoral	Spécialiste géophysique
Cécile Baudement	Stagiaire	Hydrogéologie
Lucie Dal Soglio	Stagiaire	Hydrogéologie
Vianney Dugrain	Stagiaire	Géomatique
Ugo Fillastre	Stagiaire	Géomatique
Jacques Gautier	Stagiaire	Géomatique
Sandra Richard	Étudiante 3 ^e cycle	Hydrogéologie
Annie-Pier Elliott	Étudiante 2 ^e cycle	Hydrogéologie
Étienne Hudon-Gagnon	Étudiant 2 ^e cycle	Hydrostratigraphie
Daphne Silva Pino	Diplômée 2 ^e cycle 2012	Hydrogéologie structurale
Marie-France Beaulieu	Étudiante 1 ^{er} cycle	Projet de fin d'études
Emmanuelle B. Gagné	Étudiante 1 ^{er} cycle	Projet de fin d'études
Martine Chabot	Étudiante 1 ^{er} cycle	Projet de fin d'études Hydrogéochimie
Gabriel Dalpé	Étudiant 1 ^{er} cycle	Projet de fin d'études
Sophie Maltais	Étudiante 1 ^{er} cycle	Projet de fin d'études – Hydrogéologie
Cynthia Vigneault	Étudiante 1 ^{er} cycle	Projet de fin d'études – Hydrogéologie
Kaïssa-Loriane Blessy	Étudiante 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Mario Bolduc	Étudiant 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Maxime Bouchard	Étudiante 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Marie-Odile Chartier	Étudiante 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
François-Joseph Eteta'a Tchoungui	Étudiant 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Samuel Gagnon	Étudiant 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Hugues Guérin-Tremblay	Étudiant 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Julie Lavoie	Étudiante 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Viviane Lavoie	Étudiante 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Marie-Ève Parr	Étudiante 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Léo Poignant-Molina	Étudiant 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Christophe Potvin-Doucet	Étudiant 1 ^{er} cycle	Auxiliaire de recherche
Guillaume Beaudoin	Consultant	Projet de cartographie des dépôts de surface
Robert-André Daigneault	Consultant	Projet de cartographie des dépôts de surface
Nicolas Thouvignon	Consultant	Numérisation des coupes stratigraphiques; création de figures
Jean Roy	Consultant	Géophysique
Amélia J. Fernandes	Collaboratrice	Hydrogéologie structurale
Roger H. Morin	Collaborateur	Diagraphie géophysique

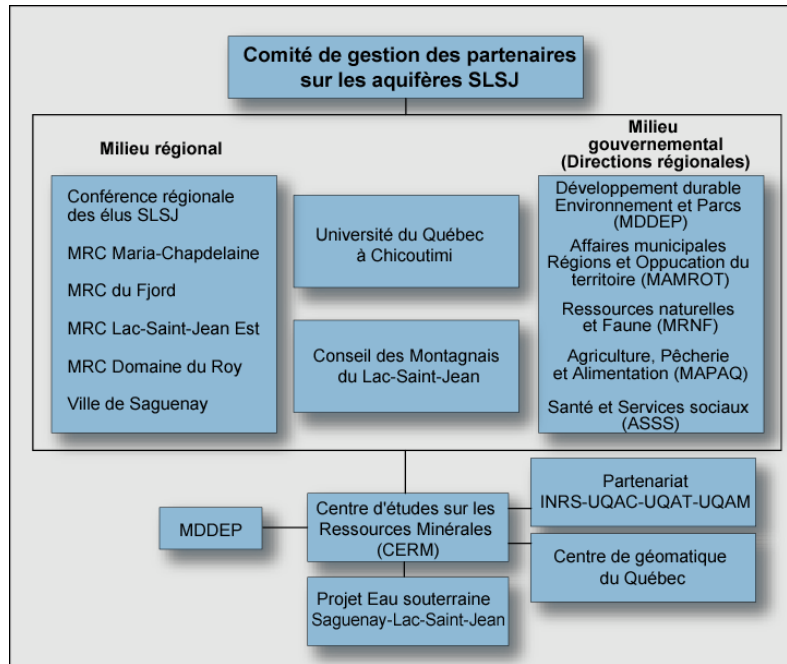


Figure 1-1: Organigramme du partenariat régional

Aussi, afin de créer une synergie entre les différents groupes de recherche universitaire mandatés pour réaliser un projet du PACES, le Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES) a été créé en 2009. Ce groupe s’est donné pour mission d’accroître la connaissance sur les eaux souterraines et de contribuer à assurer la pérennité de la ressource en eau souterraine. Depuis sa formation, plusieurs chercheurs se sont ajoutés au GRIES qui se constitue au printemps 2013 de 24 chercheurs universitaires provenant de 11 universités québécoises, auxquels s’ajoutent 6 chercheurs gouvernementaux de la Commission géologique du Canada (CGC) et du MDDEFP.

Tableau 1—2: Liste des partenaires.

Partenaires régionaux	Représentants
Conférence régionale des élus du Saguenay – Lac Saint-Jean	Mme Ursula Larouche
MRC Domaine-du-Roi	M. Danny Bouchard
MRC Fjord-du-Saguenay	M. Steeve Lemyre
MRC Lac Saint-Jean-Est	Mme Nathalie Audet
MRC Maria-Chapdeleine	M. Jacques Potvin
Ville de Saguenay	M. Luc Desbiens
PekuakamiInuatsh Takuhikan	M. David Cleary
Ministère du Développement durable, de l’Environnement, de la Faune et des Parcs	M. Martin Lamontagne
Ministère des Ressources naturelles	M. Omer Gauthier
Ministère des Affaires municipales, Régions et Occupation du territoire	M. David Dufour et M. Pierre-A. Gauthier
Ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation	Mme Anne Guilbert
Agence de la santé et des services sociaux du SLSJ	M. Michel Savard
Université du Québec à Chicoutimi	M. Réal Daigneault et M. Alain Rouleau
Centre de géomatique du Québec	M. Mathieu de Pinel et Mme Karine Dallaire

1.3 Présentation du territoire à l'étude

Le PACES-SLSJ porte sur le territoire municipalisé de la région administrative du SLSJ qui occupe une superficie totale de 13 210 km². La région du SLSJ se localise dans la partie centrale du Québec méridional, au nord du fleuve Saint-Laurent. Ce territoire est orienté ONO-ESE se développe autour de deux étendues d'eau importantes, soit le lac Saint-Jean à l'ouest dont l'axe long fait près de 40 km et la rivière Saguenay orientée ONO-ESE qui constitue l'exutoire du lac Saint-Jean vers le fleuve Saint-Laurent.

Le territoire étudié se décrit selon trois principaux aspects, soit la présentation du milieu naturel qui inclut la topographie, l'hydrographie et le couvert végétal, puis la présentation du milieu humain comprenant le territoire municipalisé, l'affectation et l'occupation du territoire.

1.3.1 Contexte géologique régional

Le socle rocheux de la région comprend des roches cristallines d'âge précambrien et des roches sédimentaires d'âge paléozoïque. Ces formations sont recouvertes de dépôts non-consolidés d'âge quaternaire. La section suivante présente les principaux éléments descriptifs de la géologie régionale. Elle décrit les principales étapes de l'évolution géologique de la région qui sont : 1) le socle cristallin et l'orogénie grenvillienne, 2) les complexes intrusifs alcalins, 3) les calcaires ordoviciens, 4) le Graben du Saguenay et 5) la mise en place des dépôts quaternaires.

Province de Grenville

Les roches précambriennes présentes sur le territoire municipalisé du SLSJ appartiennent à la Province de Grenville. On y retrouve une variété de roches plutoniques et de gneiss variés caractérisés par un haut degré de métamorphisme régional au faciès des granulites localement rétrogradé au faciès supérieur des amphibolites (Rivers et al., 1989). Les assemblages minéralogiques des formations géologiques en place et leurs caractéristiques structurales attestent des fortes contraintes et des températures élevées qui régnaient sous 20 km de roches. Elles sont interprétées comme des "racines" d'une ancienne chaîne de montagnes, les monts Grenville, aussi haute que l'Himalaya actuel et érigée il y a entre 1 160 et 970 Ma¹. Cette ancienne chaîne de montagnes s'étendait le long d'une bande d'orientation nord-est/sud-ouest de plusieurs milliers de kilomètres de long et de quelques centaines de kilomètres de large (Figure 1-2).

Au SLSJ, les principales lithologies correspondent à plusieurs phases d'injection magmatique de masses anorthositiques (granite noir), de plutons de composition felsique à intermédiaire (granite, diorite, monzonite) et d'un complexe gneissique formé d'orthogneiss et de paragneiss (Hébert, 2004). La suite anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG) constitue une grande partie des lithologies présentes. La Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean (SALSJ) est l'une des plus grandes masses intrusives de la Province géologique de Grenville et donc de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. La Figure 1-3 présente la géologie régionale adaptée de Laurin et Sharma (1975). Les unités géologiques plus vieilles que la SALSJ sont composées de complexes gneissiques comprenant des assemblages supracrustaux d'origines ignée et sédimentaire.

¹ Millions d'années

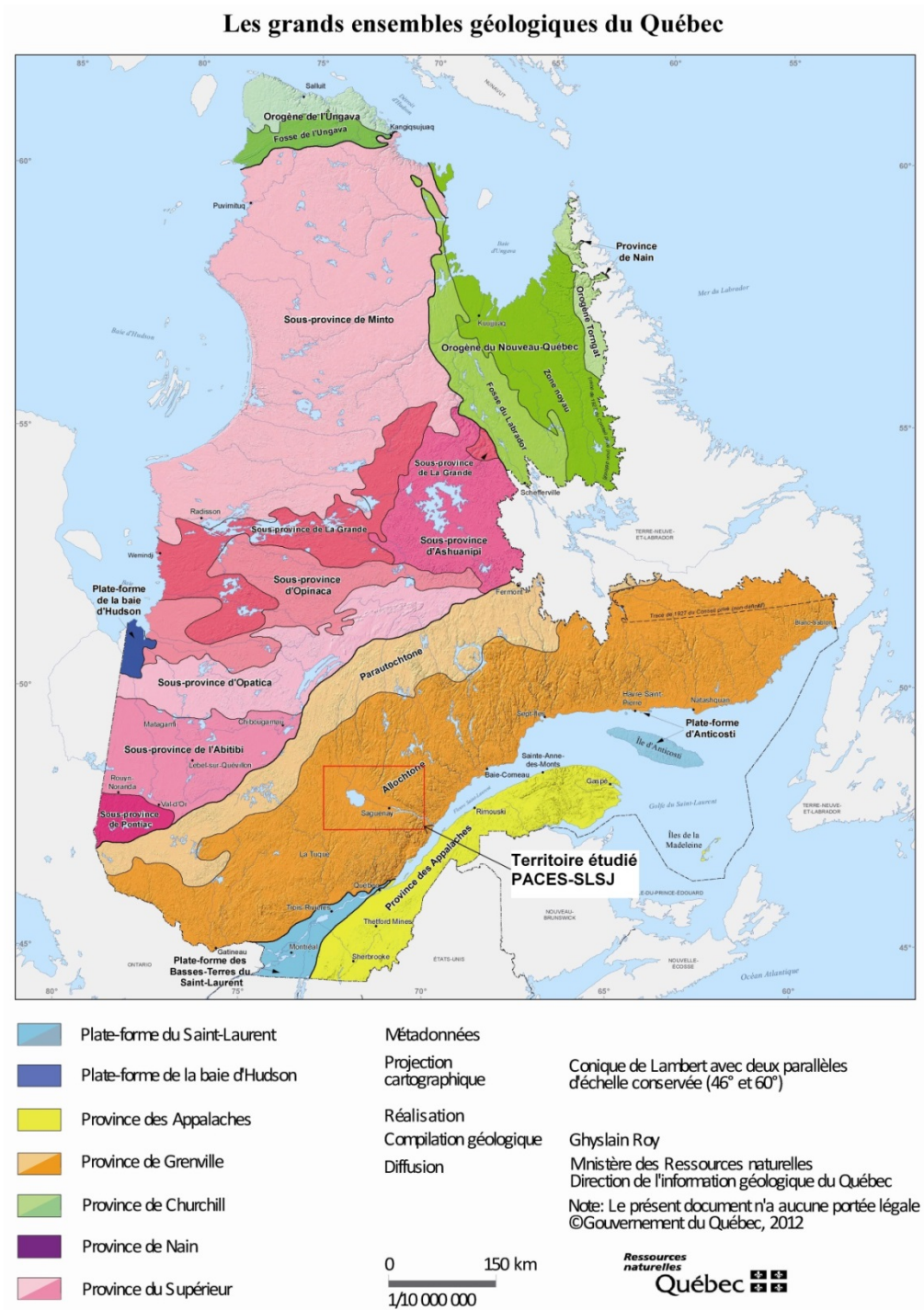


Figure 1-2: Localisation de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et de la Province de Grenville parmi les provinces géologiques du Québec.

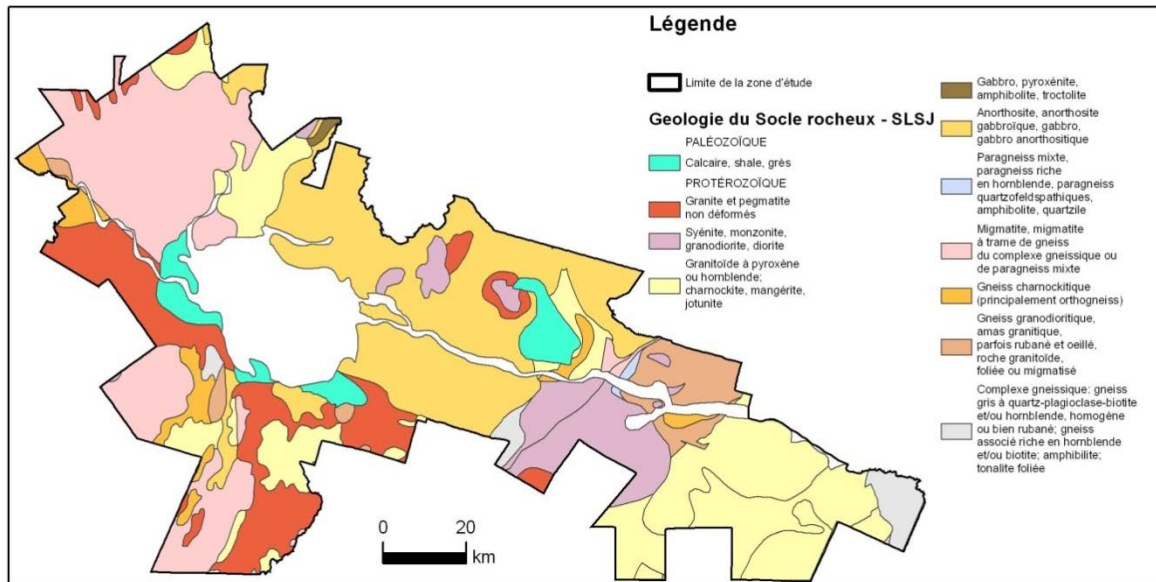


Figure 1-3: Compilation de la géologie régionale selon Avramtchev, 1993.

L'orogénie grenvillienne

Une bonne partie de la déformation de la région SLSJ est attribuable à l'orogénie grenvillienne (1 190 – 980 Ma), une période marquée par un intense magmatisme intracontinental (Higgins et van Breemen, 1996 ; Corrigan et Hanmer, 1997 ; Rivers, 1997 ; Higgins et al., 2002). La Figure 1-4 présente plusieurs des principaux éléments de géologie structurale de la région du SLSJ.

L'histoire de la déformation présentée ici est surtout établie à partir de cartographies récentes du MRN dans la portion centrale Est de la région (Hébert et Lacoste, 1998). Dans le secteur Lac-Saint-Jean, l'état des connaissances est embryonnaire. Tandis que trois principaux évènements de déformation ductile sont identifiés dans la portion Saguenay (Hébert, 2004 ; Hébert et van Breemen, 2004).

1. Un premier évènement est relié à une période majeure de chevauchement à laquelle est associée une première fabrique qui prend la forme d'une foliation ou d'une gneissosité orientée E-O à ESE-ONO. Au sein du Complexe anorthositique, cette fabrique se superpose et se confond au litage magmatique décrit par Woussen et al. (1986). Ces chevauchements bordent les principales unités de la région, faisant de ces unités des nappes distinctes (Hébert, 2004). Leurs orientations et leurs pendages sont variables, probablement sous l'effet des déformations subséquentes.
2. Un second évènement est associé à une période de raccourcissement et de chevauchement responsable du grain tectonique de direction ENE-OSO. Cette orientation est reconnue partout dans la région centrale et représente communément la foliation pénétrative dominante (Hébert, 2004). La Zone de déformation de Saint-Fulgence (ZDSF) (Figure 1-4) est associée à cet évènement. Elle se caractérise par une direction 045° et représente un accident tectonique majeur que l'on peut suivre sur plus de 100 km (Hébert, 2004). Aux endroits où la déformation atteint son intensité maximale, les roches associées à la ZDSF deviennent des gneiss droits à foliation mylonitique très pénétrative. La déformation affecte autant les anorthosites que les

encaissants. Des évidences de décrochements dextres caractérisent cette zone au paroxysme de la déformation.

3. Finalement, le troisième évènement est associé à la formation de zones de failles fragiles-ductiles d'épaisseur plurimétrique et de direction 355° à 015°. Ces failles sont communes dans la région. Elles présentent des décalages de plusieurs dizaines de mètres à localement quelques centaines de mètres. Ces phénomènes sont particulièrement bien exposés dans le secteur du lac Kénogami où le contact de l'anorthosite avec ses encaissants est déplacé en échelon (Hébert et Lacoste, 1998).

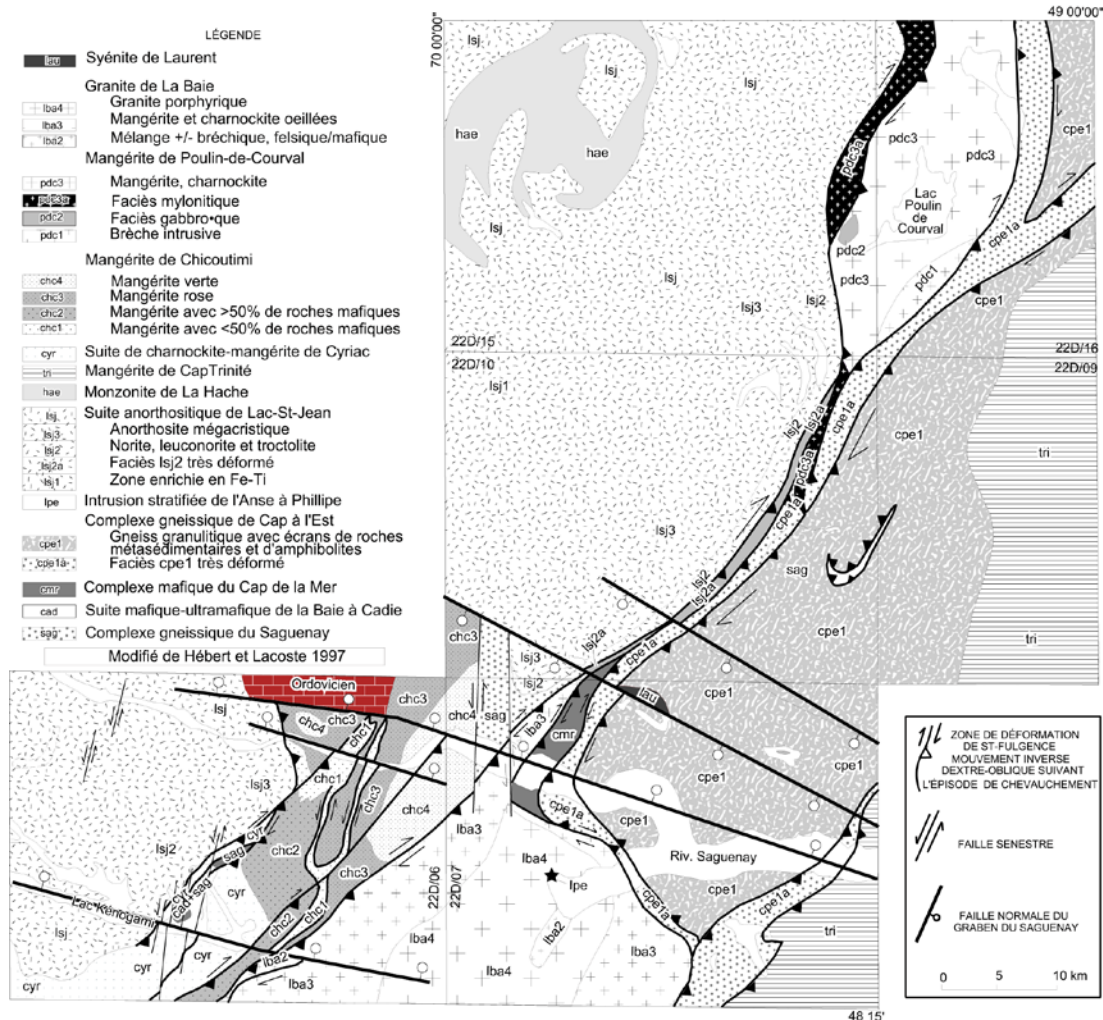


Figure 1-4: Carte structurale de la région de Chicoutimi (Tirée de Hébert, 2004).

Complexes intrusifs alcalins

Au Cambrien, il y a environ 600 Ma, le socle grenvillien a été découpé le long du fleuve Saint-Laurent lors de la formation d'un rift produit par l'ouverture de l'océan lapétus (Kumarapeli, 1985). Le complexe alcalin de Saint-Honoré (Figure 1-3), composé de carbonatites et de syénites, correspond à un centre volcanique alors en activité et atteste, par ses caractéristiques structurales et minéralogiques, que le continent était en extension à ce moment-là (Thomas et

Astini, 1996). Le complexe alcalin de Saint-Honoré est actuellement exploité pour ses ressources en niobium par la seule mine de la région. Il est entouré d'un anneau discontinu, d'environ 25 km de diamètre, composé de dykes de lamprophyre. Un autre complexe alcalin dans le canton de Crevier, au nord-ouest du lac Saint-Jean, pourrait dater de la même époque.

Ce régime tectonique en extension est aussi à l'origine de plusieurs linéaments de la région (Roy, 2009), et il est proposé par Verreault (2000), d'après une reconstitution théorique des champs de contraintes au Saguenay, qu'il soit responsable de l'amorce des failles normales du graben marquant les limites des murs sud et nord (Figure 1-4), notamment au droit du lac Tchitogama.

Les calcaires ordoviciens

De 450 à 200 Ma, une mer chaude, peu profonde, a recouvert certaines régions du Bouclier Canadien. Cette mer a laissé des strates de calcaire et de shale dont il ne reste que des lambeaux épars préservés de l'érosion, au sein de la dépression régionale désignée comme le Graben du Saguenay. Les formations qui composent cette séquence sont généralement riches en fossiles de mollusques à coquille, de coraux primitifs, de bryozoaires et crinozoïdes (espèces d'invertébrés marins à habitacle de calcaire), de trilobites (ancêtre du crabe), d'orthocères (ancêtre des pieuvres) et de graptolites (aujourd'hui disparus). Ces roches recouvrent les granites et les gneiss du Grenville à plusieurs endroits au sud du Lac Saint-Jean, surtout dans les secteurs de Chambord et de Roberval, et aussi au nord du Saguenay entre Chicoutimi-Nord et Saint-David-de-Falardeau (Figure 1-3). Dans ces séquences ordoviciennes, plusieurs formations sédimentaires sont identifiées par Desbiens et Lespérance (1989) et résumées au Tableau 1—3. Comme le montre ce tableau, l'épaisseur maximale de la séquence sédimentaire attendue au SLSJ est de l'ordre de 90 m. Les endroits où les calcaires ont été observés sont aussi présentés dans ce tableau.

Tableau 1—3: Roches sédimentaires du Saguenay-Lac-Saint-Jean (adapté de Desbiens et Lespérance, 1989).

Épaisseur	Formation	Principaux sites d'observation de la formation
??	Calcaire d'île aux Coulevres	Pointe Scott, Roberval Île aux Coulevres
≈ 30 m	Formation de Pointe Bleue	Pointe Bleue Rivière Shipshaw (Chute aux galets) Niobec
8,5 m	Formation de Galets	Carrière à 2 km au nord de Roberval Chambord Rivière Shipshaw (Chute aux galets)
22,7 m	Formation de Shipshaw	Rivière Shipshaw (stratotype) Chambord Carrière à 2 km au nord de Roberval
< 26,5 m	Formation de Simard	Carrière Plourde Nord-ouest de Chicoutimi Rivière Shipshaw Chambord
< 4,5 m	Formation de Tremblay	Carrière Plourde, Chicoutimi Chambord Rivière Shipshaw
	Précambrien	

Le Graben du Saguenay

À l'Ordovicien moyen (~ 450 Ma), la collision entre un arc insulaire et l'Amérique du Nord (l'orogénie Taconienne) a engendré un régime en compression dont l'orientation est considérée parallèle aux murs de l'actuel graben (Trudel et Malo, 1993). La modification du régime de contraintes tectoniques et le changement d'orientation des contraintes principales seraient à l'origine d'un système en transpression (Roy, D.W., comm. pers.) et d'un mouvement de torsion de la croûte terrestre pouvant expliquer la présence du relèvement topographique du seuil de Kénogami, ainsi que la structure en graben de la région (Figure 1-4). Par la suite, l'ouverture de l'actuel océan Atlantique, qui marque la fragmentation du dernier supercontinent, la Pangée (180 à 60 Ma), a permis la réactivation des failles et des fractures de l'ancien rift datant de la période lapetienne (Roy et al., 1993). Cette tectonique cassante complète la structuration du Graben du Saguenay, il y a environ 180 millions d'années. Plusieurs failles importantes sont associées au graben. Celui-ci est limité au nord par la faille Tchitogama et la faille de la rivière Sainte-Marguerite qui se prolonge jusqu'aux pieds des monts Valin; au sud, par la faille du lac Kénogami qui passe au pied du mont Lac-Vert et de la chute de Val-Jalbert au Lac-Saint-Jean.

La mise en place des dépôts quaternaires

La physiographie régionale en forme de graben a favorisé l'accumulation de dépôts quaternaires (sable, gravier, argile, etc.) dans les basses terres de la région, où se trouve aujourd'hui la majeure partie du territoire municipalisé. La plupart des municipalités de la région qui s'alimentent en eau souterraine le font à partir de l'eau contenue dans les aquifères granulaires quaternaires. La connaissance de la nature et de l'étendue des divers types de dépôt quaternaire est essentielle pour expliquer adéquatement la présence, la quantité, la qualité et l'écoulement des eaux souterraines à l'intérieur de ces unités géologiques. La mise en place des dépôts quaternaires est décrite dans les sections suivantes.

Avant le PACES-SLSJ, la cartographie des dépôts de surface, disponible en format numérique à l'échelle régionale, avait été produite par Lasalle et Tremblay (1978) du ministère des Richesses Naturelles à l'époque. Cette cartographie au 1:50 000 n'était malheureusement pas complète : elle ne couvrait pas la partie nord et nord-ouest du territoire municipalisé, ainsi qu'une partie au sud du lac Saint-Jean, et toute la partie du Bas-Saguenay. La géologie des formations superficielles d'après Lasalle et Tremblay (1978) est présentée à la Figure 1-5. Toutefois, ces cartes sont accompagnées d'un rapport étoffé dans lequel est décrite la synthèse paléogéographique de l'histoire de la mise en place des unités géologiques et de leur évolution. L'enchaînement des événements, tel que décrits par Lasalle et Tremblay (1978), est encore accepté aujourd'hui. Le Tableau 1—4 présente le sommaire des formations quaternaires identifiées par Lasalle et Tremblay (1978). Quatre événements majeurs marquent la formation de ces dépôts : l'englaciation; la déglaciation; la transgression marine; et la remontée isostatique et la mise en place des dépôts fluviaux.

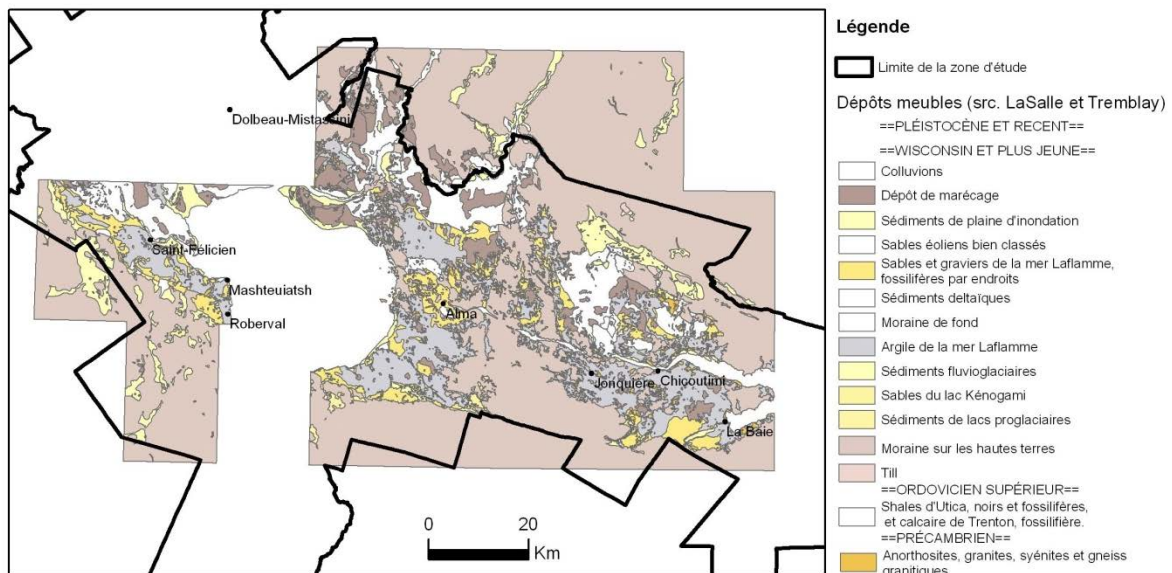


Figure 1-5: Géologie des formations superficielles d'après Lasalle et Tremblay (1978).

Tableau 1—4: Sommaire des formations quaternaires identifiées par Lasalle et Tremblay (1978; adapté de Lasalle et Tremblay, 1978).

Chronostratigraphie			Formations	
CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE	HOLOCÈNE	Colluvions	
			Dépôts de tourbières	
			Sédiments de plaine d'inondation	
			Sédiments de rivage	
			Sédiments deltaïques	
		PLÉISTOCÈNE	WISCONSIN	Argiles de la mer Laflamme/Till remaniés
				Sédiments fluvioglaciers
				Sédiments de lacs pro-glaciaires
				Till des hautes terres
				Till des basses terres
PALÉOZOÏQUE ORDOVICIEN	UTICA TRENTON	Shales noirs et fossilifères Calcaire		
	PRÉCAMBRIEN	Roches granitiques		

L'englaciation

Lors de l'englaciation de la région du SLSJ au Wisconsinien² précoce (Gadd, 1988), le glacier continental (inlandsis) contourne d'abord le massif des monts Valin par le nord et par l'ouest où un lobe de glace se dirige vers le lac Saint-Jean par les vallées N-S des tributaires de la rivière Mistassini (Roy, 2009). L'examen de l'orientation des stries glaciaires montrent de grandes variations tant dans les basses terres que dans les hautes terres, ce qui démontre bien que le mouvement glaciaire était influencé par la topographie locale (Lasalle et Tremblay, 1978). L'épaisseur maximale de l'inlandsis, vis-à-vis la région du Lac-Saint-Jean, est de l'ordre de 3 kilomètres (Roy, 1996). Cette masse de glace a provoqué un enfoncement du continent de quelques centaines de mètres.

La déglaciation

La déglaciation de la région du SLSJ, au Wisconsinien tardif, s'est faite en ordre diachronique³ en commençant par la libération du Saint-Laurent (Chauvin et al., 1985) pour se terminer avec celle

² Le Wisconsinien correspond à l'époque de la dernière glaciation du Pléistocène qui a affectée l'Amérique du Nord entre - 85 000 ans et - 7 000 ans

³ De Tadoussac à l'ouest du lac Saint-Jean, en ordre généralement inverse à celui de l'englaciation

du lac Saint-Jean. L'inlandis s'est retiré de la région, il y a environ 10 000 ans, laissant une série de dépôts glaciaires. Parmi eux, des dépôts de till sont identifiés sur les hautes terres et les basses terres de la région. Lasalle et Tremblay (1978) notent aussi la présence d'accumulations plus importantes de matériaux fluvioglaciaires à certains endroits. Ces dépôts sont retrouvés au pied des murs nord et sud du Graben et leur granulométrie grossière implique une mise en place dans un milieu hydrauliquement énergétique (rivières et torrent d'eaux de fonte glaciaire). Ces accumulations se rencontrent notamment à l'est de Saint-Nazaire, au sud-est d'Hébertville, et à l'ouest de Roberval. Lasalle et Tremblay (1978) les identifient aussi par forage, enfouies sous les sédiments de la mer de Laflamme. À ces endroits leur épaisseur peut atteindre 53 m et ils reposent localement sur du till.

Les auteurs reconnaissent cinq positions hypothétiques de retrait du front de la langue de glace résiduelle présente dans les basses terres du SLSJ, dont les deux premières se trouvent sur les hautes terres et sont parallèles au mur sud du Graben, au sud du lac Saint-Jean, et les trois autres traversent la dépression du Graben. Les zones d'accumulation de dépôts fluvioglaciaires et les 5 positions de retrait de la langue de glace sont présentées sur la Figure 1-6.

Ces positions hypothétiques sont tracées d'après un modèle de retrait du glacier basé sur l'étendue des moraines, les accumulations fluvioglaciaires, et sur la topographie. Toutefois, leur position reste à valider pour deux raisons: 1) Les lambeaux de moraines terminales sont discontinus et les corrélations sont difficiles à établir d'un segment à un autre; 2) une ligne concave ou convexe représente difficilement un front glaciaire qui, comme au SLSJ, correspond à une zone d'ablation et de vêlage. À certains endroits, ces « bandes » graveleuses ont été mises en place de façon subaérienne, comme sur le territoire de la municipalité de Métabetchouan (partie proximale du delta de la Baie des Ha!Ha!), à d'autres endroits, de façon subaquatique, comme sur le territoire de la Ville de Saguenay, secteur La Baie (partie distale du delta de la Baie des Ha!Ha!) où ils se trouvent en contact avec des sédiments glacio-marins à l'est. La présence de sédiments glacio-marins atteste d'un troisième événement important de la mise en place des dépôts quaternaires de la région: l'invasion et le retrait de la mer de Laflamme.

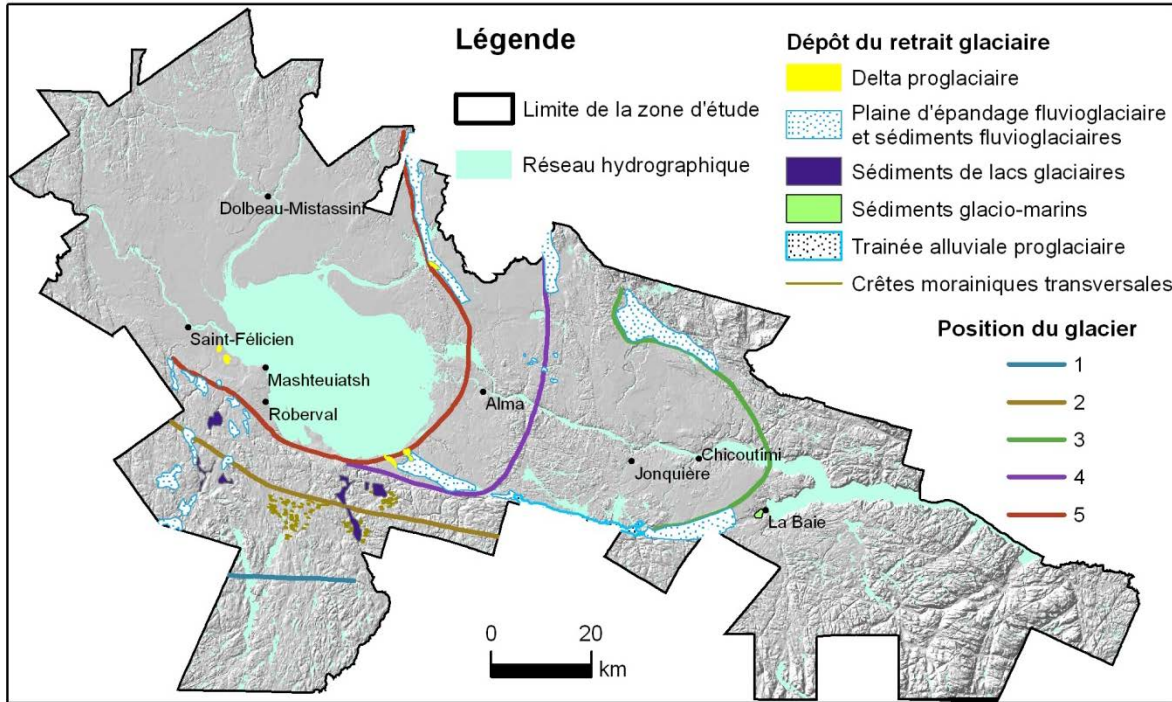


Figure 1-6: Retrait glaciaire dans la région du SLSJ (adaptée de Lasalle et Tremblay, 1978).

La transgression marine

Une fois la vallée de la rivière Saguenay libre de glace, les eaux marines de la mer (de Goldwaith dans le Golfe du Saint-Laurent, et de Champlain dans les basses terres du Saint-Laurent) ont pu pénétrer les basses terres du SLSJ. Cette mer intérieure a été appelée la mer de Laflamme. Elle a généralement progressé de l'est vers l'ouest grâce au vêlage des cordons de glace résiduelle présentés plus haut, d'abord le long du fjord et de la baie des Ha!Ha!, puis le long de la rainure de la vallée du Haut-Saguenay pour enfin arriver au lac Saint-Jean (Roy, 2009). Plusieurs sites fossilifères confirment le caractère marin de cette étendue d'eau dont ceux répertoriés par Dionne et Laverdière (1969) et Lasalle et Tremblay (1978). Les sédiments d'eau profonde de la mer de Laflamme sont constitués de silt argileux ou d'argile silteuse grise, identifiées à de la farine de roche plutôt qu'à des argiles au sens minéralogique puisqu'elles proviennent de la décomposition et de l'abrasion des roches du Bouclier précambrien (Bouchard et al., 1983). Selon Tremblay (1971), les sédiments marins d'eau profonde constituent l'unité lithostratigraphique la plus épaisse (jusqu'à 96,6 m identifié par forage) et la plus étendue à l'intérieur du Graben du Saguenay.

Dionne (1998) fixe la limite de la submersion marine à l'isohypse de 182 m dans les secteurs nord et ouest du lac Saint-Jean. Dans la partie nord de la région (le long de la rivière Péribonka et dans la partie nord de la vallée du lac Tchitogama), la surface de la plaine deltaïque est à une altitude de 192 à 198 m (Lasalle et Tremblay, 1978).

La remontée isostatique et la mise en place des dépôts fluviaux

Ces différences d'altitudes de la limite marine peuvent s'expliquer par un relèvement isostatique différentiel entre la partie nord et la partie sud des basses terres du lac Saint-Jean,

qui amène le retrait des eaux marines des basses terres, et la progradation des deltas de diverses rivières (venant surtout du nord) se jetant dans le Saguenay et le lac Saint-Jean. La majeure partie des sables deltaïques a été mise en place par les principaux affluents du lac Saint-Jean et de la rivière Saguenay, notamment par les rivières Shipshaw, Péribonka, Alex, Chamouchouane et Mistassini. Ils sont dominants dans la partie nord et ouest de la région (Lasalle et Tremblay, 1978).

La remontée isostatique est aussi responsable de plusieurs terrasses d'érosion dans la région du Haut-Saguenay (Bouchard et al., 1983). L'exondation des plaines glacio-marines et lacustres du SLSJ les a soumises au ravinement et aux glissements de terrain (Roy, 2009). Un exemple connu de glissement de terrain majeur qui s'est produit dans la région est celui du secteur de Saint-Jean-Vianney, détruisant 41 maisons et faisant 31 morts le 4 mai 1971. Plusieurs autres glissements de terrain sont répertoriés dans la région (Chagnon, 1968 ; Larochelle, 1973; Lasalle et Tremblay, 1978 ; Dion, 1981 ; Vallée et Dieumegarde, 1997 et 1998 ; Dieumegarde et Vallée 1999).

1.3.2 Milieu naturel

Topographie

Dans le cadre de PACES-SLSJ, la topographie est représentée par des courbes de niveau (**Carte #1 – Topographie**, Annexe 1) et par un modèle numérique d'altitude (**Carte #3 – Modèle numérique d'altitude**, Annexe 1).

La topographie de la région est contrôlée par une succession de divers événements géologiques présentés dans la section précédente et dont le principal élément est le Graben du Saguenay orienté ONO-ESE. Les failles majeures bordant le graben divisent les hautes terres des basses terres. Cette limite correspond approximativement à l'isohypse de 200 m. Le relief des hautes terres est dominé par le roc affleurant ce qui le rend accidenté. Les hautes terres correspondent au massif montagneux des Laurentides. Les basses terres présentent une topographie relativement plane. Elles sont dominées par d'importantes accumulations de dépôts quaternaires.

La Figure 1-7 montre les limites du Graben avec les murs nord (A) et sud (B) formés par une succession de failles orientées NO-SE (voir section précédente). Les lignes noires pointillées représentent les limites approximatives de la dépression, là où les murs du Graben ne sont pas bien définis. À l'est du lac Saint-Jean, la plaine du lac Saint-Jean est en contact avec une zone de collines rocheuses, nommée ride topographique d'Alma (E). Cette ride est discontinue et s'élève de quelques dizaines de mètres au-dessus du relief environnant.

À l'intérieur du Graben se trouvent également deux seuils topographiques transversaux où le roc émerge des dépôts meubles :

- le seuil topographique majeur du cap Éternité (C), (environ 200 m d'altitude);
- le seuil topographique de Kénogami (D), ou « horst » de Kénogami (environ 50 à 100 m d'altitude).

Les basses terres du Saguenay sont limitées à l'est par la Faille des Ha!Ha! (Rondot, 1983) de direction NW et qui représente la terminaison de la Baie des Ha!Ha!

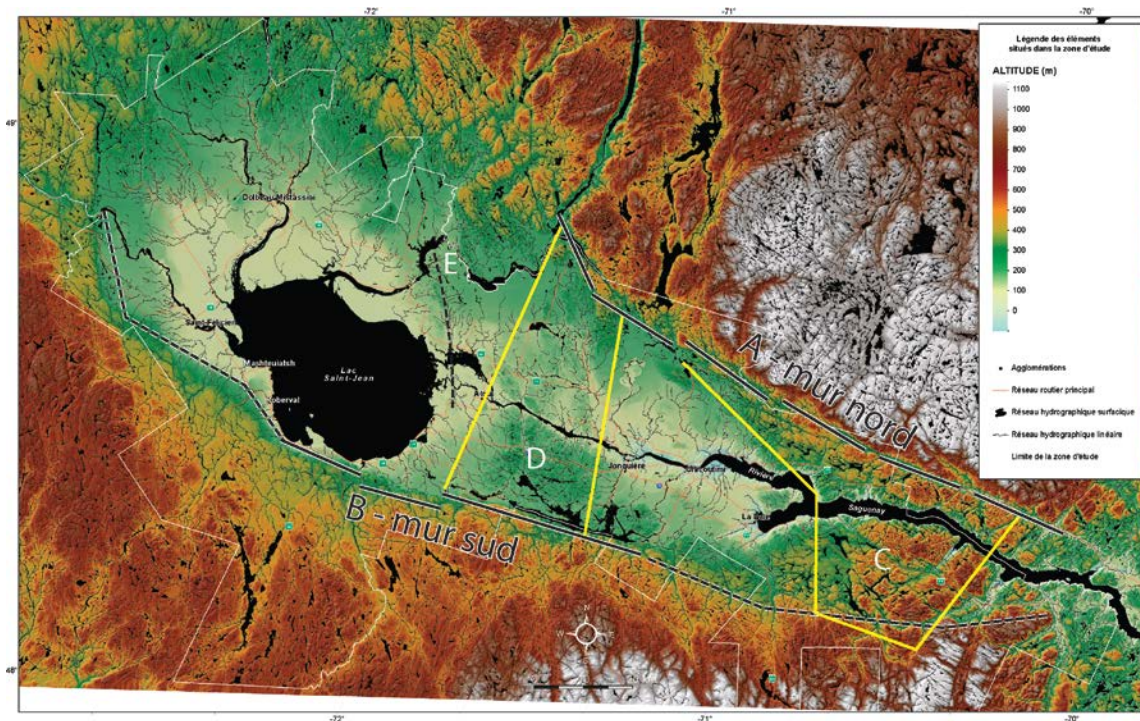


Figure 1-7 : Annotations du modèle numérique d'altitude du Saguenay-Lac-Saint-Jean modifié d'après Roy (2009).

Hydrographie

Le réseau hydrographique du SLSJ est constitué de lacs et de rivières abondantes. Les rivières forment des réseaux dendritiques sur l'ensemble du territoire. Les principales entités de ce réseau sont le lac Saint-Jean, la rivière Saguenay et le lac Kénogami.

Le lac Saint-Jean occupe une superficie de 1 050 km², il a un périmètre de 210 km et atteint une profondeur de 68 m. Ses principaux affluents sont les rivières Ashuapmushuan, Métabetchouan, Mistassini et Péribonka. Ses exutoires sont les rivières Grande Décharge et Petite Décharge qui confluent et donnent naissance à la rivière Saguenay au sud-est de la ville d'Alma. Le débit à sa sortie est contrôlé par la centrale Isle-Maligne qui est situé sur la rivière Grande Décharge.

La rivière Saguenay est un affluent du fleuve Saint-Laurent dans lequel elle se jette à Tadoussac. Sa longueur est de 165 km et sa largeur moyenne d'environ 2 km. Sa profondeur peut atteindre 275 m localement. Son débit moyen est estimé à 1 000 m³/s et atteint 3 000 à 4 000 m³/s lors des crues printanières.

Le lac Kénogami mesure 28 km de longueur et sa largeur varie entre 1 à 6 km. Sa profondeur atteint localement une centaine de mètres. Ses principaux affluents sont les rivières Cyriac, aux Écorces et Pikauba. Le débit à ses sorties est contrôlé par des barrages aménagés à la tête de ses exutoires principaux, soit les rivières aux Sables et Chicoutimi.

Les informations complémentaires concernant les caractéristiques des cours d'eau (longueur, débit, source) sont présentées au Tableau 1—5. Elles proviennent de plusieurs sources dont les

principales sont le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) et la Commission de toponymie du Québec.

Tableau 1—5: Résumé des principales caractéristiques des rivières et lacs du SLSJ.

Nom	Longueursu perficie (km / km ²)	Source, affluence	Exutoire, confluence	Débit moyen (m ³ /s)	Orient.
Lac Kénogami	Long.= 28 Larg. = 1 à 6	Rivières Pikauba, Ciriac et aux Écorces	Rivières aux Sables et Chicoutimi		ONO-ESE
Lac Saint-Jean	1 050 km ²	Multitude de rivières	Rivière Saguenay	1000 - 1300	NO-SE
Rivière à Mars	95	Réserve faunique des Laurentides	Baie des Ha!Ha!	8	N-S
Rivière Ashuapmushuan	200	Lac Ashuapmushuan	Lac Saint-Jean	200	NO-SE
Rivière aux Sables	12	Lac Kénogami	Rivière Saguenay	20	N-S
Rivière Belle-Rivière	35	Réserve faunique des Laurentides	Lac Saint-Jean	3	ONO-ESE
Rivière Chicoutimi	26	Lac Kénogami	Rivière Saguenay	50	N-S
Rivière des Ha ! Ha !	35	Réserve faunique des Laurentides	Baie des Ha!Ha!	15	N-S
Rivière du Moulin	88	Lac du Moulin, Laurentides	Rivière Saguenay	5	N-S
Rivière Éternité	18	Réserve faunique des Laurentides	Baie Éternité		NE-SO
Rivière Grande Décharge	16	Lac Saint-Jean	Rivière Saguenay	Géré par le barrage Isle- Maligne	ONO-ESE
Rivière Métabetchouan	128	Lacs Mâle et Bouteille	Lac Saint-Jean	30	N-S
Rivière Mistassini	289	Baie-James	Lac Saint-Jean	100	Sud
Rivière Ouiatchouane	25	Lacs Bouchette et des Commissaires	Lac Saint-Jean	7	N-S
Rivière Ouiatchouaniche	40	Lacs Huart et Ennuyant	Lac Saint-Jean	12	N-S
Rivière Péribonka	547	Monts Otish	Lac Saint-Jean	10	N-S et E- O
Petite Décharge	15	Lac Saint-Jean	Rivière Saguenay		ONO-ESE
Rivière Petit- Saguenay	77	Réserve faunique des Laurentides	Rivière Saguenay	5	NO-SE
Rivière Saguenay	Longueur = 165 Largeur = 0,5 à 2	Multitude de rivières	Fleuve Saint- Laurent	1000	ONO-ESE
Rivière Sainte- Rivière Marguerite	77	Monts Valin	Rivière Saguenay	20	ONO-ESE
Rivière Saint-Jean	40	Réserve faunique des Laurentides	Anse Saint-Jean		NE-SO
Rivière Shipshaw	25	Lac La Mothe	Rivière Saguenay		N-S
Rivière Ticouapé	50	Les lacs du canton Girard	Lac Saint-Jean		NO-SE
Rivière Valin	38	Monts Valin	Rivière Saguenay		N-S

Les bassins versants (BV) de ces cours d'eau sont montrés sur la **carte #6 – Bassins et sous-bassins versants** (Annexe 1). Différents niveaux de bassin versant sont présentés sur cette carte

(BV niveau 1 pour le Saguenay qui inclut le lac Saint-Jean et BV 2 pour leurs principaux affluents). La totalité du territoire municipalisé est comprise dans le BV de niveau 1. Comme le montre la **carte #6 – Bassins et sous-bassins versants** (Annexe 1), les BV de niveau 2 sont peu nombreux à présenter des limites à l’intérieur du territoire municipalisé et, généralement, seules les parties aval de ces bassins y sont présentes.

Végétation

La **carte #8 – Couverture végétale** (Annexe 1) représente le couvert forestier de la région du SLSJ. Elle a été réalisée à partir du système d’inventaire écoforestier (SIEF) et elle présente 3 catégories de végétation arbustive (résineux, feuillu et mélangé). De plus, les territoires urbains et agricoles, et les milieux humides y sont aussi représentés.

Pour compléter la localisation des milieux humides, la **carte #9 – Milieux humides** (Annexe 1) a été réalisée à partir des données provenant de la base de données du MDDEFP. Au nord du lac Saint-Jean, les milieux humides couvrent des superficies de plusieurs dizaines de km², notamment le long des rivières Ashuapmushuan, Mistassibi, Mistassini et Péribonka, de même que dans les secteurs de Vauvert et de Pointe-Taillon.

1.3.3 Milieu humain

Territoire municipalisé

La **carte #2 – Routes, limites municipales et toponymie** (Annexe 1) montre que le territoire se divise en 5 MRC, soit la MRC du Domaine-du-Roy, la MRC du Fjord-du-Saguenay, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC de Maria-Chapdelaine et la MRC de la Ville de Saguenay. Au total, 49 municipalités et 1 territoire autochtone composent le territoire municipalisé du SLSJ. Cette carte présente également le réseau routier du SLSJ qui se compose d’une autoroute et de 7 routes nationales. Le Tableau 1—6 présente les principales caractéristiques de ces routes. De plus, une voie ferrée relie les villes de Saguenay (arrondissements de La Baie, de Chicoutimi et de Jonquière), Roberval, Saint-Félicien et Dolbeau-Mistassini.

Tableau 1—6 : Principales caractéristiques du réseau routier au SLSJ.

Numéro	Statut	Lien routier
70	Autoroute	Relie les arrondissements de Chicoutimi et Jonquière de la Ville de Saguenay
155	Route nationale	Relie la ville de La Tuque à la municipalité de Chambord
167	Route nationale	Relie les villes de Chibougamau et de Saint-Félicien
169	Route nationale	Relie les villes de Québec et d’Alma et permet d’accéder aux villes et municipalités localisées autour du lac Saint-Jean
170	Route nationale	Relie le village de Saint-Siméon à la ville d’Alma en passant par les villes et municipalités bordant le sud de la rivière Saguenay
172	Route nationale	Relie la municipalité de Tadoussac à la ville d’Alma en passant par les villes et municipalités bordant le nord de la rivière Saguenay
175	Route nationale	Relie les villes de Québec et de Chicoutimi. Plusieurs sections de cette route ont été transformées au cours des dernières années en tronçons de route à quatre voies divisées.
381	Route nationale	Relie la ville de Baie Saint-Paul à l’arrondissement de La Baie de la ville de Saguenay

Population

Le Tableau 1—7 présente les superficies⁴ occupées par les différentes municipalités, ainsi que leur population -⁵. La MRC la plus peuplée correspond à celle de la Ville de Saguenay, avec 144 746 habitants répartis dans 7 arrondissements fusionnés (Canton-Tremblay, Chicoutimi, Jonquière, LaBaie, Lac-Kénogami, Laterrière, et Shipshaw). La MRC du Fjord-du-Saguenay est la plus grande en superficie. Elle couvre 3 731,4 km². Au total, le territoire municipalisé du SLSJ couvre une superficie de 13 200 km², et possède une population de 271 512 habitants.

Affectation du territoire

La **carte #10 – Affectation du territoire** (Annexe 1) présente la répartition des principales vocations des parcelles de territoire municipalisé du SLSJ. Elles sont groupées en 7 catégories (agricole, agroforestière, conservation, forestière, industrielle, récréatif et résidentielle et commerciale). Les zones forestières, agroforestières et agricoles totalisent 88% du territoire municipalisé du SLSJ. La carte permet de distinguer les grands centres urbains (Alma, Chicoutimi, Dolbeau-Mistassini, Jonquière, La Baie, Roberval et Saint-Félicien) des plus petites agglomérations. De plus, la carte permet de localiser aisément les activités récréatives et de villégiatures, notamment sur la Pointe-Taillon et sur les rives du lac Kénogami.

Occupation du sol

La **Carte #7 – Occupation du sol** (Annexe 1) représente les différents types d'activité sur le territoire. Elle a été élaborée à partir des données résultant de la vectorisation de données matricielles thématiques issues de la classification d'ortho-images Landsat5 et Landsat7. La classification des données originales a été regroupée en 6 grandes zones (agricoles, arbustives, découvertes, forestières, humides et urbaines) en excluant les zones nuageuses et ombragées, ainsi que l'hydrographie. Les zones arbustives, forestières et agricoles couvrent plus de 90% du territoire municipalisé du SLSJ.

⁴ Les superficies ont été calculées à partir des couches numériques du territoire municipalisé

⁵ Pour tous ces tableaux, le nombre d'habitants provient de : 1) Recensement 2011, Statistique Canada et 2) rapport Eau potable/eaux usées inspection annuelle 2011-2012 Mashteuatsh, Ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada.

Tableau 1—7 : Population et superficie des municipalités du SLSJ par MRC.

MUNICIPALITÉ	SUPERFICIE (km ²)	POPULATION
MRC DU DOMAINE-DU-ROY		
Chambord	170,7	1 773
Lac-Bouchette	972,2	1 174
La Doré	297,1	1 453
Roberval	200,3	10 227
Saint-André-du-Lac-Saint-Jean	146,5	488
Sainte-Hedwige	476,1	824
Saint-Félicien	383,6	7 165
Saint-François-de-Sales	202,0	654
Saint-Prime	160,5	2 758
Sous-total	3 009,0	26 516
MRC DU FJORD-DU-SAGUENAY		
Bégin	195,6	868
Ferland-et-Boilleau	407,3	583
L'Anse-Saint-Jean	530,2	1 208
Larouche	89,6	1 277
Petit-Saguenay	337,1	727
Rivière-Éternité	524,5	484
Saint-Ambroise	150,2	3 546
Saint-Charles-de-Bourget	62,5	690
Saint-David-de-Falardeau	418,3	2 657
Sainte-Rose-du-Nord	156,4	413
Saint-Félix-d'Otis	278,1	801
Saint-Fulgence	390,7	1 949
Saint-Honoré	190,9	5 257
Sous-total	3 731,4	20 460
MRC LAC SAINT-JEAN-EST		
Alma	230,3	30 904
Desbiens	10,9	1 053
Hébertville	268,8	2 441
Hébertville-Station	32,7	1 216
Labrecque	157,3	1 215
Lamarche	92,6	557
L'Ascension-de-Notre-Seigneur	132,5	1 983
Métabetchouan - Lac-à-la-Croix	193,8	4 097
Saint-Bruno	76,5	2 636
Sainte-Monique	160,4	865
Saint-Gédéon	82,8	2 001
Saint-Henri-de-Taillon	62,2	760
Saint-Ludger-de-Milot	111,2	678
Saint-Nazaire	144,8	2 114
Sous-total	1 756,8	52 520
MRC DE MARIA-CHAPDELAINE		
Albanel	203,0	2 293
Dolbeau-Mistassini	355,6	14 384
Girardville	133,1	1 100
Normandin	216,2	3 137
Notre-Dame-de-Lorette	339,5	189
Péribonka	129,1	464
Saint-Augustin	104,0	400
Saint-Edmond-les-Plaines	85,9	390
Sainte-Jeanne-d'Arc	273,3	1 089
Saint-Eugène-d'Argentenay	86,4	546
Saint-Stanislas	162,1	353
Saint-Thomas-Didyme	357,3	677
Sous-total	2 445,5	25 022
VILLE DE SAGUENAY	1 279,7	144 746
PEKUAKAMIULNUATSH TAKUHIKAN	15,5	2 248
TOTAL	12 237,9	271 512

1.4 État des connaissances hydrogéologiques régionales

La connaissance de l'hydrogéologie du SLSJ est très peu documentée. Avant le PACES-SLSJ, l'étude de Dessureault (1975) était la seule synthèse régionale des connaissances sur les eaux souterraines. De plus, elle couvre uniquement la partie nord-est du territoire municipalisé du lac Saint-Jean. Les travaux se sont déroulés de 1967 à 1971. Les recherches ont été concentrées à Labrecque (*i.e.* Saint-Léon), Saint-Nazaire, Saint-Henri-de-Taillon et l'Ascension-de-Notre-Seigneur.

Les travaux ont permis d'amasser des informations sur l'épaisseur des dépôts meubles et sur la topographie du roc, et ont conduit à la première délimitation de certains aquifères du territoire. Aussi, cette étude s'appuie sur des résultats de résistivité électrique pour déterminer l'épaisseur et l'extension des argiles marines et la présence à certains endroits d'une nappe d'eau salée. Le rapport final est accompagné de 4 cartes partielles de la topographie du roc présentées sous la forme de courbes de niveau, à l'échelle 1 : 50 000. Ces cartes ont été élaborées à l'aide de sondages stratigraphiques (leur localisation et l'information stratigraphique sont fournies avec le rapport) et des sondages géoélectriques (les données brutes ne sont pas présentées avec le rapport). Ces levés ont aussi permis d'interpréter la stratigraphie des secteurs visés à l'aide de 6 coupes stratigraphiques dont la longueur est environ 20 km. De plus, plusieurs essais de pompage ont été réalisés et des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés pour fins d'analyse chimique. Ainsi, chaque aquifère identifié lors de cette étude est caractérisé par 2 niveaux piézométriques (statique et dynamique), des propriétés hydrauliques (capacité spécifique, transmissivité et coefficient d'emmagasinement) et des résultats d'analyse physico-chimiques. Les détails des essais de pompage (débit de pompage, données brutes de rabattement/remontée en fonction du temps et graphiques associés) sont livrés avec le rapport, de même que les spécificités de l'ouvrage de captage (diamètre, profondeur, longueur et numéro de crépine).

1.4.1 Stratigraphie et propriétés hydrauliques des formations aquifères identifiées

À l'aide des travaux de Tremblay (1966), Dessureault (1975) identifie 4 principales unités stratigraphiques. À partir du socle rocheux, la séquence stratigraphique est la suivante : le till, le gravier fluvio-glaciaire, l'argile de la mer Laflamme et les sables et graviers de la mer Laflamme. L'argile couvre la plus grande partie de la région étudiée et Dessureault (1975) la décrit comme un matériau relativement imperméable pouvant fournir des débits très faibles. Selon lui, le roc de la région ne se prête pas non plus à l'aménagement de puits à fort débit, malgré le fait qu'il puisse fournir des débits parfois suffisants pour l'alimentation de quelques familles (1 à 5 gallons par minutes; gpm). L'interprétation des coupes stratigraphiques⁶ a permis à Dessureault (1975) d'identifier 4 aquifères : l'aquifère de Saint-Léon et l'aquifère de l'Ascension (Figure 1-8, coupe A-A'), l'aquifère de Saint-Nazaire (Figure 1-8, coupe B-B') et l'aquifère de Saint-Henri-de-Taillon (Figure 1-10, coupe F-F'). Ces aquifères constitués de dépôts graveleux sont tous caractérisés par une importante couche de confinement argileuse. D'autres aquifères confinés potentiels sont mis en évidence dans les coupes E-E' (Figure 1-10) et C-C' (Figure 1-9) aux endroits où l'épaisseur de gravier est plus importante. La coupe F-F' (Figure 1-10) montre que la

⁶ Dans le cadre du PACES-SLSJ, les coupes stratigraphiques réalisées par Dessureault (1975) ont été numérisées et éditées.

partie la plus à l'est de cette couche aquifère est découverte d'argile. La coupe D-D' (Figure 1-9) présente un important dépôt de sable sur lequel se trouve la rivière Mistassini.

Pour Dessureault (1975), le sable de surface et le gravier fluvioglaciaire offrent les meilleures capacités aquifères. Le sable de surface (nappe libre) recouvre une grande partie du territoire visé, notamment dans le secteur de l'Ascension-de-Notre-Seigneur où il comble, avec l'argile, une dépression profonde de plus de 120m. Les débits d'exploitation estimés par Dessureault (1975) dans ces formations géologiques sont variables de 50 à 200 gpm. Le gravier fluvioglaciaire occupe préférentiellement les dépressions du socle rocheux et se trouve parfois recouvert d'argile (nappe confinée). C'est le cas dans le secteur de Saint-Ludger-de-Milot où les dépôts fluvioglaciaires occupent une vallée profonde d'une cinquantaine de mètres de direction nord-est/sud-ouest. L'auteur signale aussi la présence d'aquifères confinés dans les régions de Labrecque et de Saint-Nazaire. Les essais de pompage réalisés dans ces unités géologiques montrent que les débits d'exploitation sont compris entre 500 et 1 000 gpm. Un aquifère confiné à plus faible perméabilité est aussi identifié au nord de Saint-Henri-de-Taillon.

Les coupes de Dessureault (1975) sont représentées sur la Figure 1-11, ainsi que la trace en plan d'une série de coupes réalisées par LaSalle et Tremblay (1978) dont les travaux ont été présentés à la section 1.3.1. Comme celles de Dessureault (1975), les coupes de LaSalle et Tremblay (1978) (Figure 1-12; coupes 6A à 6D) mettent en évidence d'importants dépôts d'argile sous des horizons sableux de surface. À certains endroits l'argile confine des dépôts de sédiments fluvioglaciaires (nappes confinées). Les dépôts granulaires de surface sont constitués majoritairement de sables deltaïques et de sables et graviers littoraux (nappes libres) qui atteignent souvent plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur et s'étendent sur plusieurs kilomètres. Des dépôts de till sont trouvés localement superposés au roc.

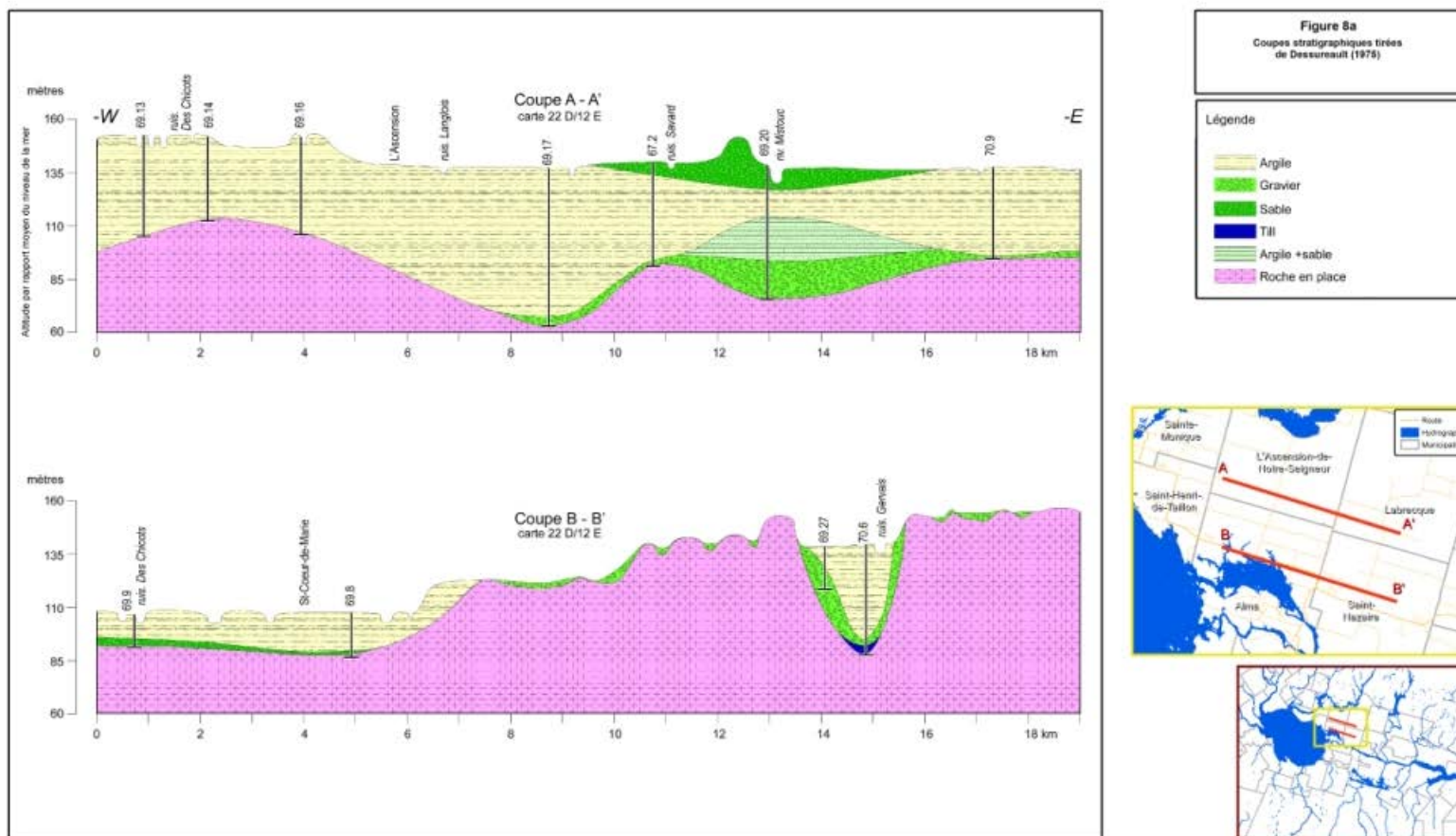


Figure 1-8 : Coupes stratigraphiques A-A' et B-B' tirées de Dessureault (1975).

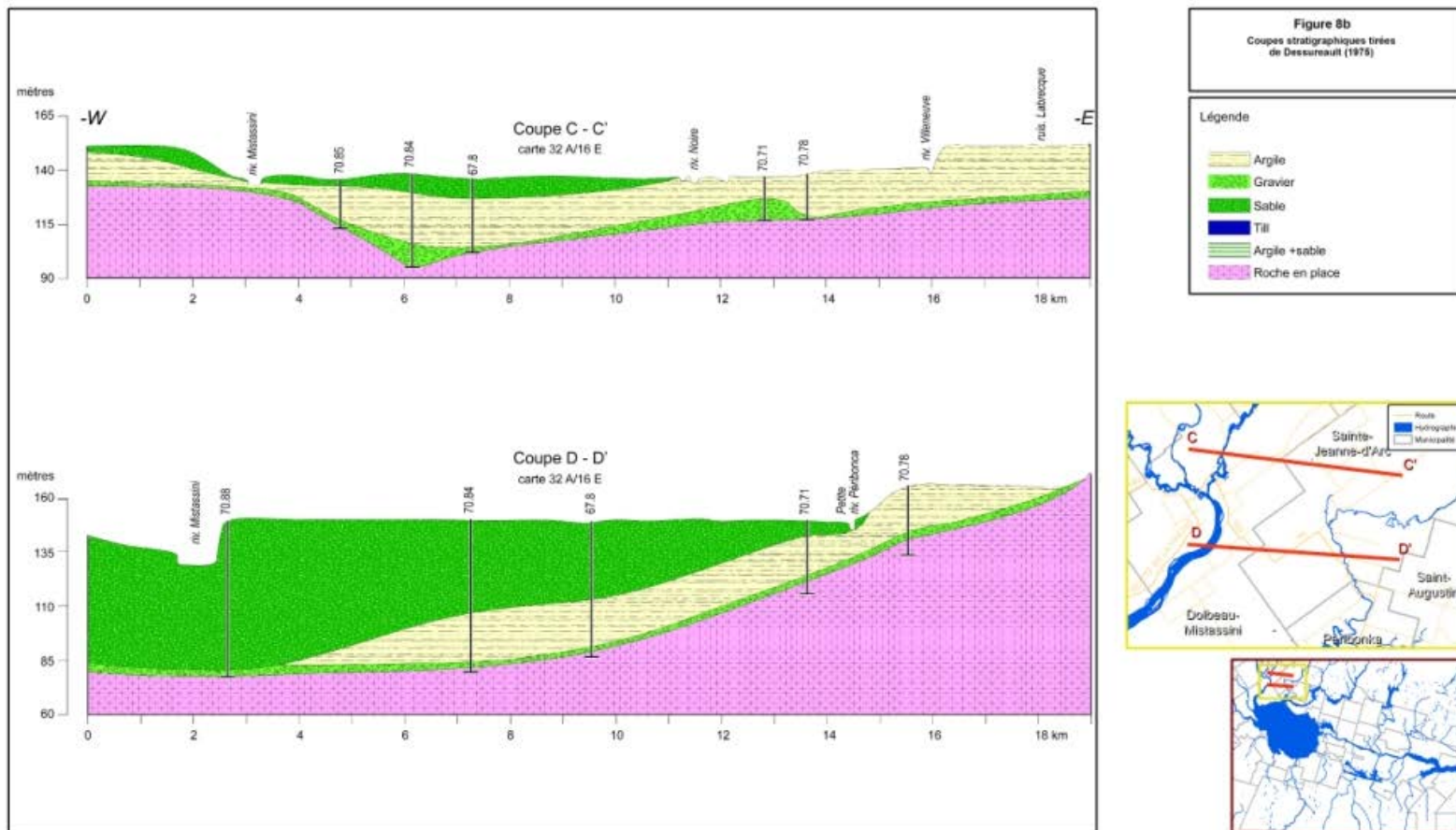


Figure 1-9 : Coupes stratigraphiques C-C' et D-D' tirées de Dessureault (1975).

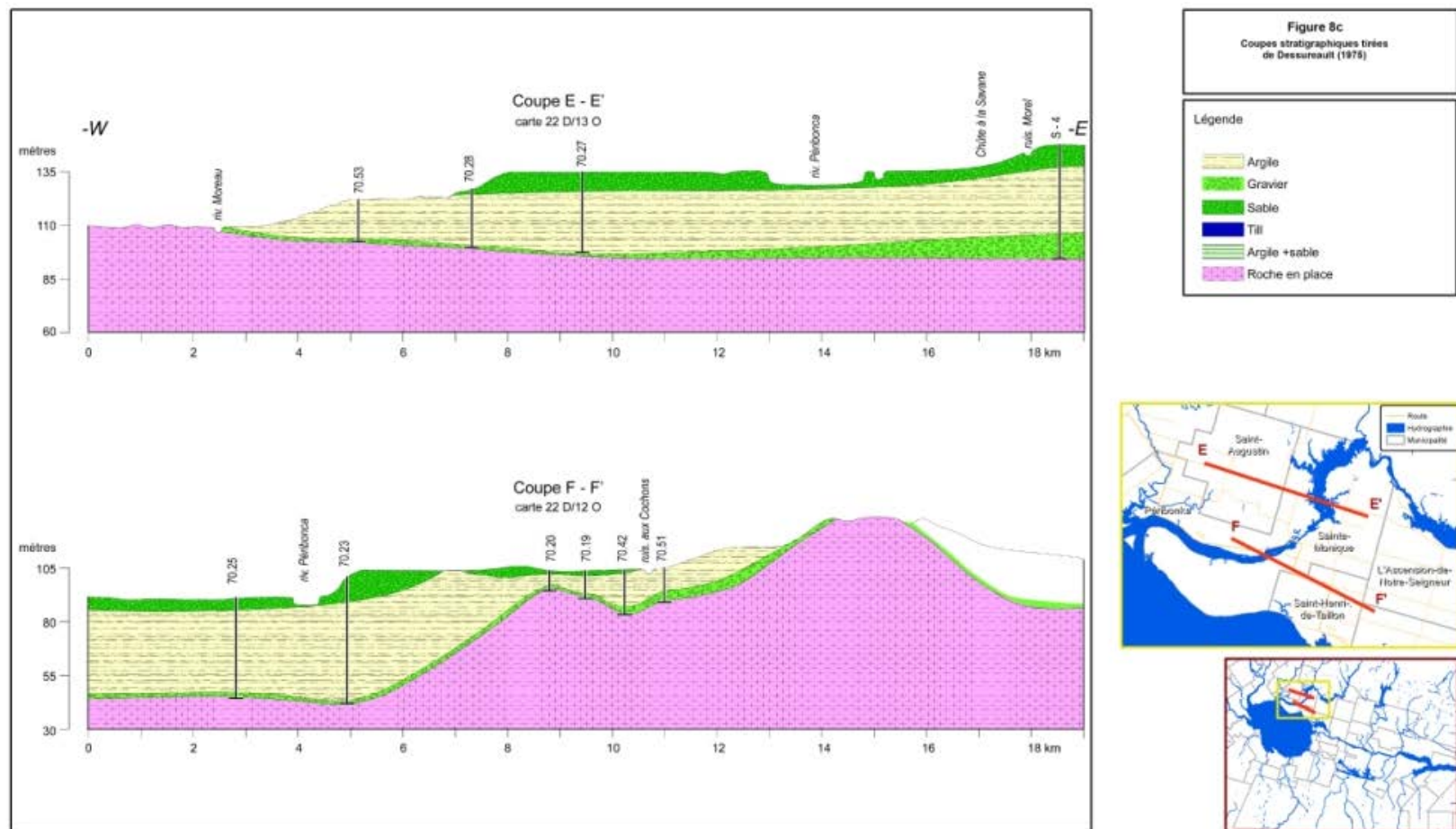


Figure 1-10 : Coupes stratigraphiques E-E' et F-F' tirées de Desjardins (1975).

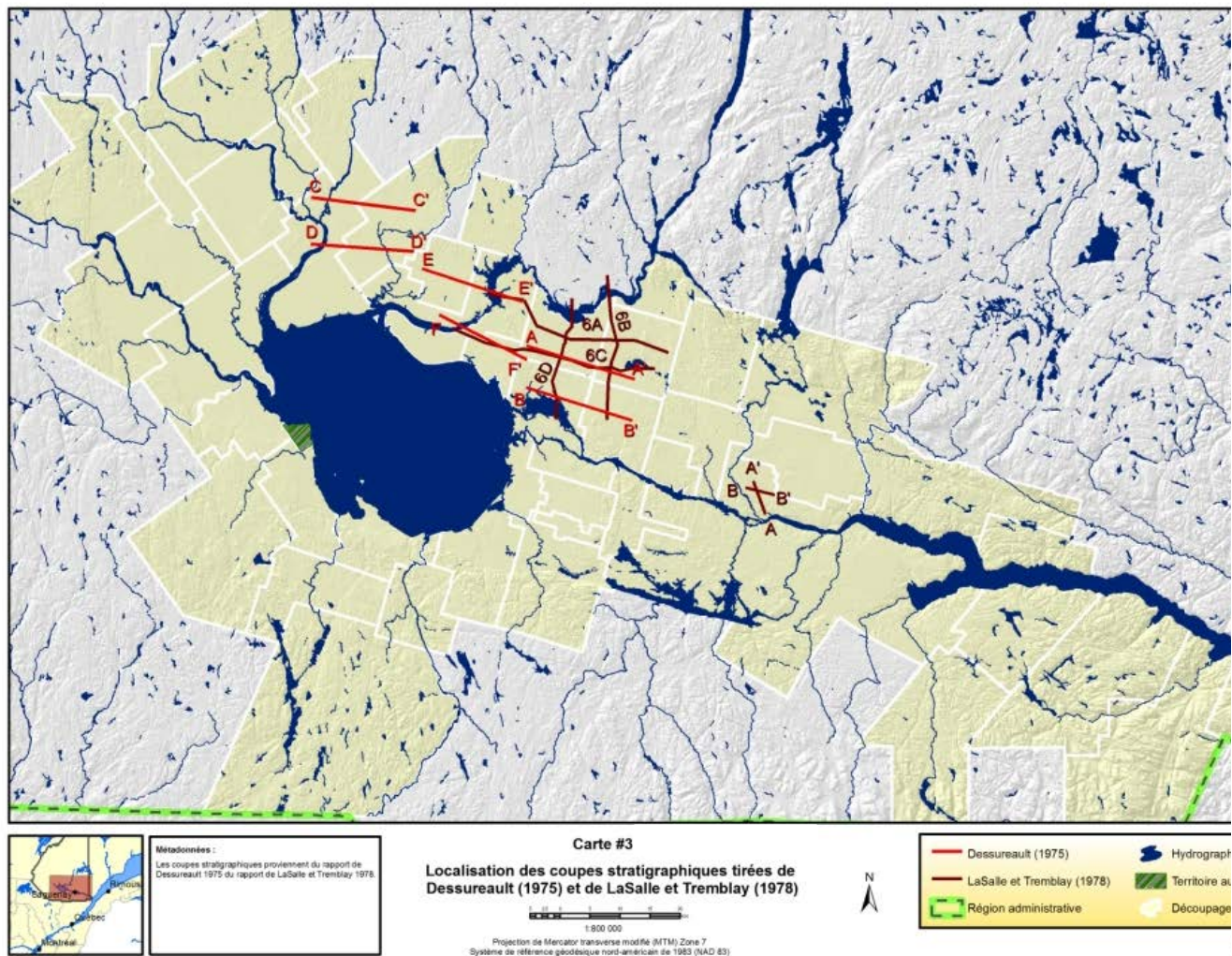


Figure 1-11: Localisation des coupes stratigraphiques tirées des rapports de Dessureault (1975) et de LaSalle et Tremblay (1978).

1.4.2 Qualité de l'eau souterraine

Dessureault (1975) a interprété et corrélié les résultats d'analyses chimiques d'eau souterraine provenant de puits tubulaires. Ils révèlent un contenu en ions dissous généralement faible, à l'exception de l'eau salée contenue dans l'aquifère de Labrecque. Pour l'auteur, la présence d'argiles marines très conductrices constitue la principale source de contamination de certaines nappes confinées. D'ailleurs, l'auteur recommande une limitation des débits de pompage à ces endroits et la surveillance à long terme de la chimie de l'eau des puits pour ne pas risquer de rompre de manière irréversible l'équilibre entre les nappes d'eau douce et celles d'eau salée. La présence d'eau salée dans le roc est aussi identifiée jusqu'à des profondeurs de 150 à 215 m entre l'Ascension-de-Notre-Seigneur et Saint-Cœur-de-Marie. La chimie de l'eau souterraine de la nappe libre est faiblement minéralisée (résidu sec de 50 mg/L) mais des teneurs en fer élevées ont été identifiées (jusqu'à 0,5 mg/L).

Simard et Des Rosiers (1979) ont présenté un survol des divers aquifères du Québec méridional, mettant l'accent sur la qualité des eaux souterraines basée sur 216 échantillons. Ils ont analysé une vingtaine d'échantillons d'eau provenant du socle précambrien, et ont défini quatre unités « hydrostratigraphiques » dans ce vaste domaine géologique, essentiellement en fonction des régions habitées, soit 1) le Témiscamingue, 2) l'Abitibi, 3) le Saguenay-Lac-Saint-Jean et 4) le reste du territoire.

Parmi les échantillons, seulement 3 ont été prélevés au SLSJ. Sur la vingtaine d'échantillons prélevés dans le bouclier précambrien, quatre ont montré une eau chlorurée, dont deux sont situés au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les cas de teneurs excessives en fluor (>1,5 mg/L; 2/20) et en chlore (>250 mg/L; 1/20), ainsi que le cas de salinité élevée (>1 000 mg/L) sont également situés au Saguenay-Lac-Saint-Jean.

En général, les documents présentés ci-dessus attestent de l'excellente qualité de l'eau souterraine au Saguenay-Lac-Saint-Jean et mentionnent seulement quelques cas locaux d'eau minéralisée.

1.4.3 Autres données

De nombreuses données concernant les eaux souterraines régionales ont été recueillies au fil des ans, à des fins diverses, par des organismes publics, gouvernementaux et municipaux, ainsi que des entreprises privées. Cependant, ces informations utiles sont disparates, éparses et non intégrées dans une banque de données communes, ce qui les rend difficilement accessibles. De plus, ces données de sources multiples sont de qualité inégale et de pertinence variable. Leur obtention requiert un effort laborieux et nécessite une approche au cas par cas exigeante en temps.

1.4.4 En résumé

Préalablement au PACES-SLSJ, plusieurs constats concernant les aquifères et les eaux souterraines au SLSJ, ainsi que nos connaissances sur cette ressource, peuvent être résumés ainsi :

- Les données hydrogéologiques existantes proviennent de sources diverses et de qualité inégale.
- L'obtention, l'analyse et la numérisation de ces données requièrent une bonne expertise hydrogéologique, du travail laborieux et de nombreuses démarches auprès des détenteurs des données.
- Des portions importantes du territoire municipalisé n'ont pas été soumises à ce jour à une cartographie géologique à une échelle utile en hydrogéologie, soit à 1 : 50 000 ou plus détaillée, tant pour le socle rocheux que pour les dépôts meubles.
- Plusieurs aquifères locaux constitués de dépôts meubles granulaires sont très importants, mais ils sont généralement distincts les uns des autres, non connectés entre eux et leurs limites latérales souvent inconnues.
- Dans la portion nord-est du lac Saint-Jean, des aquifères à bon potentiel ont été identifiés dans des sables deltaïques de surface (nappes libres), et dans des sables fluvioglaciaires confinés par l'argile de la mer Laflamme (nappes captives).
- Des aquifères locaux sont suspectés dans les roches sédimentaires (calcaire) de l'Ordovicien peu déformées et dans les roches cristallines précambriennes.
- De nombreux aquifères discontinus et peu connectés les uns aux autres sont constitués de zones de faille et de cisaillement dans le socle rocheux cristallin.
- La qualité de l'eau souterraine est généralement bonne mais des teneurs supérieures à des critères de potabilité pour certains éléments chimiques sont identifiées localement.

1.5 Raison d'être du PACES-SLSJ

Une étude⁷ du ministère de l'Environnement, publiée en mars 2002, démontrait que près de 80 000 résidants (28 %) de la région ont recours aux eaux souterraines comme source d'approvisionnement en eau potable, dont 25 600 sont alimentés par des puits individuels. À ces derniers s'ajoutent plus de 54 000 résidants, répartis dans 25 municipalités du Saguenay–Lac-Saint-Jean, qui tirent leur eau potable de réseaux publics s'alimentant à partir de cette ressource. De plus, plusieurs entreprises prélèvent de l'eau souterraine, parmi lesquelles des entreprises d'envergure, telles la mine Niobec à Saint-Honoré et l'aluminerie de la Société Rio-Tinto Alcan à Laterrière. L'utilisation des eaux souterraines est présentement en croissance dans la région SLSJ comme ailleurs au Québec, et ce pour diverses raisons dont:

- la qualité naturelle de l'eau souterraine qui respecte plusieurs critères de potabilité, ce qui réduit la nécessité de la traiter et présente un avantage économique;
- le resserrement, en 2001, des normes de qualité de l'eau potable au Québec.

Devant l'utilisation accrue des eaux souterraines, leur mise en valeur ainsi que leur protection deviennent un enjeu majeur pour les décideurs de la région. L'atteinte de ces objectifs exige des connaissances appropriées, notamment du sous-sol afin de protéger cette ressource et de l'exploiter de façon durable et économique. Ainsi, la raison d'être du PACES-SLSJ est fondée sur les aspects hydrogéologiques particuliers présentés plus haut ainsi que sur des problématiques socio-économiques telles la nécessité de protection de cette ressource, les conflits d'usage, les effets de la qualité de l'eau sur la santé, l'utilisation du territoire et la préparation aux changements climatiques.

⁷Portrait régional de l'eau. Saguenay–Lac-Saint-Jean (Région administrative 02). Environnement Québec. Mars 2002.

1.5.1 La protection des eaux souterraines

La protection de la ressource en eau souterraine vise à protéger les nappes des contaminations potentielles provenant de la surface. Ceci implique de limiter, contrôler et gérer adéquatement les activités anthropiques en surface afin que les contaminations potentielles ne puissent pas être transportées vers les nappes d'eau souterraine. Actuellement, seuls les territoires localisés dans l'aire d'alimentation des puits de captage restreignent les activités anthropiques dans un but de protection des eaux souterraines. Cependant, les nappes ayant un fort potentiel d'exploitation pour l'alimentation en eau potable mais qui ne sont présentement pas exploitées ne sont pas protégées. Ainsi une meilleure connaissance des propriétés aquifères, des écoulements souterrains et des nappes d'eau souterraine de la région, permettrait une gestion du territoire mieux intégrée et orientée vers la protection des eaux souterraines. Ceci permettrait également d'éviter certains conflits d'usage du territoire, par exemple avec les zones agricoles et industrielles. À cet effet, il ressort de l'étude du MENVQ (1999), que les cas les plus nombreux de contamination de l'eau souterraine sont associés à l'entreposage de produits pétroliers principalement en milieu urbain, ainsi qu'aux dépôts de matières ligneuses, à certains lieux d'élimination de déchets et aux aires d'entreposage de résidus de procédés industriels.

1.5.2 Conflits d'usage

Une nappe d'eau souterraine peut être sollicitée par plusieurs exploitants et ainsi mener à des conflits d'usage. Ainsi, une meilleure connaissance de la ressource en eau souterraine, notamment de la quantité d'eau disponible et de la recharge annuelle de l'aquifère, permet d'estimer de façon plus précise le bilan hydraulique pour un aquifère. Ceci afin de planifier une exploitation durable pour cet aquifère malgré l'exploitation par plusieurs utilisateurs. Ces utilisateurs n'exploitent pas tous l'aquifère à des fins d'alimentation en eau potable mais peuvent également l'exploiter dans le but d'abaisser le niveau de la nappe pour l'exploitation d'une carrière, d'une sablière, d'une mine ou d'une tourbière.

1.5.3 La qualité naturelle des eaux souterraines et la santé

Les résultats d'une étude par Walter (2010) indiquent que les eaux souterraines de notre région sont souvent affectées de façon naturelle par des teneurs supérieures aux critères de potabilité pour certains éléments chimiques. C'est le cas notamment du fluor dans certains puits autour du lac Saint-Jean. L'origine et l'étendue de ces teneurs supérieures aux critères de potabilité sont encore inconnues au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ceci démontre qu'une caractérisation régionale de la qualité de l'eau souterraine utilisée pour l'alimentation en eau potable est requise. Une fois l'hydrogéochimie caractérisée, les organismes responsables de la santé pourront évaluer l'effet de ces teneurs élevées sur la santé de la population concernée.

1.5.4 Changements climatiques et besoins en eau

Les changements climatiques qui se confirment actuellement sont caractérisés par une tendance au réchauffement, ainsi que par des événements extrêmes plus fréquents et de plus forte intensité. Les périodes de forte chaleur et de sécheresse durant l'été (les canicules) vont probablement devenir plus longues et plus intenses. L'agriculture sera une des activités les plus affectées par ces changements, et ses besoins en irrigation sont appelés à augmenter.

Soulignons que l'irrigation consomme environ les 2/3 de l'eau souterraine extraite au niveau mondial. Il est donc fort probable que l'industrie agricole devienne dans notre région également une utilisatrice importante des eaux souterraines, cette tendance se faisant déjà sentir dans des régions du Québec situées au sud du Saint-Laurent.

1.5.5 Un outil d'aide à la décision pour la gestion des eaux souterraines

L'eau souterraine alimente une part importante de la population du SLSJ. Elle constitue une ressource importante pour de nombreuses industries et son utilisation pour l'irrigation tant à croître au fil des années. L'eau souterraine influence également en grande partie les écosystèmes aquatiques. L'exploitation pour l'alimentation en eau potable ou pour des besoins industriels, les risques de pollution, les projets d'aménagement du territoire et la dynamique de l'eau souterraine dans les écosystèmes sont autant de questions ou sources de conflits auxquelles il est difficile de répondre sans une connaissance adéquate du milieu. Le PACES-SLSJ mène à un portrait de l'état des connaissances sur les eaux souterraines permettant aux décideurs, aux personnes des secteurs privés et communautaires, ainsi qu'aux citoyens soucieux de l'environnement d'apprécier l'impact de leurs activités sur l'eau souterraine. Cet état des connaissances est indispensable à une prise de décision éclairée dans une perspective de développement durable, et considérant pleinement la ressource en eau souterraine.

2 ACQUISITION DES DONNÉES ET CARACTÉRISATION

Le PACES-SLSJ s'est déroulé en trois phases, ceci en fonction du programme du MDDEFP. Les deux premières phases correspondent à l'acquisition des données utiles à la réalisation de la troisième phase. À des fins d'archive et de traitement, ces données sont consignées tout au long du projet dans une base de données spatiales, véritable cœur du PACES-SLSJ. Ainsi, ce chapitre traite de la collecte de l'information existante (section 2.1), de la collecte de nouvelles données sur le terrain (section 2.2) et des étapes de saisie, de validation et d'archivage au sein de la base de données spatiales de l'ensemble de ces données (section 2.3). Finalement, la dernière section décrit la base de données spatiales (section 2.4).

2.1 Collecte de l'information existante et sources des données

La première phase du PACES-SLSJ correspond à la collecte des données existantes obtenues soit sur support papier, soit sur support électronique. En effet, la connaissance des aquifères et des eaux souterraines d'un territoire requiert d'abord une analyse des données pertinentes existantes. De nombreuses données concernant les eaux souterraines régionales ont été recueillies au fil des ans, à des fins diverses, par des organismes publics, gouvernementaux et municipaux, ainsi que des entreprises privées. Ces informations utiles sont disparates, éparses et non intégrées dans une banque de données communes, ce qui les rend difficilement accessibles. Ces données sont aussi de sources multiples, de qualité inégale et de pertinence variable. L'expérience du PACES-SLSJ a permis à l'équipe de recherche sur les eaux souterraines du CERM de dresser des listes exhaustives des données collectées lors de la phase 1, ainsi que d'identifier précisément leur source et leur mode de représentation.

2.1.1 Types de données existantes

Les données existantes qui ont été utiles à l'élaboration du PACES-SLSJ se regroupent en trois grandes catégories, soit : 1 – les données sur le territoire, 2 – les données géologiques et 3 – les données hydrogéologiques.

1 - Les données sur le territoire

Les données sur le territoire regroupent les données sur le milieu naturel (topographie, hydrographie, stations hydrométriques et météorologiques) et les données sur le milieu humain (territoire municipalisé, occupation du territoire, activités anthropiques et utilisation de l'eau souterraine). L'ensemble de ces données permet de dresser le portrait physiographique et socio-économique des territoires à l'étude tel que présenté dans l'introduction de ce rapport. Généralement, les données sur le territoire existent déjà sous la forme de listes de données numériques ou de données numériques spatiales en format matriciel ou vectoriel. Le Tableau 2—1 et le Tableau 2—2 présentent respectivement les jeux de données se rapportant au milieu naturel et au milieu humain.

Tableau 2—1: Couches numériques correspondant aux données sur le milieu naturel.

Jeu de données	Mode de représentation	Primitive géométrique	Propriétaire	Base de données
Stations hydrométriques	Liste de données numériques	Point	MDDEFP / EC	BD CEHQ / HYDAT
Stations météorologiques	Liste de données numériques	Point	MDDEFP / EC	Surveillance du climat / National Climate Data
Qualité Eau de surface	Liste de données numériques	Point	MDDEFP	BQMA
Réseau hydrographique	Vectorel	Ligne	MRN	BDTQ
Bassins versants	Vectorel	Polygone	MDDEFP	CEHQ
Modèle numérique d'élévation	Matriciel	Pixel	MRN	BDTQ
Courbe de niveau	Vectorel	Ligne	MRN	BDTQ

Tableau 2—2: Couches numériques correspondant aux données sur le milieu humain.

Jeu de données	Mode de représentation	Primitive géométrique	Propriétaire	Base de données
Site extraction	Vectorel	Point	MRN	BDTQ
Carrière	Vectorel	Polygone	MRN	BDTQ
Banc emprunt	Vectorel	Polygone	MRN	BDTQ
Type d'approvisionnement en eau	Liste de données numériques	Polygone	MDDEFP	Répertoire des réseaux de distribution de l'eau potable
Occupation du sol	Matriciel	Pixel	COCG	Geobase
Affectation du territoire	Vectorel	Polygone	MRC	Matrice d'affectation
Région administrative	Vectorel	Polygone	MRN	SDA
Limite de MRC	Vectorel	Polygone	MRN	SDA
Limite de municipalité	Vectorel	Polygone	MRN	SDA
Cadastre	Vectorel	Ligne	MRC	MRC
Terres publiques intramunicipales (TPI)	Vectorel	Polygone	MRC	MRC
Réseau routier	Vectorel	Ligne	MRN	BDTQ
Points géodésiques	Vectorel	Point	RnCan	BD du Service canadien de géodésie

EC : Environnement Canada

CEHQ : Centre d'expertise hydrique du Québec

BDTQ : Base de données topographiques du Québec

BQMA : Base de données sur la qualité des milieux aquatiques

MDDEFP : Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

MRNF : Ministère des ressources naturelles

COCG: Conseil canadien de géomatique

RnCan : Ressources naturelles Canada

SDA : systèmes de découpage administratif

Pour chaque jeu de données, les modes de représentation de la donnée source⁸ et la primitive géométrique⁹ sont précisés, de même que son propriétaire et la base de données les contenant.

⁸Le mode de représentation de la donnée source correspond au format initial dans lequel on trouve généralement le jeu de données

⁹La primitive géométrique correspond à la forme que possède la donnée numérique spatiale ou celle qu'elle prendra une fois spatialisée et accessible via un système d'information géographique tel qu'*ArcGis* d'*ESRI*.

Cette information est notamment utile pour définir les droits de diffusion se rapportant au jeu de données. Des ententes de diffusion ont été conclues entre le MDDEFP et les autres ministères et organismes. Dans certains cas¹⁰, certaines restrictions s'appliquent.

2 - Les données géologiques

Les données géologiques se rapportent à toutes les informations de caractérisation du contenant des eaux souterraines, c'est-à-dire les dépôts meubles et le socle rocheux. Cette information se présente sous la forme de cartes ou de données ponctuelles (ex. : forages, levés géochimiques). Elle constitue une donnée essentielle au PACES. Plusieurs ministères et organismes en sont les dépositaires.

Le ministère des Ressources naturelles (MRN)

Compilations géoscientifiques numériques

Le principal dépositaire de cette information est le MRN dont les informations disponibles peuvent être consultées via le système d'informations géominières (SIGEOM). Les données géologiques (géologie structurale, localisation et nature des affleurements rocheux, localisation et description des forages géologiques, description des lithologies et des contacts géologiques, etc.) prennent la forme de compilations géoscientifiques, présentées par feuillets SNRC au 1/50 000. Un total de 1 139 forages a été extrait de ces compilations. L'information est généralement peu détaillée pour les dépôts de surface (peu de données stratigraphiques) en comparaison aux informations disponibles sur la nature du roc. La Figure 2-1 montre la répartition sur le territoire municipalisé des forages extraits du SIGEOM.

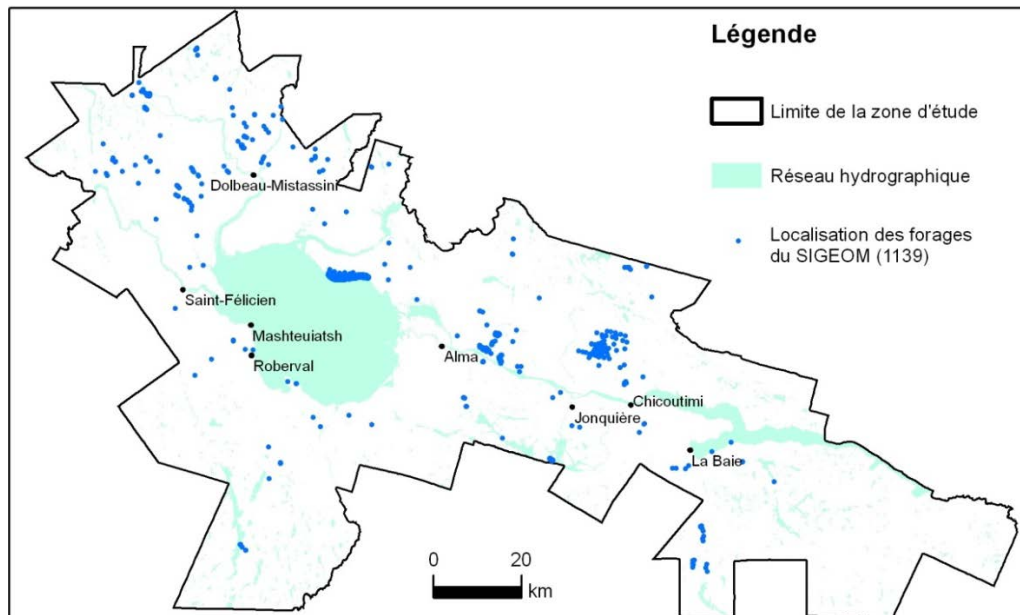


Figure 2-1 : Localisation des forages géologiques extraits des compilations géoscientifiques du Système d'information géologique et minière (SIGEOM).

¹⁰ Référer au MDDEFP pour connaître les détails des droits de diffusion de ces données.

Rapports géologiques

Les rapports à l'origine de ces compilations sont disponibles en format numérique statique (scan) et doivent être obtenus, car ils contiennent l'information textuelle descriptive indispensable à la mise en contexte de l'information compilée (objectifs du forage, description lithologique détaillée, etc.). Ces documents se présentent sous forme de manuscrit ou de carte et ont été élaborés par des géologues de l'industrie minière ou du ministère des Ressources naturelles. Dans le cadre du PACES-SLSJ, les cartes géologiques ont été d'une grande utilité pour la définition des milieux aquifères en socle rocheux et pour la localisation des affleurements nécessaires à la connaissance du cadre stratigraphique régionale (chapitre 3). Au total, 23 583 affleurements sont identifiés dans le SIGEOM et 15 477 autres affleurements ont été géoréférencés dans un système d'information géographique à partir des cartes géologiques contenues dans divers rapports disponibles en format statique (scan). La localisation de la totalité des informations obtenues du MRN est présentée à la Figure 2-2.

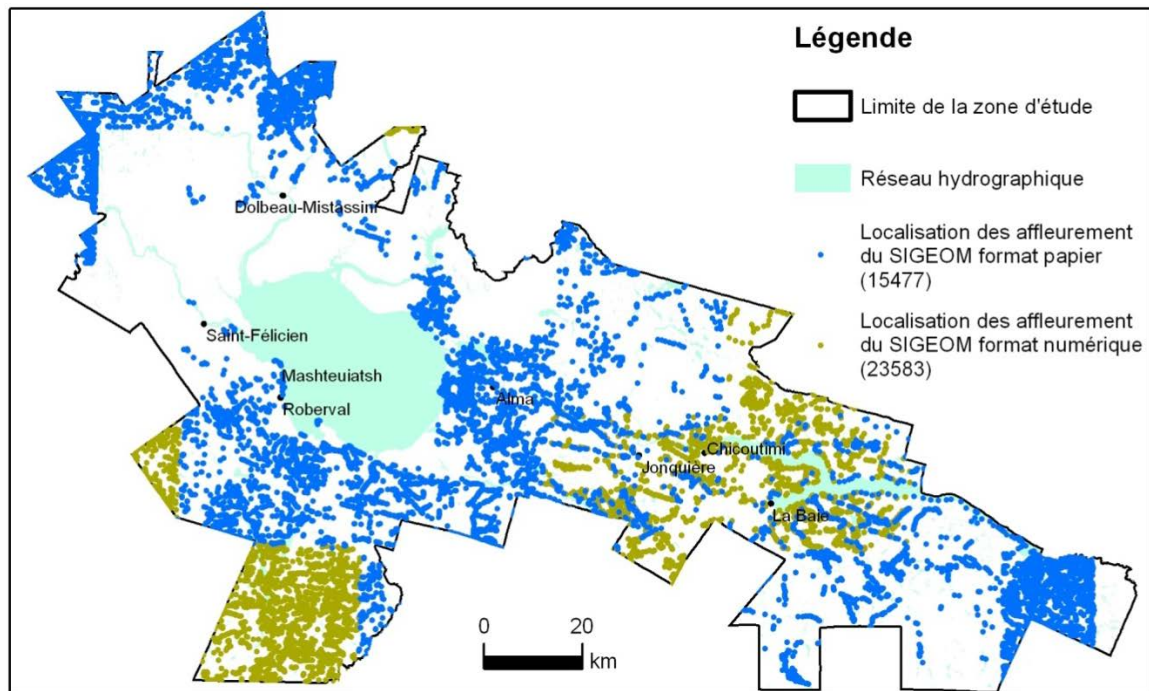


Figure 2-2 : Localisation des affleurements extraits du SIGEOM.

Cartes du système d'inventaire forestier

Une source d'information sur les dépôts de surface est constituée des cartes de la Direction des inventaires forestiers (SIF) du MRN. Ces cartes ont été publiées pour la totalité du Québec méridional au sud du 52^{ème} parallèle. Elles ont été réalisées à partir de l'interprétation de photographies aériennes à l'échelle de 1/40 000 et permettent de distinguer les grandes catégories de dépôts de surface. De plus, les affleurements rocheux et les principaux escarpements (rocheux et meubles) sont également délimités.

Orthophotographies numériques

Bien qu'il ne s'agisse pas d'information précisément géologique, les orthophotographies produites par le MRN se sont avérées un outil indispensable à la planification des interventions de terrain prévues à la phase 2 du PACES-SLSJ. À ce jour, les orthophotographies de presque la totalité du territoire québécois habité sont disponibles.

Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)

Cartes pédologiques

Lorsqu'aucune carte géologique de dépôts de surface n'est disponible sur l'ensemble d'un territoire, les études pédologiques menées par le MAPAQ, l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), le Centre de recherche sur les terres et les ressources biologiques (CRTRB) en sont de bons substituts. Ces cartes ont été publiées pour la quasi-totalité du territoire agricole du Québec, par comtés, à des années et des échelles différentes. Les unités cartographiées correspondent à des séries pédologiques, mais la correspondance avec les unités quaternaires est relativement facile à déterminer. Chaque étude pédologique contient un rapport explicatif et une ou plusieurs cartes montrant la répartition des types de sols sur le territoire. Les données de ces cartes entrent directement dans l'élaboration de l'estimation de la recharge et de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC, deux livrables requis dans le cadre du PACES-SLSJ (chapitre 4).

La Commission géologique du Canada (CGC)

Publications scientifiques

Les archives de la CGC peuvent être consultées et obtenues gratuitement via leur base de données GEOSCAN. Cette base de données contient des publications scientifiques et techniques du secteur des sciences de la Terre de Ressources naturelles Canada. La carte de Paradis et al. (1998) des dépôts superficiels, du secteur de l'agglomération de La Baie, en a été extraite. Elle vient en appui à l'ensemble des autres cartes des dépôts de surface disponibles.

Les universités

Mémoires et thèses

Il convient aussi d'investiguer les divers travaux de cartographie et d'analyse effectués par les institutions universitaires (réseau des universités du Québec et autres), généralement présentés sous forme de thèses et de mémoires. L'UQAC étant la seule université de la région sous étude, plusieurs documents, notamment des mémoires de maîtrise, traitent de la géologie régionale, et surtout de certains aspects de l'hydrogéologie du SLSJ (Verreault, 2003; Tremblay, 2005; Tremblay, 2007; Walter, 2010; et autres).

Géologie urbaine du Haut-Saguenay

Une compilation de forages datant des années 1970, exécutée par des étudiants dans le cadre d'un programme fédéral de connaissance de la géologie urbaine du Haut-Saguenay (GUHS), a

été mise à la disposition du CERM par le professeur Denis W. Roy, à l'époque responsable du projet GUHS. Au total, l'information de 1 408 forages a été numérisée. La Figure 2-3 illustre la distribution spatiale des forages provenant de la compilation du projet GUHS.

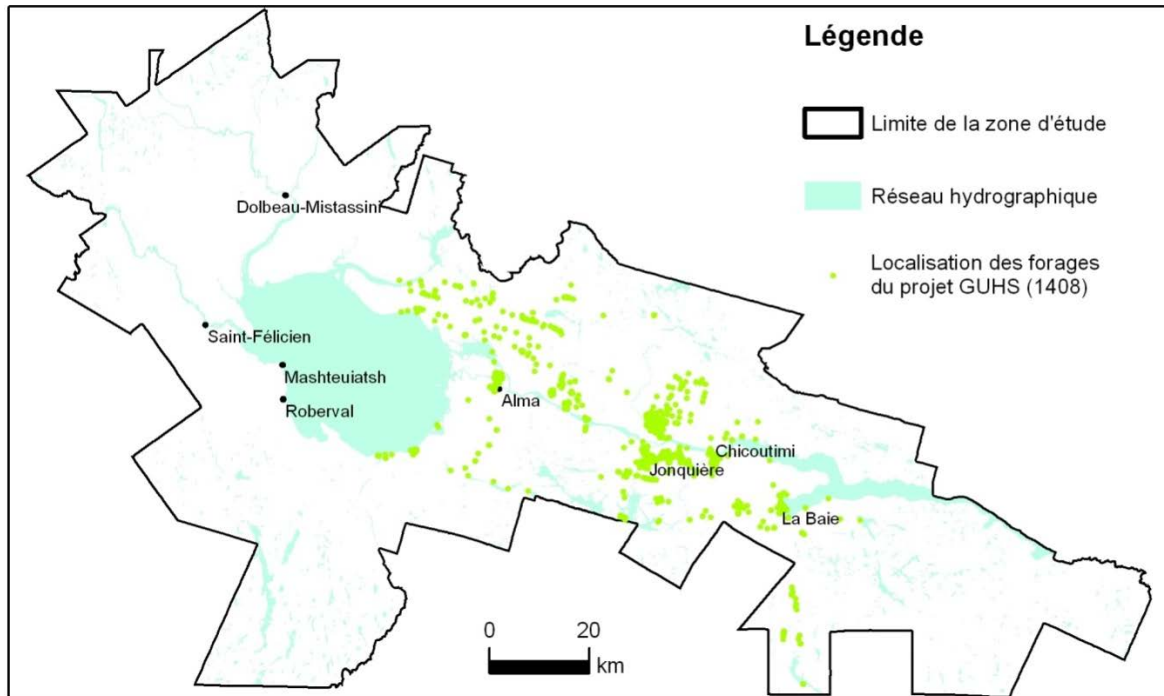


Figure 2-3 - Distribution spatiale des forages décrits dans la compilation GUHS.

3 - Les données hydrogéologiques

Les données hydrogéologiques correspondent à l'ensemble des informations spécialisées se rapportant à l'eau souterraine et aux milieux géologiques qui la contiennent. Elles intègrent à l'occasion les données géologiques présentées précédemment. Parmi les données hydrogéologiques, trois sources sont distinguées :

- les études géotechniques et environnementales,
- les banques de données numériques gouvernementales;
- les études hydrogéologiques (recherche en eau, détermination des périmètres de protection des aires de captage, calcul d'aire d'alimentation, etc.).

Dans tous les cas, la nature de l'information est variée et intimement liée aux objectifs de caractérisation hydrogéologique du PACES, ce qui en fait une donnée très utile et pertinente.

Les études géotechniques et environnementales

Les études géotechniques et environnementales sont souvent nombreuses et de sources variées sur un territoire donné, ce qui les rend difficilement accessibles et coûteuses en temps pour se les procurer. De plus, elles sont généralement effectuées sur de petites portions de territoire ce qui limite leur pertinence à l'échelle régionale. Parmi les données les plus facilement accessibles, on trouve les études hydrogéologiques restreintes exigées par le MDDEFP pour l'obtention des certificats d'autorisation (dépôts de neiges usées, lieux d'élimination des

déchets, etc.). Ces études contiennent les données de plusieurs forages, d'essais hydrauliques et d'analyses granulométriques. Des études de ce type sont aussi produites dans le cadre de suivis environnementaux de la qualité de l'eau souterraine, comme c'est le cas au SLSJ pour le suivi de l'herbicide hexazinone dans les bleuetières. Ces études sont détenues par l'exploitant agricole ou la MRC quand cette dernière est gestionnaire foncière (terres publiques).

Plus difficilement accessibles, les études géotechniques menées par Hydro-Québec pour l'implantation de leurs pylônes électriques contiennent de l'information stratigraphique uniforme sur l'épaisseur des dépôts de surface et la fracturation du massif rocheux. Une autorisation d'accès à cette information est actuellement en négociation entre le MDDEFP et Hydro-Québec, mais malheureusement au moment de remettre ce rapport, aucune donnée de ce type n'a pu être intégrée aux livrables du PACES-SLSJ.

Les banques de données numériques gouvernementales

Ces banques de données se rapportent aux informations contenues dans le système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEFP et dans le portail d'information géotechnique du ministère des Transports du Québec (MTQ).

Le SIH

Dans le cas du SIH, l'information peut être obtenue gratuitement en ligne¹¹. Avant le PACES du MDDEFP, il s'agissait du seul inventaire d'ouvrages de captage des eaux souterraines au Québec. Les forages qui s'y retrouvent proviennent, en grande partie, de rapports de forages réalisés par les puisatiers pour des ouvrages de captage desservant des résidences privées en eau potable. Parmi les informations pertinentes, le SIH contient des informations stratigraphiques et piézométriques desquelles il est possible de calculer des propriétés hydrauliques (chapitre 4). Toutefois, l'expérience du PACES-SLSJ a montré que ces résultats doivent être validés puis interprétés avant d'être incorporés dans les livrables du projet. La Figure 2-4 illustre la distribution spatiale des forages, au nombre de 4 472, extraits de la banque de données du SIH.

La banque de donnée du MTQ

La banque de données du MTQ est accessible uniquement à partir des bureaux de ce ministère à Québec et elle contient majoritairement des données de forage. Les informations disponibles sont de nature stratigraphique, mais quelques caractéristiques géotechniques (résistance au cisaillement, teneur en eau, etc.) s'y trouvent aussi consignées. La plupart du temps, les forages sont localisés dans les secteurs à fort potentiel de glissements de terrain (dépôts argileux en périmètre urbain, talus d'érosion aux abords de cours d'eau, topographie accidentée). La Figure 2-5 présente la distribution spatiale des 743 forages qui ont été extraits de la base de données géotechniques du MTQ.

¹¹<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm>

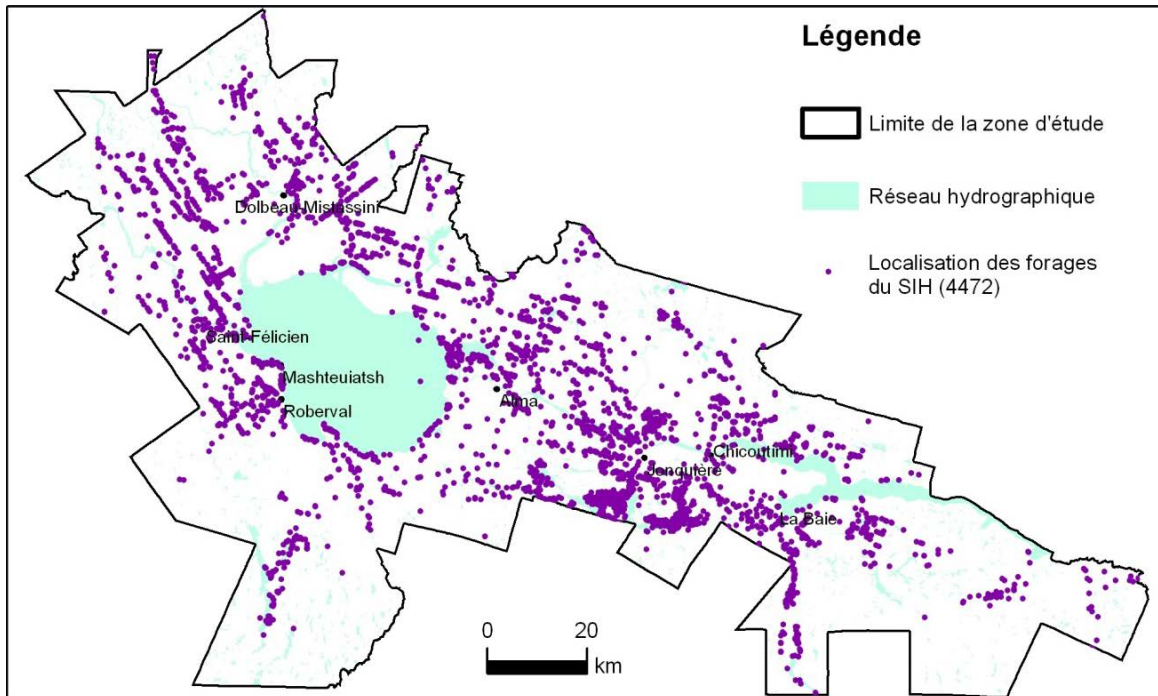


Figure 2-4: Distribution spatiale des forages décrits dans le Système d'information hydrogéologique (SIH).

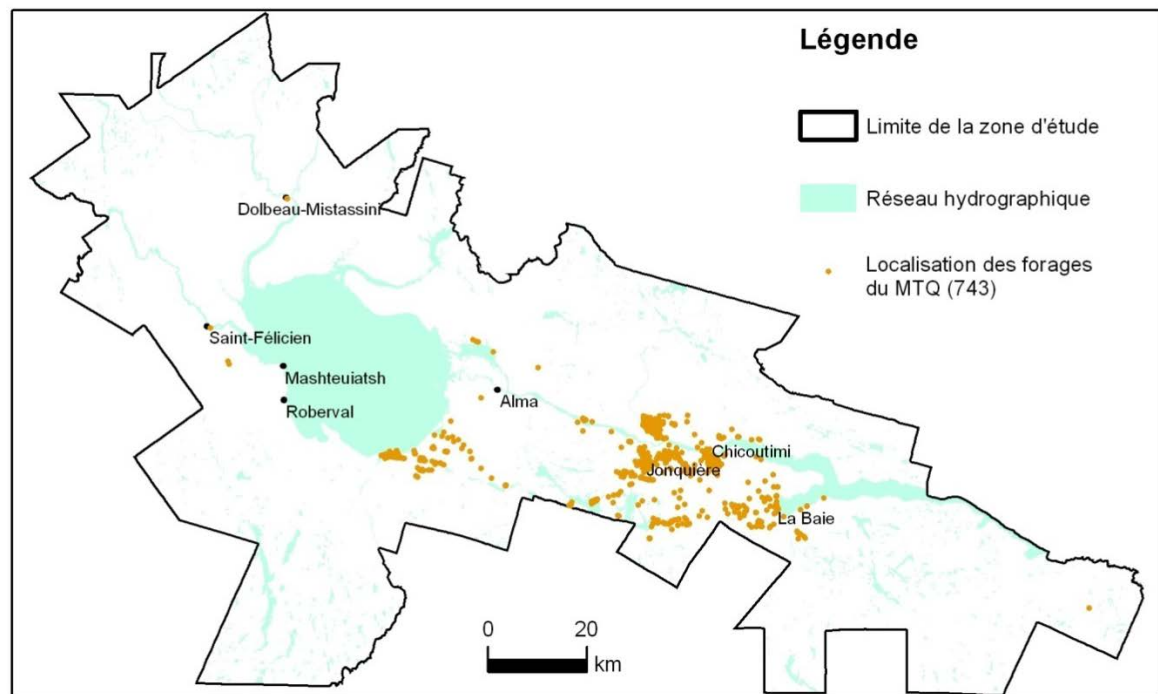


Figure 2-5 : Distribution spatiale des forages décrits dans le portail géotechnique du ministère des Transports du Québec (MTQ).

Les études hydrogéologiques dans le cadre de recherche en eau des municipalités

Comme la majorité des municipalités du territoire visé s'alimente en eau souterraine, celles-ci ont dû déboursier d'importantes sommes d'argent pour financer des études hydrogéologiques. L'obtention des documents (études, rapports etc.) propres à chaque municipalité implique donc l'établissement de liens personnalisés avec les responsables municipaux. Des rencontres avec les directeurs généraux de chacune des municipalités détentrices des précieux documents ont été réalisées afin d'établir un climat de collaboration propice à établir une entente formelle. Par cette entente, les municipalités ont autorisé l'équipe du CERM de l'UQAC à faire usage de leurs données hydrogéologiques dans le cadre du PACES-SLSJ et à les transmettre au MDDEFP à la fin du projet. Elle prend parfois la forme d'un projet de résolution soumis au conseil d'administration de chaque municipalité, qui la retourne une fois approuvée et signée. Chaque entente et résolution reçue a été numérisée à l'aide d'un balayeur optique et archivée dans un répertoire numérique. Un exemple d'entente et de projet de résolution est présenté à l'Annexe 2.

L'obtention des études hydrogéologiques réalisée pour le compte des municipalités, notamment dans le cadre de recherche en eau, est primordiale et a constitué un défi considérable du PACES-SLSJ. En effet, ces études étayées renferment de nombreuses informations indispensables à la compréhension des systèmes aquifères. Elles font l'objet de la section suivante.

2.1.2 Type de données provenant des rapports obtenus des municipalités

Avec l'accord des municipalités, **259** rapports techniques provenant de firmes de consultants ont été obtenus par le CERM (Tableau 2—3). Ce nombre inclus 12 études hydrogéologiques restreintes effectuées à l'occasion des demandes de certificats d'autorisation pour les sites d'entreposage des neiges usées, et 51 études archivées à Québec par le service de l'aménagement du territoire et des eaux souterraines. Ces rapports ont tous été numérisés et intégrés dans une base de données bibliographiques¹². Saint-David-de-Falardeau est la seule municipalité de la région à ne pas avoir transmis les rapports de recherche en eau qu'elle détient.

Chaque année, plusieurs études hydrogéologiques contenant le même type d'information sont réalisées à des fins diverses. C'est pourquoi, **41 rapports additionnels**, obtenus en cours d'élaboration des livrables du PACES-SLSJ, sont actuellement détenus par le CERM de l'UQAC sans que l'information qu'ils contiennent n'ait été numérisée et intégrée à la base de données spatiales. L'information de ces études hydrogéologiques est une donnée essentielle pour compléter le portrait réalisé dans le cadre de ce projet, mais aussi afin d'accroître le niveau de précision et de justesse des produits cartographiques qui sont livrés avec ce rapport.

Pour chaque rapport obtenu des municipalités, différentes données ont été extraites et intégrées à la base de données spatiales. Le Tableau 2—4 présente la nature de ces données, ainsi que le nombre d'éléments qui ont fait l'objet d'une extraction. La suite du texte contient les cartes de la répartition géographique de chaque type de données.

¹²Cette base de données bibliographique est présentée à la section 2.3 de ce chapitre.

Tableau 2—3 : Rapports obtenus des municipalités pour lesquels de l'information hydrogéologique est intégrée à la base de données numériques spatiales.

Municipalité	Nombre de rapports	Municipalité	Nombre de rapports
Albanel	4	Saint-André-du-Lac-Saint-Jean	2
Alma	3	Saint-Augustin	7
Bégin	1	Saint-Bruno	1
Chambord	6	Saint-Charles-de-Bourget	4
Desbiens	1	Saint-Ambroise	5
Dolbeau-Mistassini	3	Saint-Edmond-les-Plaines	2
Ferland-et-Boilleau	5	Sainte-Hedwidge	4
Girardville	2	Sainte-Jeanne-d'Arc	1
Hébertville	3	Sainte-Monique	10
Hébertville-Station	2	Sainte-Rose-du-Nord	2
La Doré	4	Saint-Eugène-d'Argentenay	1
Labrecque	7	Saint-Félicien	14
Lac-Bouchette	3	Saint-Félix-d'Otis	1
Lamarche	1	Saint-François-de-Sales	1
L'Anse-Saint-Jean	5	Saint-Fulgence	8
Larouche	1	Saint-Gédéon	8
L'Ascension-de-Notre-Seigneur	13	Saint-Henri-de-Taillon	1
Métabetchouan-Lac-à-la-Croix	8	Saint-Honoré	13
Normandin	10	Saint-Ludger-de-Milot	3
Notre-Dame-de-Lorette	2	Saint-Nazaire	8
Péribonka	5	Saint-Prime	8
Petit-Saguenay	3	Saint-Stanislas	5
Rivière Éternité	6	Saint-Thomas-Didyme	3
Roberval	1	Ville de Saguenay	48

Tableau 2—4: Types de données et nombres d'éléments numérisés à partir des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités

Type de données	Nombre d'éléments numérisés
Forages	1200
Analyses hydrochimiques	260
Propriétés hydrauliques	433
Analyses granulométriques	549
Cartes piézométriques	45
Levés géophysiques	15
Aires d'alimentation	19
Essais au piézocône	40
Essais de perméabilité	74
Coupes stratigraphiques	58

Les forages

La majorité des informations utiles à une meilleure compréhension de l'hydrogéologie d'un territoire donné est obtenu par un forage. Cette observation est d'autant plus vraie lorsque le forage est converti en ouvrage de captage. Les forages renseignent sur l'architecture des dépôts et du socle rocheux (variations latérales de la stratigraphie par interpolation de l'information entre 2 forages, épaisseur de l'argile, profondeur réelle et nature du roc, épaisseur réelle et nature des dépôts de surface, degré de fracturation du roc, etc.), sur les propriétés de

l'écoulement (mesure et suivi du toit de la nappe, réalisation d'essais hydrauliques, etc.), et sur la qualité de l'eau présente dans les formations géologiques (collecte d'échantillons à des fins d'analyse chimique), ce qui en fait une donnée cruciale. De plus, la majorité des forages décrits dans les rapports collectés auprès des municipalités ont été réalisés dans le cadre de projet de recherche en eau. Dans la plupart des cas, ces forages ont permis d'identifier des secteurs favorables à l'alimentation en eau potable de plusieurs centaines, voire de quelques milliers de personnes. Dans ce cas, leur présence atteste de l'existence d'un aquifère d'importance régionale. La Figure 2-6 illustre la distribution de tous les forages extraits des rapports obtenus des municipalités et intégrés dans la base de données spatiales.

Analyses hydrogéochimiques

Plusieurs documents collectés dans le cadre de ce projet sont accompagnés de résultats d'analyses hydrogéochimiques visant à caractériser la qualité générale de l'eau souterraine. Ces résultats d'analyse ont été produits par divers laboratoires et sont datés de 1969 à 2010. Les paramètres analysés varient d'un rapport à l'autre, pour un total de 66 paramètres. Pour certains points de captage, plusieurs analyses sont disponibles lorsque des échantillons ont été prélevés au moment des essais de pompage (24h, 48h et/ou 72h). La Figure 2-7 illustre la distribution spatiale des données hydrogéochimiques disponibles sur le territoire municipalisé.

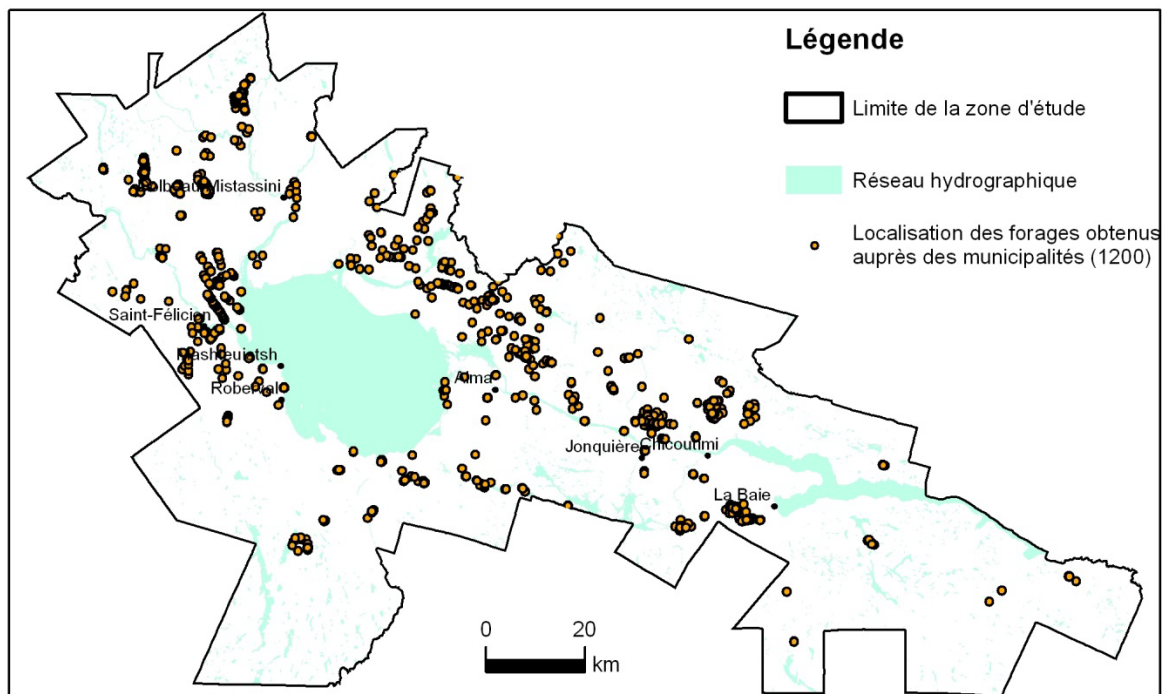


Figure 2-6 : Distribution spatiale des forages provenant des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

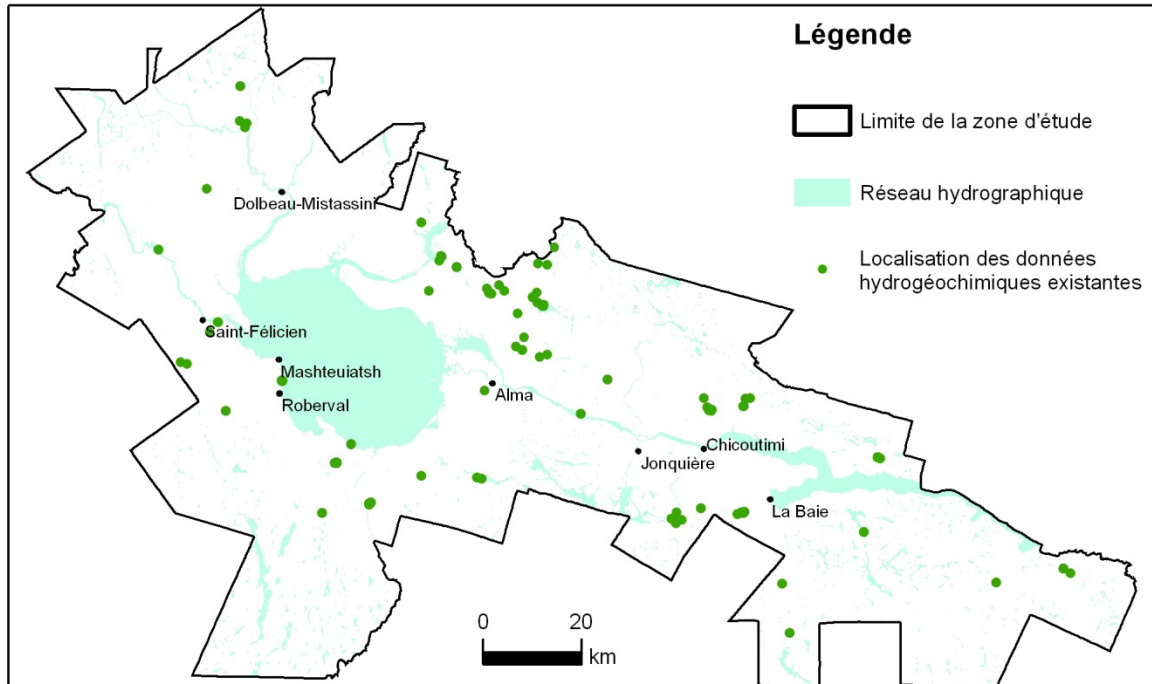


Figure 2-7 : Localisation des données hydrogéochimiques extraites des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

Essais de pompage

La Figure 2-8 permet de localiser les puits et les piézomètres qui ont été utilisés lors d'essais de pompage (futur puits d'exploitation ou puits/piézomètre d'observation). Les résultats de ces essais permettent de calculer les propriétés hydrauliques des milieux aquifères dans lesquels sont installés les forages. Le type de propriétés hydrauliques obtenues (conductivité hydraulique, transmissivité, capacité d'emmagasinement, etc.) varie selon l'essai de pompage disponible. Les données entrent dans l'élaboration des livrables du PACES-SLSJ présentés au chapitre 4.

Essais de perméabilité

Comme les essais de pompage, les essais de perméabilité renseignent sur les propriétés hydrauliques des milieux aquifères. La Figure 2-9 permet de localiser les essais de perméabilité retrouvés dans les rapports obtenus des municipalités.

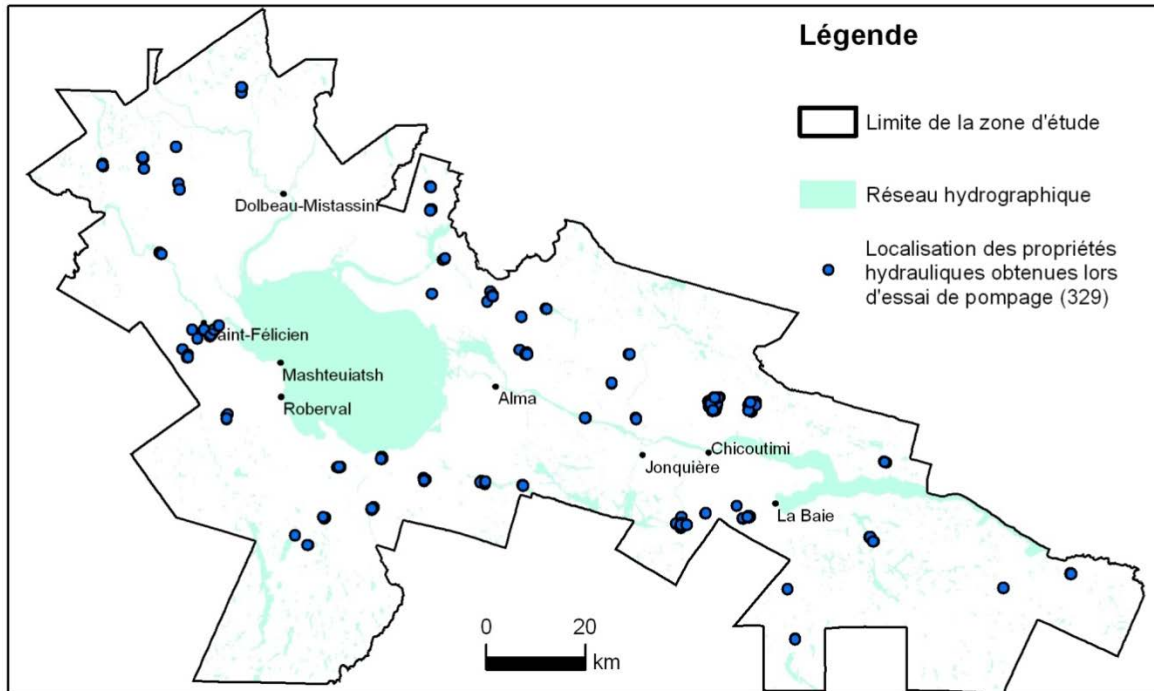


Figure 2-8 : Localisation des propriétés hydrauliques obtenues lors d'essais de pompage présentés dans les rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

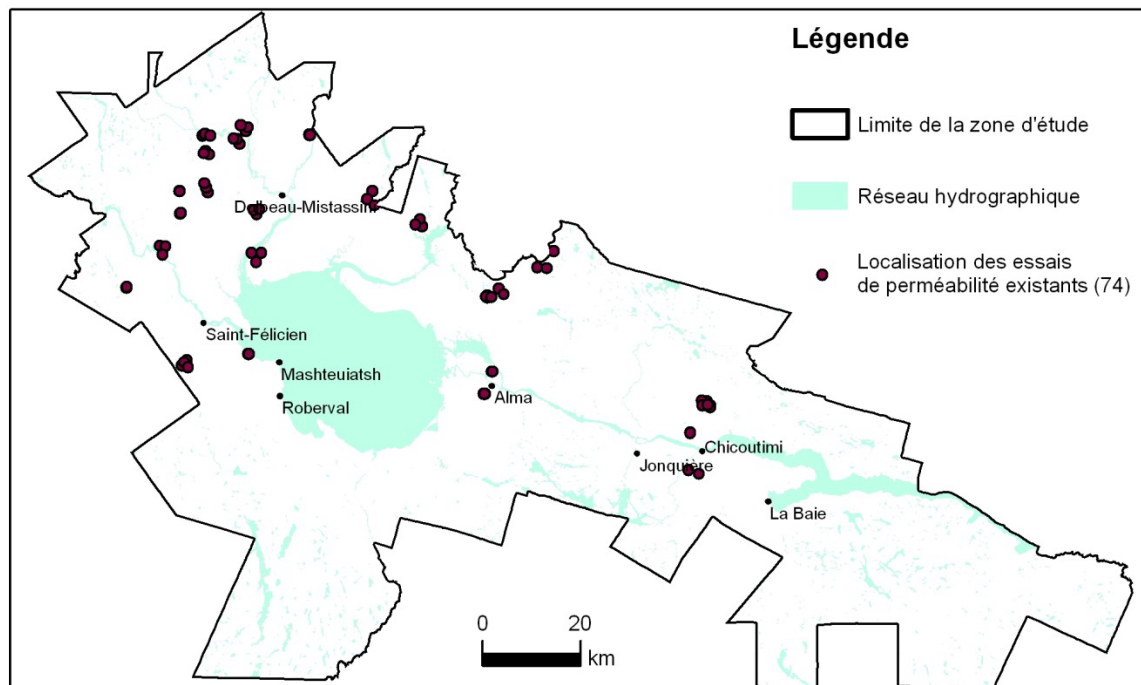


Figure 2-9 - Localisation des résultats d'essais de perméabilité extraits des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

Analyse granulométrique

L'analyse quantitative par tamisage de la granulométrie des sols traversés par un forage peut être utile à l'estimation de la conductivité hydraulique selon différentes méthodes empiriques. La Figure 2-10 illustre la distribution spatiale des analyses granulométriques répertoriées et numérisées à partir des rapports d'experts conseils. Pour la plupart d'entre elles, des valeurs de conductivité hydraulique ont été estimées dans le cadre du PACES-SLSJ (chapitre 4).

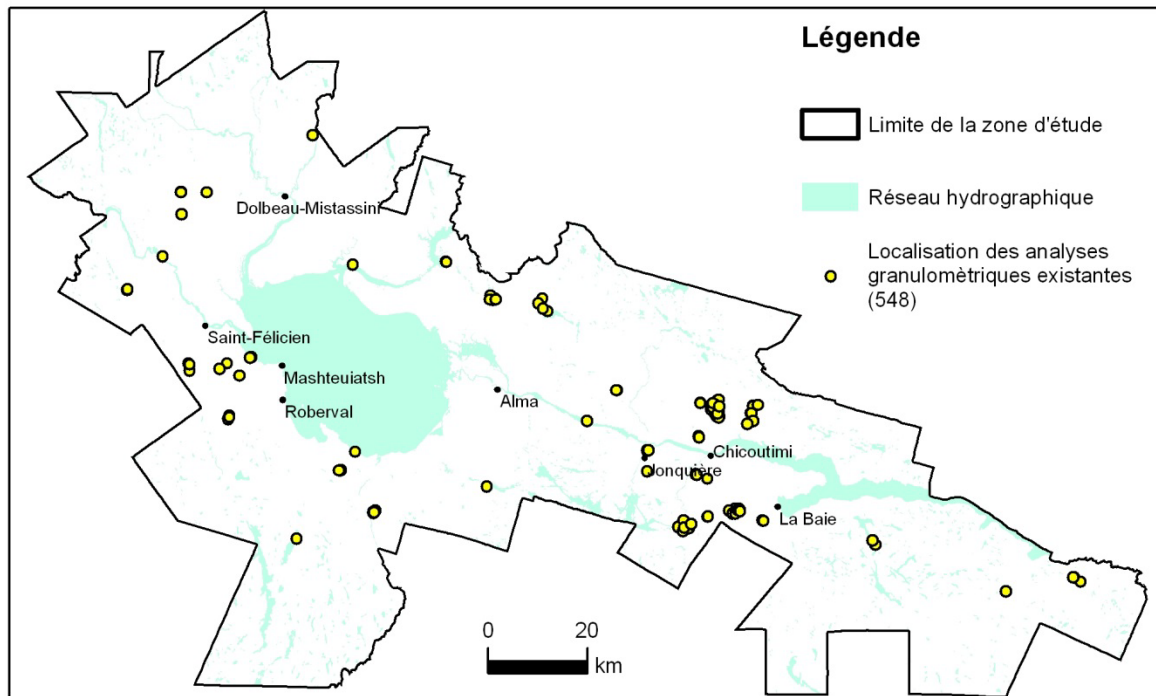


Figure 2-10 : Localisation des résultats d'analyse granulométrique extraits des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

Carte piézométrique

La localisation des cartes piézométriques extraites des rapports d'experts conseils est illustrée à la Figure 2-11. Les isopièzes des cartes piézométriques, préalablement géoréférencées, ont été vectorisées. Cette donnée permet notamment d'informer sur le sens d'écoulement de l'eau souterraine à une échelle locale, correspondant souvent au territoire affecté par l'exploitation de puits. Cette donnée complète localement la carte de la piézométrie régionale qui a été produite dans le cadre du PACES-SLSJ (chapitre 4).

Essais au piézocône

La Figure 2-12 permet de localiser des essais au piézocône réalisés sur le territoire. Ces essais renseignent sur la stratigraphie des terrains traversés, mais aussi dans quelques cas, sur le toit de la nappe d'eau. Pour chaque levé, les données brutes¹³ sont disponibles.

¹³Les données brutes se rapportent aux mesures *in situ* des divers paramètres de la sonde, tels que présentés dans les rapports d'expert conseil.

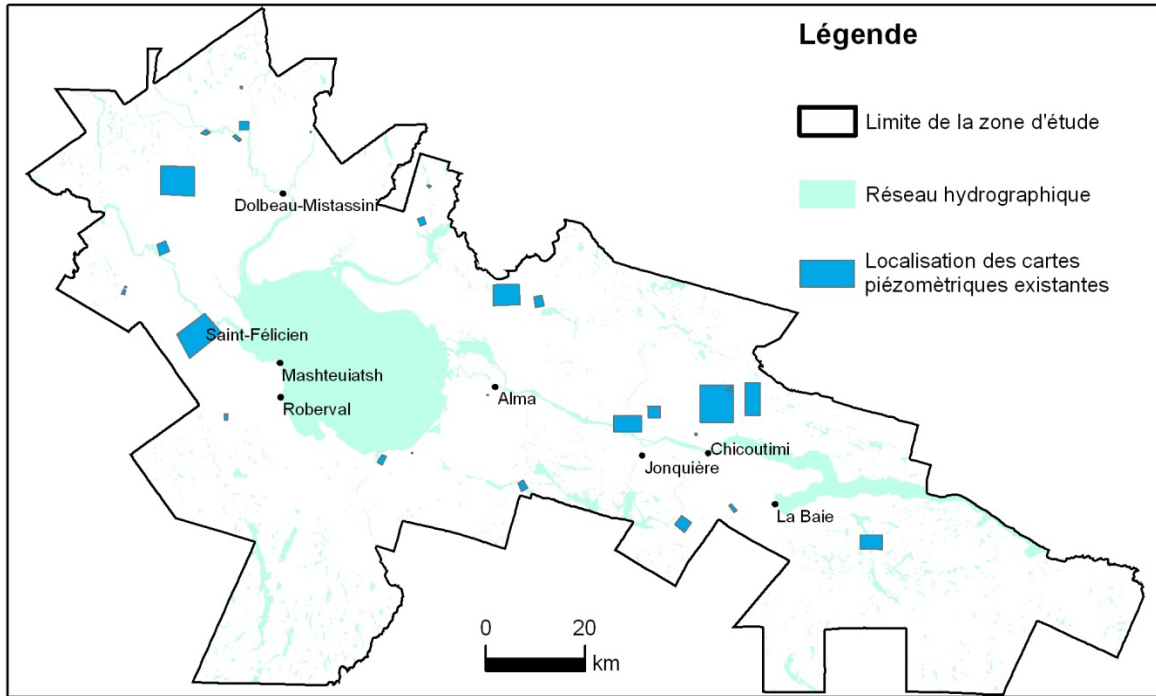


Figure 2-11 : Localisation des cartes piézométriques numérisées à partir des cartes présentées dans les rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

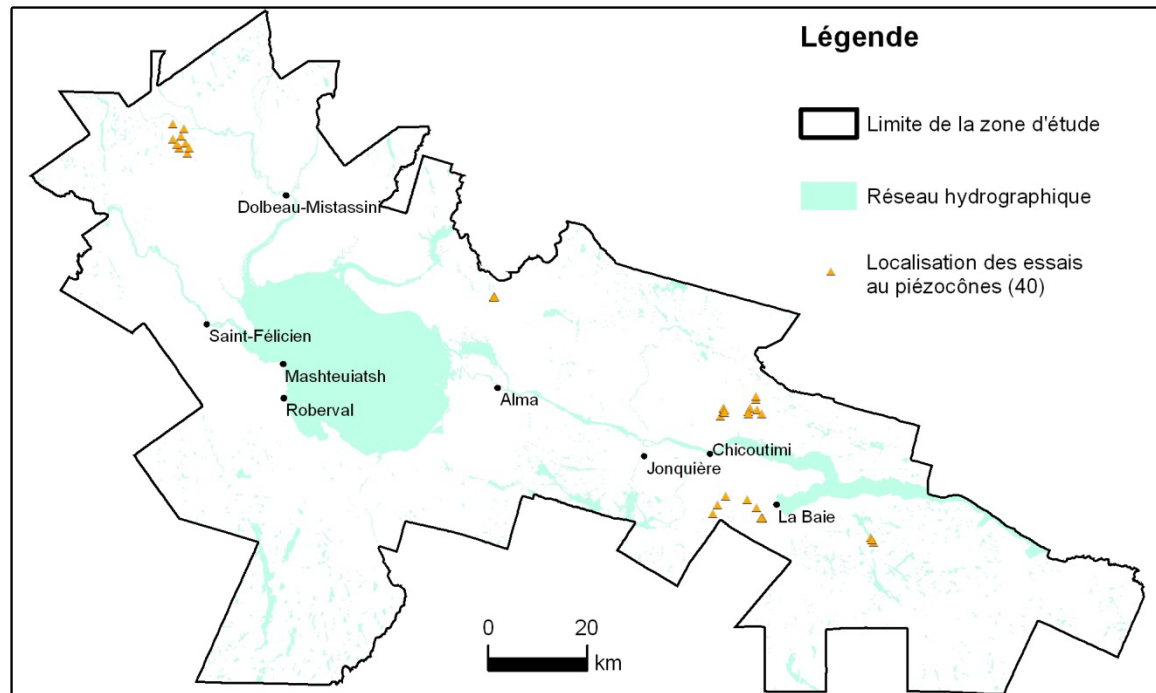


Figure 2-12 - Localisation des résultats d'essais au piézocône extraits des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

Aires d'alimentation

La Figure 2-13 permet de localiser les endroits où une aire d'alimentation estimée est extraite des rapports d'experts conseils. Dans certains cas, l'aire d'alimentation a été calculée à l'aide d'une équation analytique. Dans d'autres cas, elle est le fruit d'une modélisation. Dans tous les cas, les résultats sont valables uniquement pour un débit d'exploitation donné et une recharge donnée. De plus, elles se rapportent généralement aux champs captant des municipalités de la région.

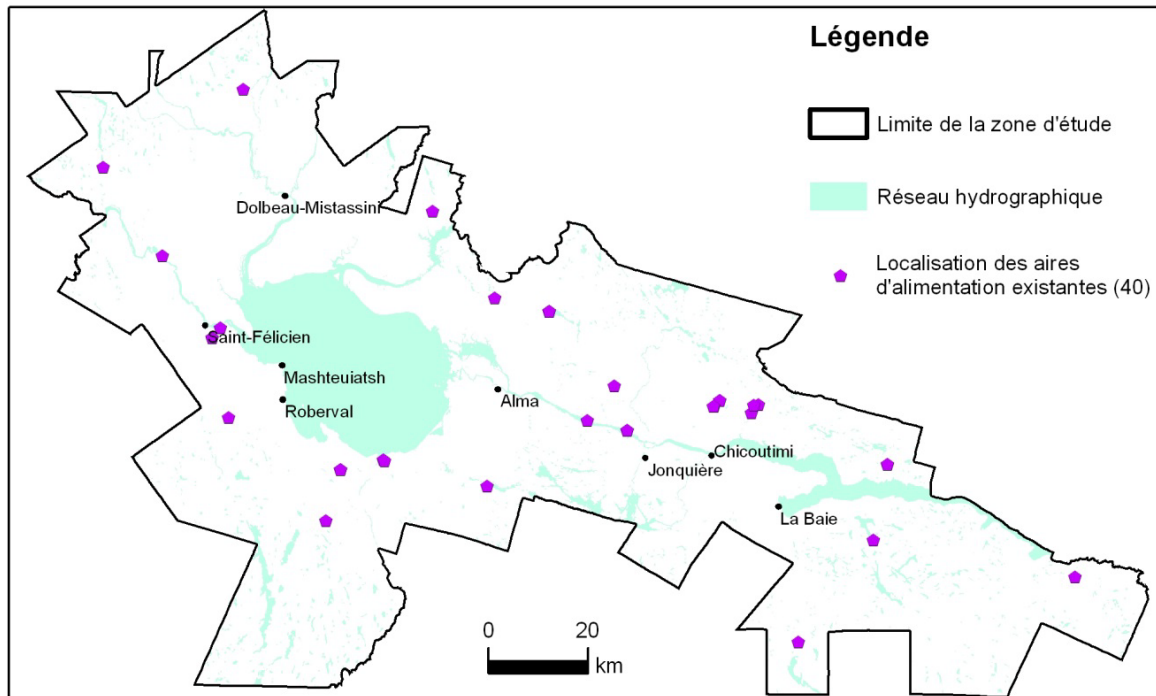


Figure 2-13 – Localisation des aires d'alimentation dont les données ont été numérisées à partir des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

Levés géophysiques

Dans les rapports, ces levés se présentent généralement sous la forme de coupes longitudinales où sont interprétés le profil du roc et l'épaisseur des dépôts meubles. Pour chaque levé, la trace en plan a été localisée et géoréférencée. La profondeur du roc de plusieurs points le long de cette trace (généralement au droit d'un géophone) a été extraite à partir du profil en plan. Le résultat consiste en une série de points espacés d'une dizaine de mètres pour lesquels la position en plan est connue (latitude et longitude), de même que la profondeur du roc et l'épaisseur des dépôts. Pour deux levés, la profondeur du sommet et de la base de dépôts calcaires ordoviciens ont été identifiés et distingués du roc précambrien. La plupart des levés géophysiques ont été obtenus par sismique réfraction. Plus localement, les levés correspondent à des mesures de la résistivité électrique des terrains investigués. La Figure 2-14 montre la position des levés géophysiques extraits des rapports d'experts conseils.

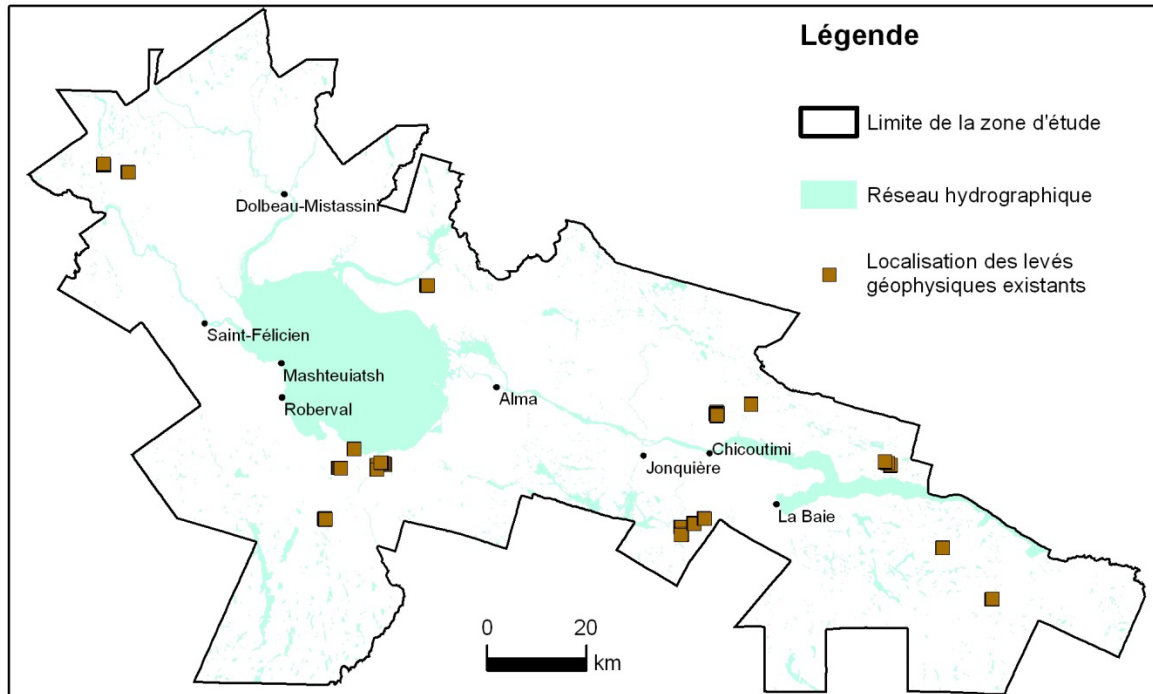


Figure 2-14 - Localisation des levés géophysiques dont les données ont été extraites des rapports hydrogéologiques obtenus des municipalités.

Coupes stratigraphiques

Les coupes stratigraphiques sont le résultat de l'interprétation de l'information stratigraphique contenue entre deux ou plusieurs forages. La trace en plan des coupes stratigraphiques a été géoréférencée et vectorisée. Les coupes stratigraphiques interprétées ont aussi été numérisées et sont placées en référence aux traces disponibles dans la base de données spatiales. Les interprétations graphiques des sections stratigraphiques et les légendes ont été uniformisées par l'équipe du CERM de l'UQAC. La Figure 2-15 montre la position des coupes stratigraphiques extraites des rapports d'experts conseils et de rapports gouvernementaux.

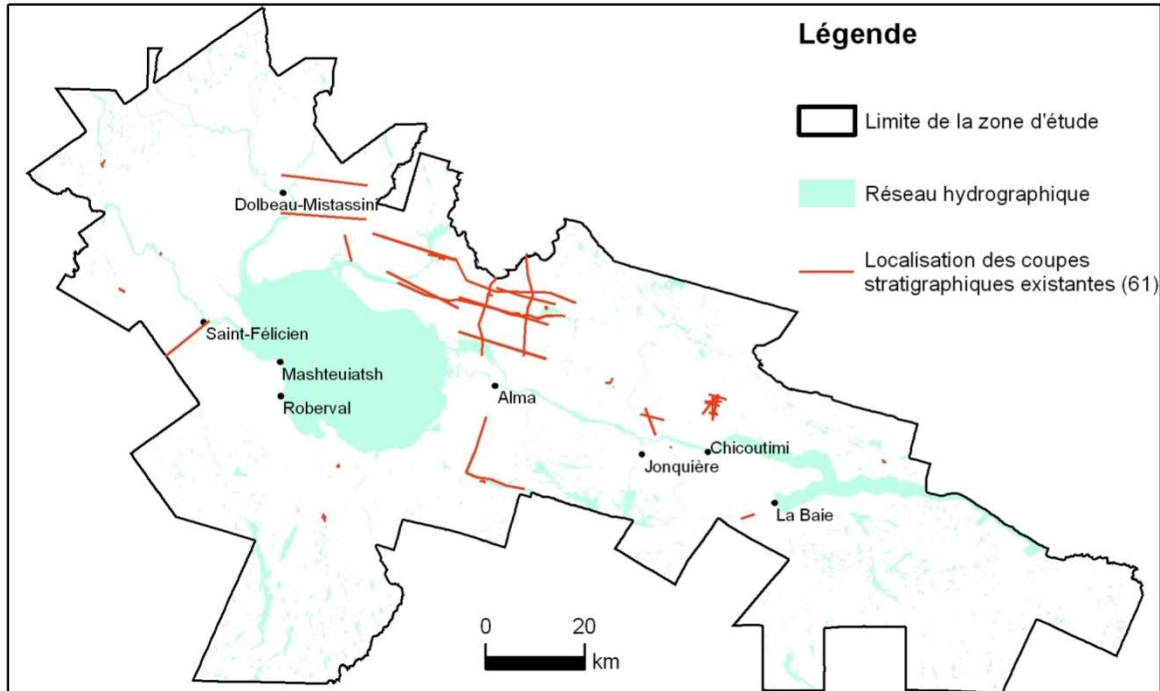


Figure 2-15 - Localisation des coupes stratigraphiques.

2.2 Travaux de caractérisation hydrogéologique

Les travaux de caractérisation hydrogéologique ont été réalisés lors de la phase 2 du PACES-SLSJ. Ils prennent la forme de travaux de terrain échelonnés sur deux ans (2010 et 2011). Ces travaux ont déjà fait l'objet d'un rapport d'étape déposé au MDDEFP au mois de septembre 2011¹⁴. La suite du texte reprend les principaux éléments de ce dernier rapport que sont : les levés géophysiques, les diagraphies géophysique en forage, les levés hydrogéochimiques, les levés hydrostratigraphiques, les levés structuraux, les forages destructifs et l'installation de piézomètres, les sondages au piézocône et l'installation de piézomètres, et enfin, les essais hydrauliques en forage.

2.2.1 Levés géophysiques

Trois méthodes de levés géophysiques sont disponibles à l'UQAC et ont été priorisées pour les travaux de terrain du PACES-SLSJ. Il s'agit de la technique par sondage électromagnétique de transition (TDEM, pour *Time Domain Electromagnetism*), de la mesure de la résistance électrique (technique du résistivimètre) et de la méthode d'investigation par sismique réfraction. Des levés par géoradar ont aussi été réalisés grâce à une collaboration entre l'UQAC et l'UQAT (Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue), spécialement pour les fins du PACES-SLSJ et du PACES-Abitibi-Témiscamingue.

La Figure 2-16 présente la localisation de l'ensemble des levés qui ont été réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ.

¹⁴ Rapport de phase 2 – Compte-rendu des opérations de terrain du PACES-SLSJ, remis au MDDEFP en septembre 2011

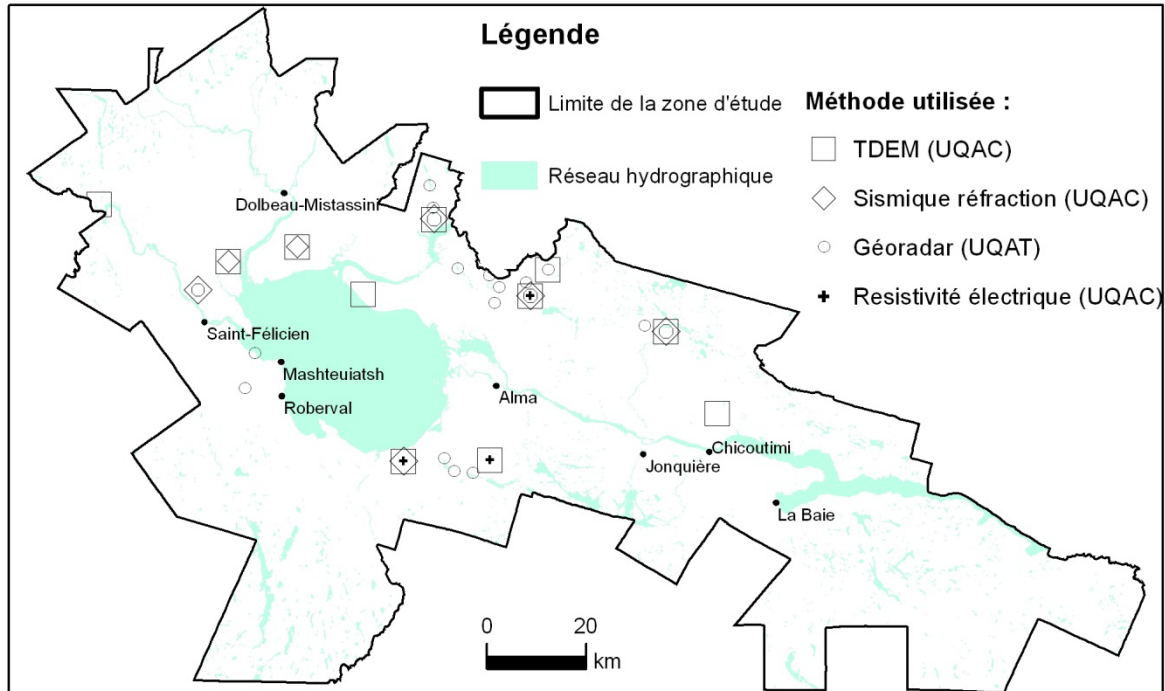


Figure 2-16 : Localisation des levés géophysiques réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ.

Toutes ces méthodes sont complémentaires et, comme le montre la Figure 2-16, leurs résultats ont été combinés pour permettre de recouper les informations obtenues à l'aide des différentes techniques, et ainsi augmenter le degré de confiance dans l'interprétation des résultats. Le calage de la donnée géophysique s'effectue généralement à partir de tableaux de référence (par exemple Palacky, 1987), d'un forage, d'un levé piézocône multiparamétriques, d'un prélèvement d'échantillon à la cuillère fendue, d'une observation directe (coupe stratigraphique exposée, affleurement, etc.), d'un modèle géologique conceptuel, ou de toutes informations pertinentes sur la nature des terrains investigués. Le calage et l'interprétation des levés géophysiques sont présentés au chapitre 3.

La suite du texte présente brièvement les différentes méthodes géophysiques qui ont été utilisées, puis le sommaire des levés réalisés à l'aide de chacune des méthodes.

Principes des méthodes géophysiques utilisées dans le cadre du PACES-SLSJ

L'incertitude des méthodes géophysiques utilisées inclut l'incertitude de l'appareil ainsi que l'erreur de traitement par inversion. Dans le cadre des levés effectués pour le PACES-SLSJ, l'erreur instrumentale est considérée faible, voire nulle, lorsqu'elle est comparée à l'incertitude due au modèle mathématique d'inversion. Par conséquent, seule cette dernière incertitude est considérée.

Technique du géoradar¹⁵

Le géoradar est un appareil de prospection géophysique utilisé pour sonder les premiers mètres de la sous-surface. La circulation d'un courant électrique dans une antenne émettrice génère un champ électromagnétique qui se propage. Selon les propriétés du terrain sondé et la fréquence de l'onde, celle-ci pénètre entre quelques centimètres (cm) et quelques mètres (m) de profondeur. Quand l'onde rencontre une interface où les matériaux possèdent des propriétés électriques différentes (impédance), une fraction de son énergie est réfléchi. Une antenne réceptrice capte l'onde réfléchi et mesure le temps d'arrivée ainsi que l'amplitude de l'onde ce qui permet d'interpréter les contrastes d'impédance électrique des différents réflecteurs. Dans le cadre du PACES-SLSJ, l'acquisition est en mode réflexion, et est répétée à intervalles réguliers sur un profil. Une représentation des discontinuités électriques du sol est ainsi obtenue selon un profil continu. La conversion du temps de propagation en valeurs de profondeur s'effectue en connaissant la vitesse de propagation de l'onde dans les différents milieux. Pour plus de détails, on peut consulter Neil (2004).

Le traitement du géoradar s'exécute directement avec l'outil logiciel *Reflexw* dont l'UQAT possède une licence.

Technique du résistivimètre

Le résistivimètre mesure la résistance électrique de la sous-surface. La méthode consiste à faire circuler un courant électrique entre deux électrodes et à mesurer la différence de potentiel engendrée en différents points au sol en utilisant une seconde paire d'électrodes. Plusieurs configurations d'acquisition sont possibles (Zonge et al., 2005), celle utilisée dans le cadre du PACES-SLSJ correspond à une configuration dipôle-dipôle. La profondeur d'investigation est essentiellement déterminée par la distance entre les électrodes, mais elle dépend aussi de l'intensité du courant injecté et ultimement de la résistance efficace du milieu sondé. Une profondeur d'environ 45 mètres peut être sondée avec l'appareillage disponible à l'UQAC (48 électrodes permutables totalisant 944 quadripôles). La résolution latérale pour cette configuration est d'environ 50 à 250 cm.

Le traitement des données du résistivimètre s'exécute directement avec l'outil logiciel *Res2DINV* fourni par le manufacturier *IRIS Instruments*. La mesure géophysique est inversée en utilisant le modèle numérique des moindres carrés (Zonge et al., 2005). Le processus d'inversion itératif s'arrête lorsqu'un écart entre les valeurs du modèle de deux itérations consécutives est inférieur à 5 %. Un exemple de modèle de résistivité (RES6L2 – Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, site 6-36) est présenté à la Figure 2-17.

¹⁵ Écrit en collaboration avec Pierre-Luc Dallaire de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT)

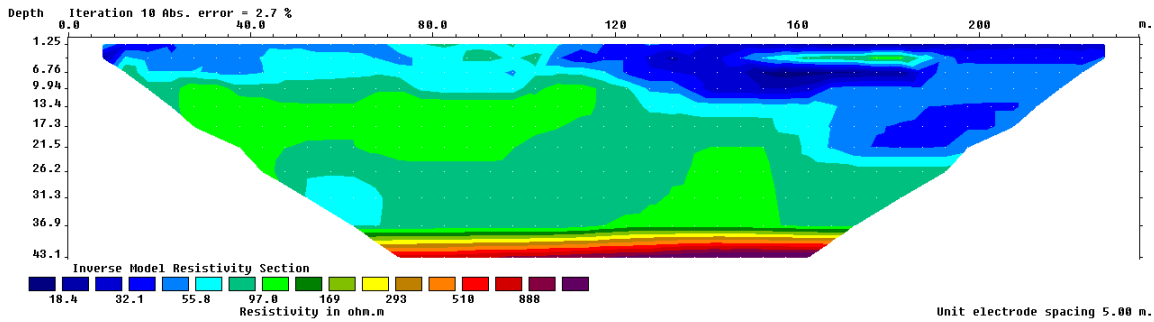


Figure 2-17 : Exemple de tomographie électrique (RES6L2 – Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).

Technique du sondage électromagnétique de transition (TDEM)

Le sondage électromagnétique de transition (TDEM) évalue également la résistance électrique de la sous-surface (Photo 2-1). La méthode consiste à soumettre le sous-sol à un champ magnétique et à mesurer le voltage induit à la surface lors de la relaxation du champ magnétique. Différentes configurations d'acquisition sont possibles; celle utilisée dans le cadre du PACES-SLSJ est coplanaire (Fitterman and Labson, 2005). La profondeur d'investigation est déterminée par la grandeur de la boucle, l'intensité du courant initial et du matériel présent en sous-surface. L'UQAC étant dotée d'un appareil *Zonge NT32*, les sondages s'effectuent sur des profondeurs comprises entre 5 et 75 mètres. La résolution latérale est d'environ 5 mètres.

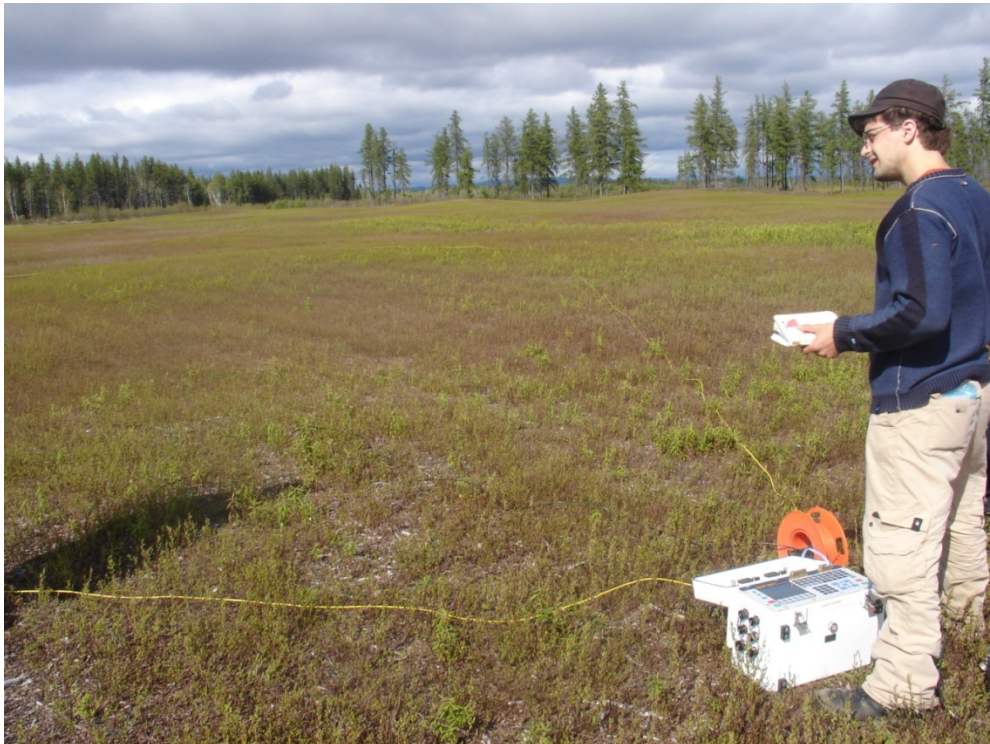


Photo 2-1 : Sondage électromagnétique à Labrecque. Une boucle émettrice et une boucle réceptrice sont installées au sol et branchées sur l'appareil d'acquisition TDEM.

Le traitement de la mesure obtenue par induction électromagnétique de transition s'exécute avec les outils logiciels fournis par le manufacturier *Zonge*. La mesure géophysique est inversée

en utilisant un modèle numérique des moindres carrés (Fitterman and Labson, 2005). Le processus d'inversion itératif s'arrête lorsqu'un écart entre les valeurs du modèle de deux itérations consécutives est inférieur à 8 %. Il est possible de traiter simultanément plusieurs points de mesure afin d'obtenir une pseudo-section. Pour les levés TDEM, l'incertitude augmente avec la profondeur évaluée. La Figure 2-18 présente un exemple de pseudo-section de résistivité électrique obtenue par TDEM.

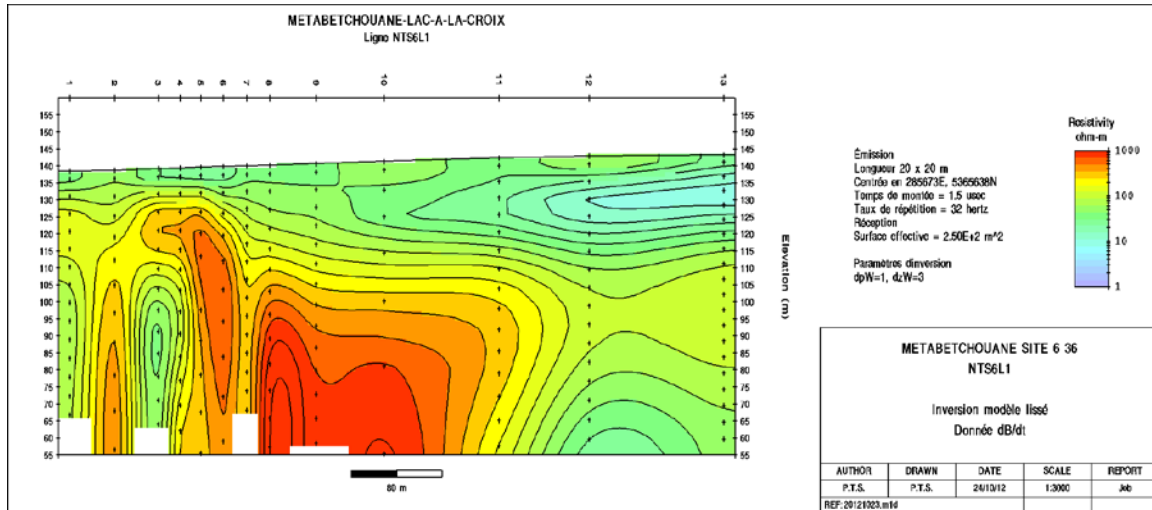


Figure 2-18 : Exemple de pseudo-section (du sud vers le nord) de résistivité électrique obtenue par TDEM (NTS6L1 - Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).

Technique de sismique réfraction

La sismique réfraction aide à la détermination de la profondeur du toit du roc. La méthode consiste à générer une onde sismique qui se propage à travers les terrains et à mesurer le temps que prend l'onde pour revenir en différents points à la surface du sol, à l'aide de géophones. Pour plus de détails théoriques, le lecteur est référé à Pelton (2005).

Le traitement de la donnée s'exécute avec le logiciel *IXRefrax* du manufacturier *Interprex*. La mesure géophysique est inversée en utilisant la méthode réciproque généralisée (Pelton, 2005). Les unités stratigraphiques (sable, argile, etc.) possédant des impédances acoustiques similaires, il est impossible de les différencier. Cette observation vaut aussi pour les différentes unités rocheuses (roc granitique, roc calcaire). Cette méthode permet d'interpréter des variations de la topographie du roc sous-jacent aux dépôts de surface, à condition que l'amplitude des variations soit supérieure à l'incertitude de la méthode. Un exemple d'interprétation de la profondeur du socle rocheux (RES3L2 - Labrecque, site 3) est présenté à la Figure 2-19.

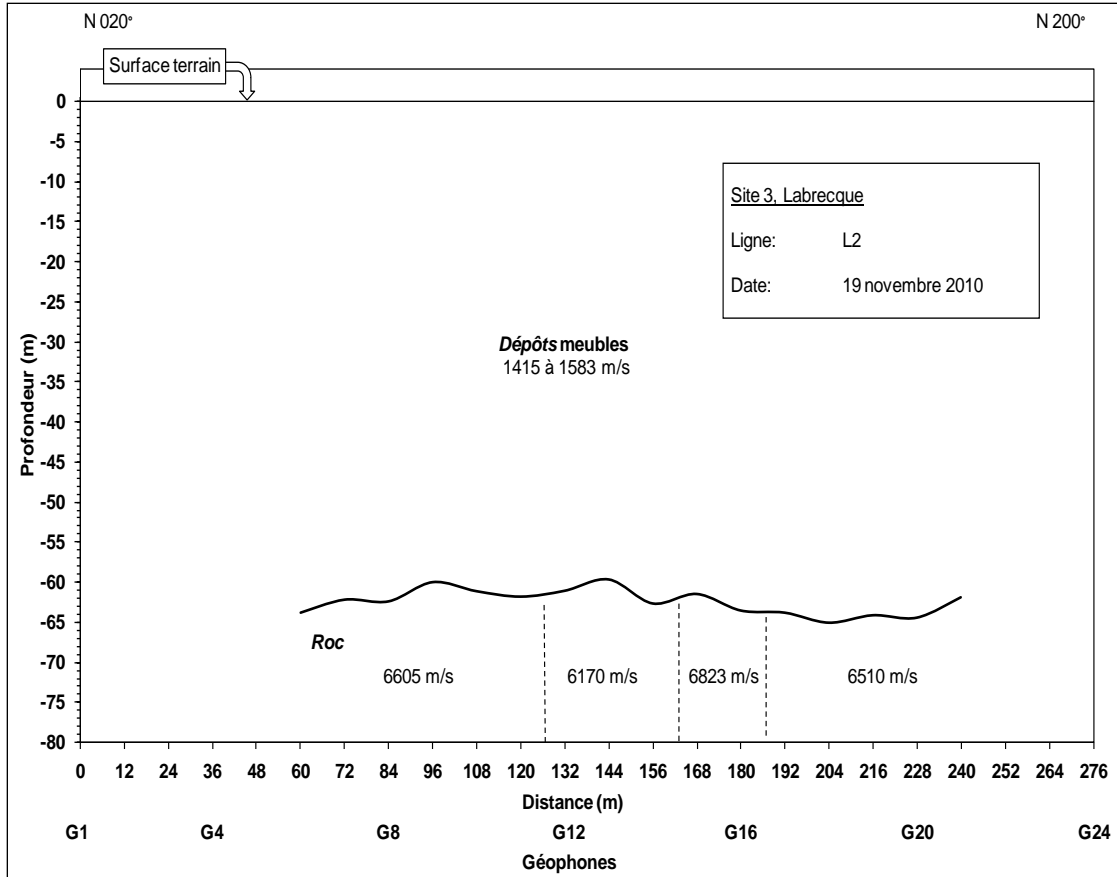


Figure 2-19 : Levé de sismique réfraction (SRS3L2 – Labrecque site 3).

Sommaires des principaux levés

Les Tableau 2—5 à Tableau 2—8 présentent le sommaire des levés géophysiques réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ. Pour chacune des méthodes, le nombre de levés, la municipalité du secteur investigué, la longueur et le nom du levé sont indiqués. Les résultats des levés sont présentés à l'annexe numérique AN2. La référence à ces levés est aussi disponible dans la base de données spatiales. Plusieurs levés sont intégrés aux travaux d'Étienne Hudon Gagnon (2012) réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ.

Tableau 2—5 : Sommaire des levés de géoradar.

Profil	Municipalité	Numéro de levé	Longueur du levé (m)
A	L'Ascension-de-Notre-Seigneur	3	240
B	Labrecque	4	749
C	L'Ascension-de-Notre-Seigneur	5	1109
D	L'Ascension-de-Notre-Seigneur	11	879
E	Labrecque (Site 8) / Lamarche	12	4188
F	L'Ascension-de-Notre-Seigneur	0	1468
G	L'Ascension-de-Notre-Seigneur	13	743
H	L'Ascension-de-Notre-Seigneur	14	586
I	Labrecque (site 3 – 24)	2	821
J	Labrecque (site 3 – 24)	1	1339
K	St-Ludger-de-Milot (Site 16) / Péribonka	42 et 43	2054
L	Ste-Monique	44	500
M	Hébertville	45	926
N	Hébertville	47 à 49	2157
O	Métabetchouan-Lac-à-la-Croix	50 et 51	221
P	Roberval	52 à 55	4888
Q	St-Félicien (site 102)	56	2212
R	St-Prime	57	669
S	St-Ludger-de-Milot	58	549
T	St-Ludger-de-Milot	59	660
U	St-Ludger-de-Milot	60	843
V	Ste-Monique	61	1000
W	St-David-de-Falardeau (Site 18)	62	1661
X	St-David-de-Falardeau	64	1239

Tableau 2—6 : Sommaire des levés de résistivimètre.

Site	Municipalité	Nombre de levés	Longueur par levé / longueur totale	Profondeur
3/24	Labrecque (I)	4	250 m / 1 000 m	30 à 40 m
6/36	Métabetchouan-Lac-à-la-Croix	3	250 m / 750 m	30 à 40 m

Tableau 2—7 : Sommaire des levés de sismique réfraction.

Site	Municipalité	Nombre de levés	Distance totale
3/24	Labrecque (I)	2	500 m
6	Métabetchouan-Lac-à-la-Croix	1	250 m
8	Labrecque (II)	2	500 m
16	St-Ludger-de-Milot	1	250 m
18	St-David-de-Falardeau	1	250 m
35	St-Félicien	1	250 m
104	Dolbeau	1	250 m

Tableau 2—8 : Sommaire des levés TDEM.

Site	Municipalité	Nombre de levés / nombre de lignes	Distance totale
3/24	Labrecque (I)	6 / 2	2 200 m
4	St-Henri-de-Taillon	20 / 2	4 000 m
6/36	Métabetchouan-Lac-à-la-Croix	13 / 1	600 m
18	St-David-de-Falardeau	15 / 1	450 m
35	St-Félicien (St-Méthode)	2 / 1	75 m
101	Hébertville	5 / 1	240 m

2.2.2 Diagraphie géophysique en forage dans le socle rocheux

La technique de diagraphie géophysique en forage permet la mesure de plusieurs propriétés physiques du roc (gamma naturel, résistivité, porosité), de même que des propriétés optiques et ultrasoniques permettant de caractériser les fractures présentes dans un forage. De plus, un débitmètre vertical permet d'identifier les fractures qui contribuent à l'écoulement de l'eau dans un forage (Photo 2-2). La Figure 2-20 montre la localisation des forages qui ont fait l'objet d'une diagraphie géophysique.



Photo 2-2 : Diagraphie géophysique en forage à Hébertville, dans un puits inutilisé.

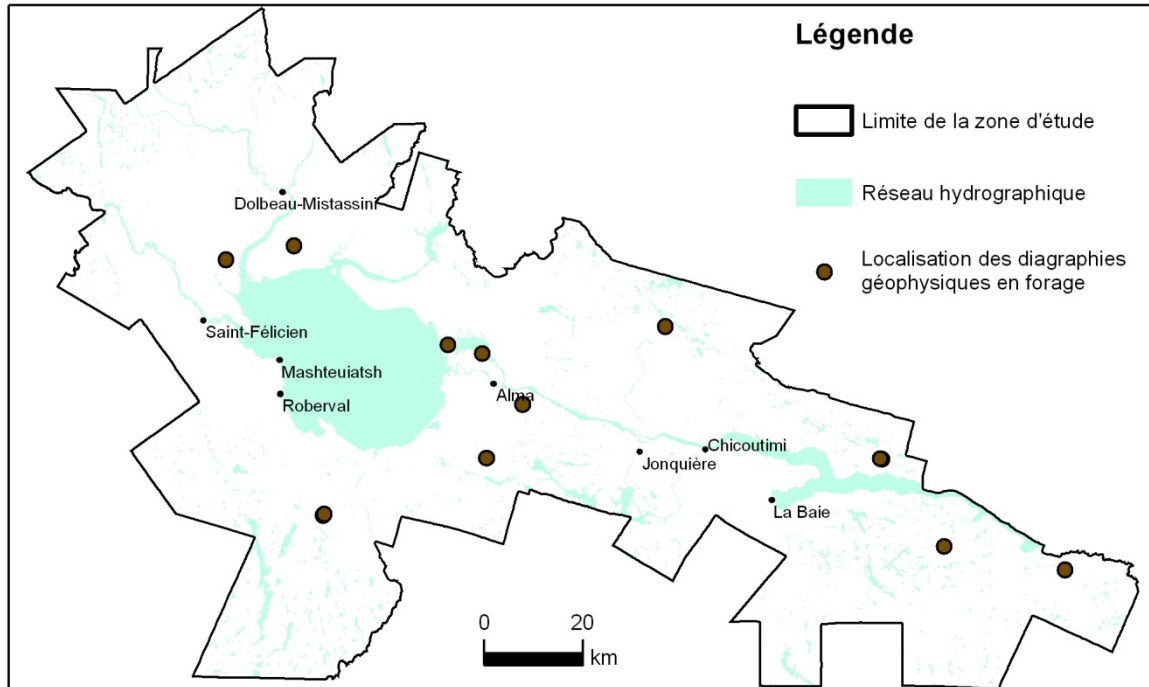


Figure 2-20 : Localisation des puits ayant fait l'objet d'une diagraphie géophysique en forage.

Ce volet a été réalisé avec la participation de la commission géologique des États-Unis (USGS) représentée par M. Roger Morin et son assistante. Le Dr Jean Roy a agi en tant qu'expert-conseil. Les informations recueillies ont été intégrées à la base de données numériques du PACES-SLSJ et les résultats provenant du seuil de Kénogami sont notamment intégrés aux résultats de Pino (2012). Les travaux ont été effectués durant les étés 2010 et 2011, les données acquises ont fait l'objet de d'un rapport technique détaillé, présenté à l'annexe numérique AN2. Les essais ont été réalisés dans des puits privés abandonnés. Au total, 12 puits ont fait l'objet d'une diagraphie géophysique, dont 2 correspondent à des piézomètres de suivi de la nappe souterraine exploitée par les municipalités de Saint-François-de-Sales et de Petit-Saguenay à des fins d'alimentation en eau potable. Tous les puits sont installés dans des aquifères rocheux fracturés de nature cristalline.

2.2.3 Échantillonnage hydrogéochimique

Les travaux d'échantillonnage hydrogéochimique ont été réalisés pour dresser le portrait régional de la qualité des eaux souterraines présenté au chapitre 5 de ce rapport.

La majorité des échantillons d'eau souterraine a été prélevée durant deux campagnes distinctes (été 2010 et été 2011; Photo 2-3), quelques échantillons ont aussi été collectés à d'autres moments de l'année selon les besoins. Chaque collecte d'échantillons a été précédée d'une étape de sondage téléphonique effectuée auprès des citoyens de la région. La sélection des points d'échantillonnage a été réalisée selon la répartition la plus homogène possible sur le territoire considéré, et en conservant la proportion la plus égale possible entre les échantillons provenant des dépôts de surface et ceux provenant du roc. La répartition géographique des points d'échantillonnage est présentée à la Figure 2-21.



Photo 2-3 : Prélèvement d'échantillon d'eau souterraine chez un résident de la région

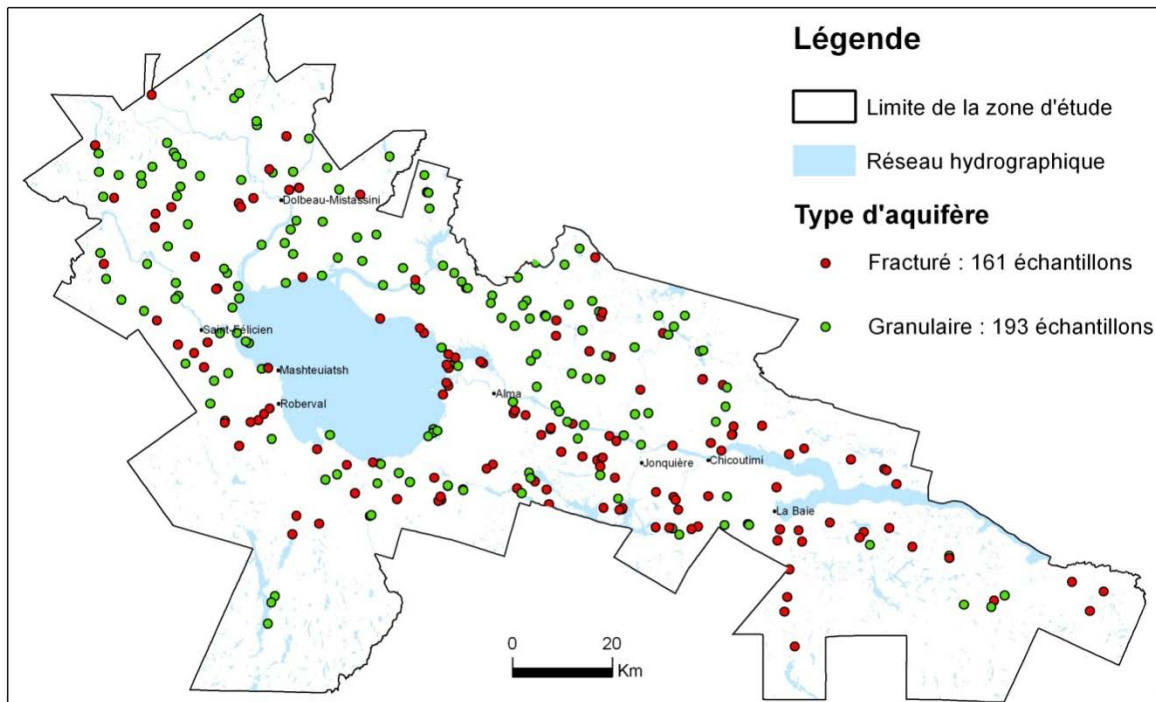


Figure 2-21 : Répartition géographique des échantillons d'eau souterraine.

Au total, 161 échantillons ont été prélevés dans le roc fracturé et 193 échantillons ont été prélevés dans les dépôts granulaires. Parmi les sites échantillonnés (332), 44 l'ont été à deux reprises dont la moitié dans le roc et l'autre moitié dans le granulaire. L'échantillonnage s'est effectué suivant un protocole monté à cet effet et validé par les partenaires du groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES) (Protocole P1). Les analyses ont été effectuées par le laboratoire accrédité *Maxxam analytic*, identifié par appel d'offres par le GRIES. Dans le cas où un échantillon d'eau souterraine présentait un dépassement de la norme RQEP¹⁶, un membre de l'équipe du PACES-SLSJ avisait le propriétaire du puits dans un délai de 24h. Les paramètres analysés à chaque station sont présentés aux Tableau 2—9 et Tableau 2—10.

Tableau 2—9: Liste des paramètres mesurés *in situ* lors de la campagne d'échantillonnage des eaux souterraines du PACES-SLSJ.

Température
Total des solides dissous / conductivité
Oxygène dissous
pH
Potentiel d'oxydo-réduction (Eh)

Tableau 2—10: Liste des paramètres analysés en laboratoire lors de la campagne d'échantillonnage des eaux souterraines du PACES-SLSJ.

Aluminium (Al)	Sélénium (Se)
Antimoine (Sb)	Strontium (Sr)
Argent (Ag)	Étain (Sn)
Arsenic (As)	Titane (Ti)
Baryum (Ba)	Vanadium (V)
Bicarbonate (HCO ₃)	Béryllium (Be)
Cadmium (Cd)	Bismuth (Bi)
Chrome (Cr)	Calcium (Ca)
Cobalt (Co)	Silicium (Si) - (soluble dans HNO ₃)
Cuivre (Cu)	Plomb (Pb)
Manganèse (Mn)	Uranium (U)
Molybdène (Mo)	Alcalinité Totale (en CaCO ₃) à pH 4.5
Nickel (Ni)	Azote ammoniacal (N-NH ₃)
Sodium (Na)	Bromure (Br)
Zinc (Zn)	Chlorures (Cl)
Bore (B)	Fluorure (F)
Fer (Fe)	Nitrate (N) et Nitrite (N)
Magnésium (Mg)	Phosphore inorganique
Lithium (Li)	Sulfates (SO ₄)
Potassium (K)	Sulfures (S)

2.2.4 Levés hydrostratigraphiques

Les levés hydrostratigraphiques aident à la compréhension du cadre stratigraphique régional présenté au chapitre 3. La majeure partie des levés ont été effectués dans le cadre d'un projet de cartographie des dépôts de surface défini pour venir en appui au projet PACES-SLSJ. Ce dernier projet visait la mise à jour des cartes des dépôts superficiels. Il a été réalisé conjointement par l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et l'UQAC. À ces levés s'ajoutent ceux réalisés lors des travaux plus spécifiques d'Étienne Hudon-Gagnon (2012) réalisés dans le

¹⁶Règlement sur la qualité de l'eau potable, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec.

cadre du PACES-SLSJ. La Figure 2-22 présente la répartition de l'ensemble des points de levés hydrostratigraphiques.

Les levés hydrostratigraphiques comprennent des levés de coupes et de colonnes stratigraphiques (Photo 2-4). La distinction entre les deux types de levés vient de l'accessibilité et de la qualité de l'information stratigraphique disponible aux stations d'observation. Une coupe stratigraphique correspond aux parois exploitées dans les gravières et les sablières de la région. Ces dernières permettent une lecture relativement claire des variations horizontales et verticales des faciès sédimentaires. Les levés de colonnes sont obtenus par l'exposition à la pelle des variations verticales des faciès sédimentaires. Communément, les colonnes stratigraphiques ont été prises le long des cours d'eau (à l'aide d'une embarcation motorisée de type Zodiac) ou dans les gravières et les sablières dont l'exploitation était arrêtée depuis un certain temps au moment de nos travaux.

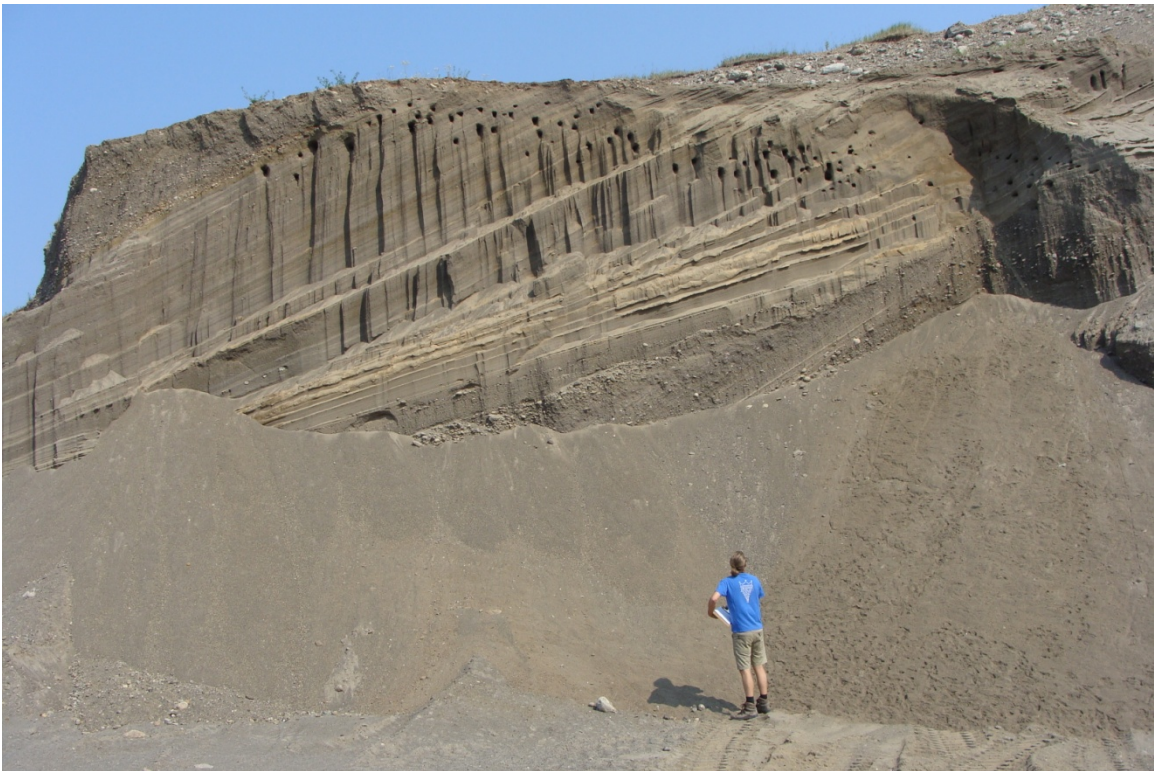


Photo 2-4 : Coupes stratigraphiques observées par l'équipe de cartographie des dépôts de surface.

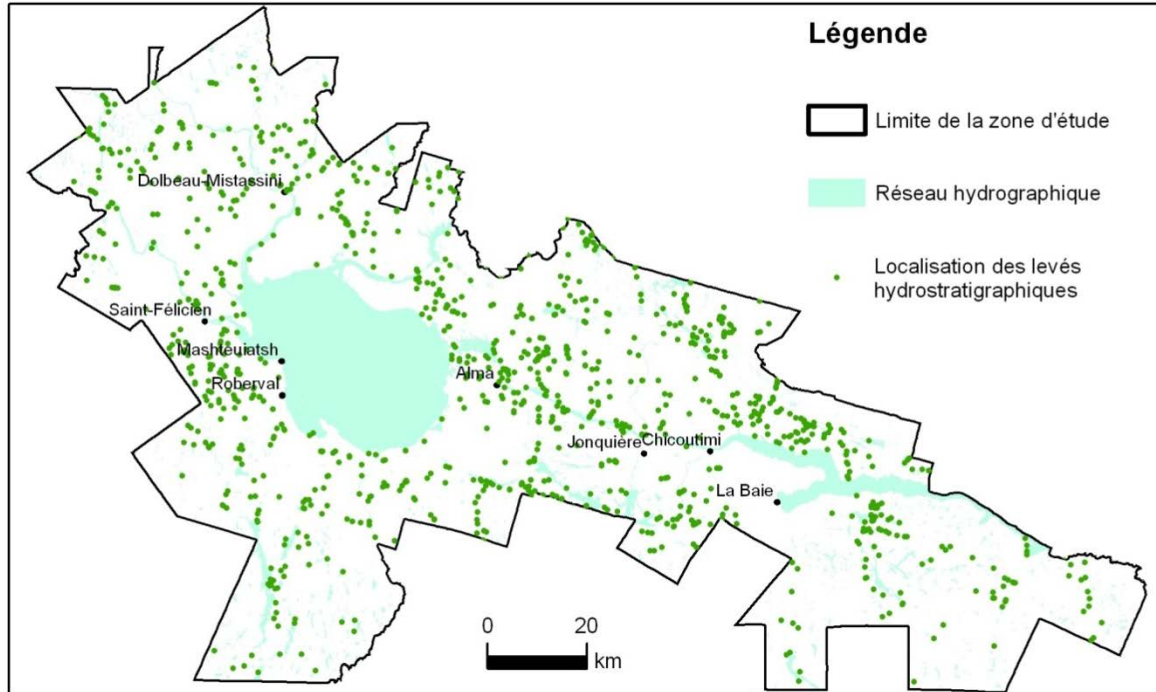


Figure 2-22 : Répartition géographique des levés hydrostratigraphiques.

2.2.5 Levés de géologie structurale

Ce volet visait la caractérisation structurale des roches affleurantes du seuil de Kénogami. Les résultats des campagnes de terrain sont présentés dans l'étude de Pino (2012) réalisée dans le cadre du PACES-SLSJ. Ils renseignent sur certaines caractéristiques des milieux aquifères fracturés régionaux présentés au chapitre 3. Dans la région, ce projet d'acquisition de connaissances en hydrogéologie structurale est le premier de cette envergure. Le Dr Amélia J. Fernandès, chercheure à l'*Instituto geologico* de l'État de Sao Paulo au Brésil, a participé à ces travaux. Les éléments structuraux mesurés sont les joints, les veines, les dykes et les zones de cisaillement. De plus, certains affleurements ont fait l'objet de levés détaillés (mesures systématique des fractures le long d'une ligne de levé; Photo 2-5). Le Tableau 2—11 résume la campagne de levés structuraux. La Figure 2-23 montre la répartition des stations de levés structuraux (affleurements) sur le seuil de Kénogami.



Photo 2-5 : Levés structuraux sur un affleurement à l'intérieur des limites du seuil de Kénogami.

Tableau 2—11 : Sommaire des levés de géologie structurale.

Description	Nombre
Affleurements étudiés	224
Joints mesurés	1 104
Veines	14
Dykes	6
Zones de cisaillement	5
Lignes de levé détaillé	3
Affleurements horizontaux (étude de l'âge relatif des familles des joints)	2

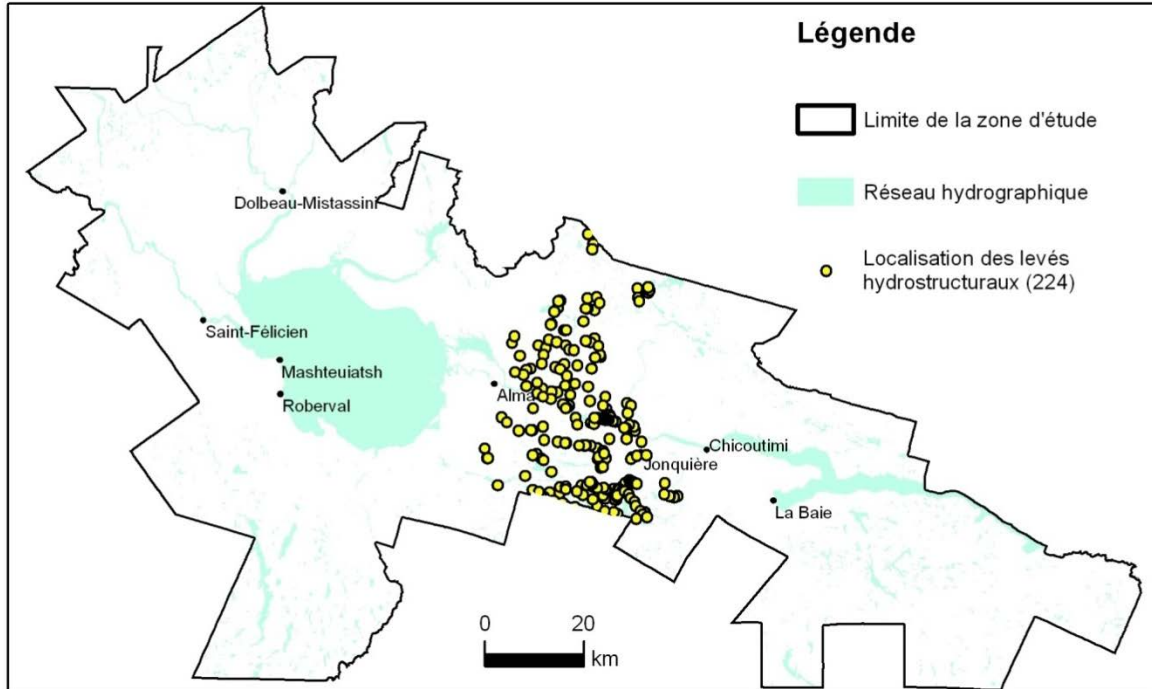


Figure 2-23 : Localisation des stations de levés de géologie structurale.

2.2.6 Forages et installation de piézomètres de 2 à 6 pouces de diamètre

À l'échelle du territoire municipalisé, une quarantaine de sites présentaient un intérêt pour l'acquisition de nouvelles connaissances hydrogéologiques. Parmi ces sites, 5 ont été retenus pour faire l'objet d'un forage destructif et d'une installation piézométrique. Un sixième site a été identifié pour accueillir un forage de type rotasonic.

La technique de forage rotasonic permet la récupération en continu des dépôts de surface sous forme de carottes de sédiments faiblement remaniés. La compagnie *Boart Longyear* a été sélectionnée pour réaliser ce forage sur une TPI de la municipalité de Labrecque. Ces données ont notamment été intégrées aux travaux d'Étienne Hudon-Gagnon (2012) et se sont avérées utiles à une meilleure compréhension du cadre stratigraphique des séquences deltaïques (chapitre 3). Ce forage aura permis la récupération de 65 m de sédiments et de 6 m de roc anorthositique. Le trou de forage a été aménagé en nid de piézomètres. Un premier piézomètre a été placé dans le roc et l'autre dans les premiers mètres de dépôts granulaires.

La compagnie de forage *Puisatiers Delisle inc.*, a été sélectionnée par appel d'offres et selon les conventions établies pour réaliser les forages destructifs et l'installation des piézomètres (Photo 2-6). La campagne de forages a permis la récupération de 200 échantillons remaniés dont certains ont été tamisés dans le cadre du projet de fin d'études de Beaulieu (2012).



Photo 2-6 : Forage destructif et installation de piézomètres (à gauche de la photo) dans le secteur de Saint-Félicien, arrondissement de Saint-Méthode.

La Figure 2-24 montre la localisation des sites de forage sélectionnés dans le cadre du PACES-SLSJ, et l'annexe numérique AN3 présente un résumé des installations piézométriques pour chacun de ces sites. Les piézomètres installés dans les dépôts de surface ont un diamètre de 2 pouces, à l'exception du forage SLSJ40057 qui possède un diamètre de 6 pouces. Les piézomètres installés dans le roc présentent tous un diamètre de 6 pouces. Pour chaque site, une autorisation de travaux a été signée avec le propriétaire ou le gestionnaire du terrain en question.

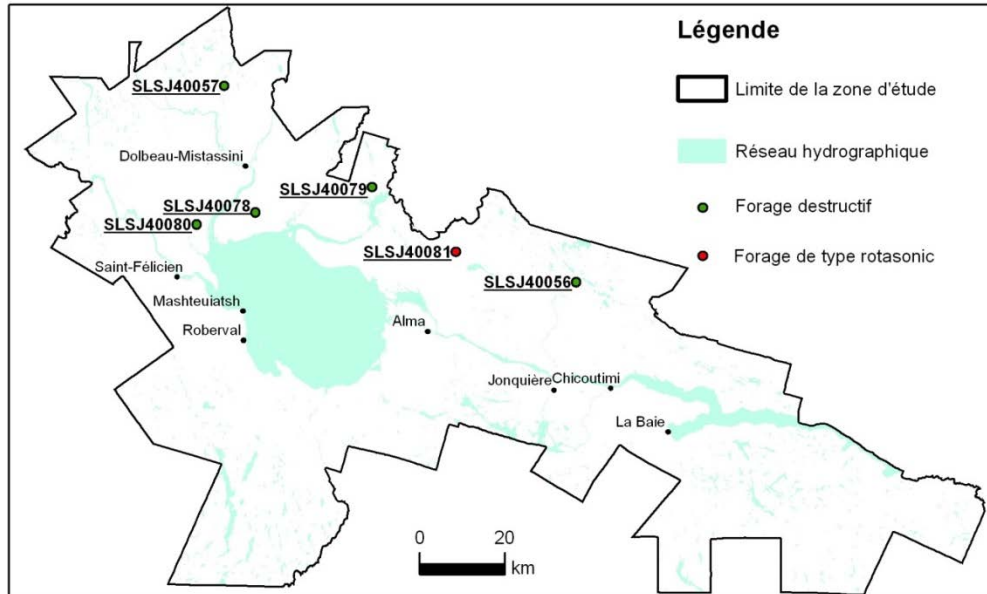


Figure 2-24 : localisation des forages destructifs et de type rotasonic.

Tableau 2—12 : Résumé des installations piézométriques

No forage	Municipalité	Statut terrain	Nombre de piézomètres	Milieu aquifère intercepté
SLSJ40056	Saint-David-de-Falardeau	Privé	2	1 roc; 1 granulaire
SLSJ40078	Dolbeau-Mistassini	TPI*	3	1 roc; 2 granulaire (nid)
SLSJ40080	Saint-Méthode	TPI*	3	1 roc; 2 granulaire (nid)
SLSJ40057	Saint-Eugène-d’Argentenay	TPI*	1	1 granulaire
SLSJ40079	Saint-Ludger-de-Milot	TPI*	2	2 granulaire (nid)
SLSJ40081	Labrecque	TPI*	2	1 roc; 1 granulaire (nid)

* Les Terres publiques intramunicipales (TPI) appartiennent au MRN et sont gérées par les MRC.

2.2.7 Sondages au piézocône et installation de piézomètres de 1 pouce de diamètre

La campagne de levés au piézocône (Photo 2-7) et d’installations piézométriques (Photo 2-8) a été réalisée en partenariat avec l’INRS-ETE qui a mis sa foreuse (modèle *Geotech 605D*) à la disposition du CERM de l’UQAC. Les résultats de ces levés ont permis d’acquérir des connaissances sur l’épaisseur de l’argile et, de manière générale, sur le cadre stratigraphique régional présenté au chapitre 3, mais aussi d’obtenir de l’information sur la qualité de l’eau (chapitres 3 et 4) et sur le niveau piézométrique local (chapitre 4). La localisation des essais au piézocône et des installations piézométriques est montrée à la Figure 2-25.



Photo 2-7 : Levé au piézocône réalisé dans le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.



Photo 2-8 : Piézomètre de 5 cm de diamètre captant une nappe captive artésienne jaillissante sur le site d'investigation de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.

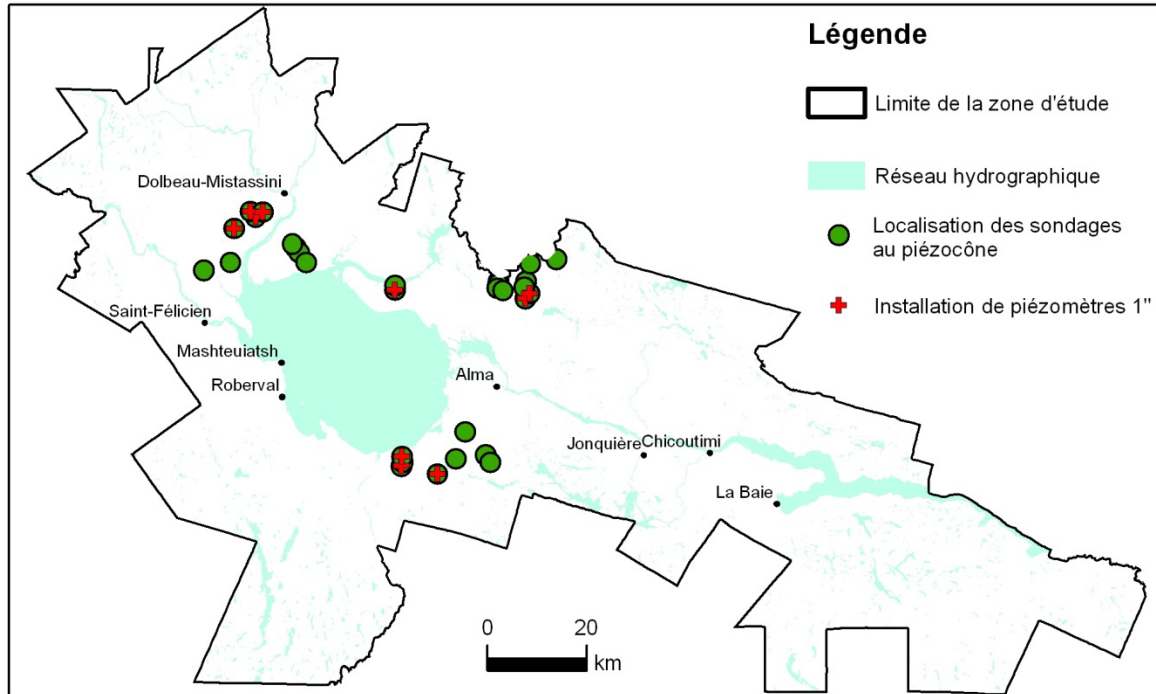


Figure 2-25 : Localisation des essais au piézocône et des piézomètres de 1 pouce de diamètre.

En bref, deux types de levés ont été réalisés soit : le « direct push » (DIRP), qui permet l'installation de piézomètre et l'échantillonnage des dépôts de surface à une profondeur souhaitée et sur une longueur de 1,5 m (5 pieds), et le « Cone penetration test » (CPT) qui correspond aux essais au piézocône. La campagne a permis d'effectuer 34 CPT et d'installer 12 piézomètres de 2,5 cm de diamètre (1 pouce). À ces levés s'ajoute le prélèvement de 4 échantillons de sédiments. Certains résultats de levés au piézocône ont été intégrés aux projets de recherche de Beaulieu (2012) et d'Étienne Hudon-Gagnon (M.Sc.A. en cours).

2.2.8 Essais hydrauliques

Les essais de pompage et de perméabilité correspondent aux essais hydrauliques communément employés pour caractériser les propriétés hydrauliques des formations aquifères. La plupart de ces essais sont effectués à l'aide d'une pompe submersible qui permet d'extraire l'eau contenue dans la formation aquifère, et de l'échantillonner. Ces tests ont été effectués dans les forages réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ, dans des puits abandonnés et dans des puits individuels privés servant à l'alimentation en eau potable. La majorité des essais ont été réalisés au moment de la purge des puits préalable à l'échantillonnage hydrogéochimique (Photo 2-9). La durée du pompage est généralement courte (inférieure à 2 heures) et les mesures de rabattement de la nappe ont été prises lors du pompage et de la remontée. Au total, 165 essais de pompage de courte durée ont été réalisés dans les milieux aquifères granulaires et de roc fracturé. Parmi ces derniers, environ 100 essais ont été interprétés à l'occasion des projets d'Elliott (2010) et de Vigneault (2012). Les résultats permettent de caractériser le milieu aquifère en termes de transmissivité, de conductivité hydraulique et de coefficient d'emmagasinement (chapitre 4). La Figure 2-26 permet de localiser ces essais.



Photo 2-9 : Mesure du rabattement et de la remontée occasionnés par la purge du puits préalable à l'échantillonnage hydrogéochimique

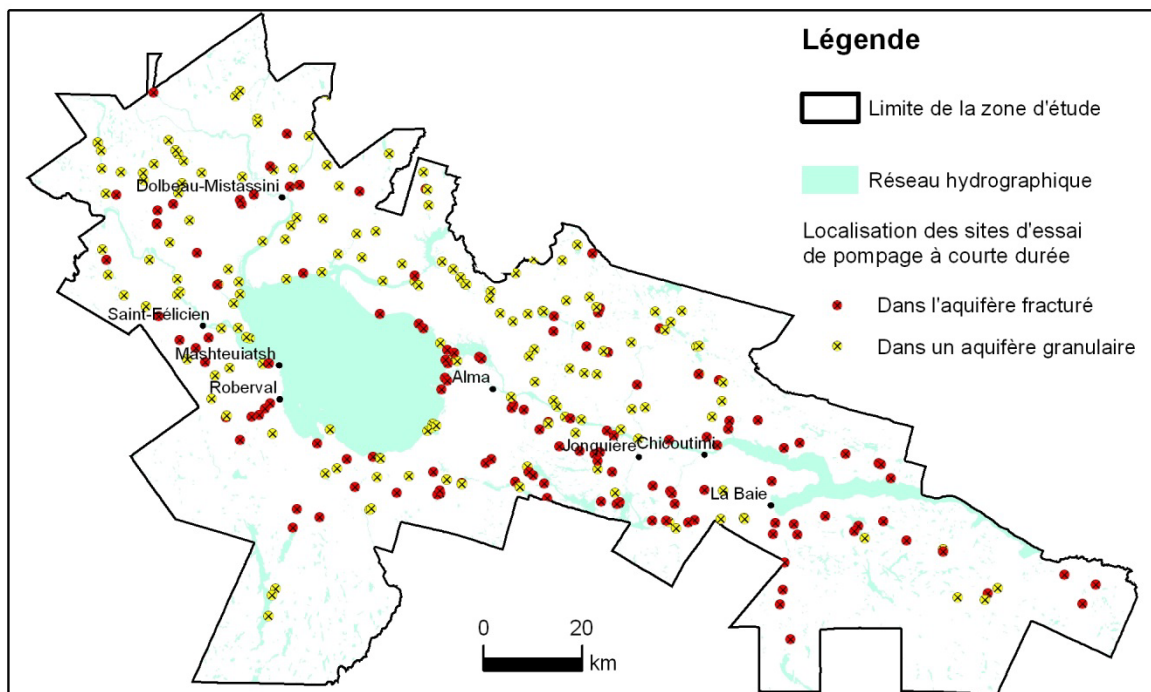


Figure 2-26 : localisation des essais de pompage réalisés lors des campagnes d'échantillonnage hydrogéochimique.

2.3 Saisie, validation et archivage des données

Deux phases ont permis de recueillir des données hydrogéologiques. La première phase du PACES visait à récupérer les données existantes. Le processus de numérisation des données existantes est présenté à la section 2.3.1. La deuxième phase visait à réaliser des travaux sur le terrain pour augmenter les connaissances hydrogéologique sur le territoire à l'étude. La numérisation de ces nouvelles données est présentée à la section 2.3.2.

2.3.1 Numérisation des données existantes

Le processus de saisie, de validation et d'archivage des données hydrogéologiques existantes a fait l'objet d'un protocole rédigé pour le Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES) dans le cadre du PACES (Protocole P2) et comporte cinq étapes (Figure 2-27). La suite du texte en présente les grandes lignes.

Étape 1

La première étape consiste à numériser à l'aide d'un balayeur optique tous les documents papiers (ex: rapports techniques) récupérés au cours de la collecte des données. Les documents numérisés sont sauvegardés en format PDF et un hyperlien est créé dans une base de données bibliographiques (*EndNote* de *Thomson Reuters*).

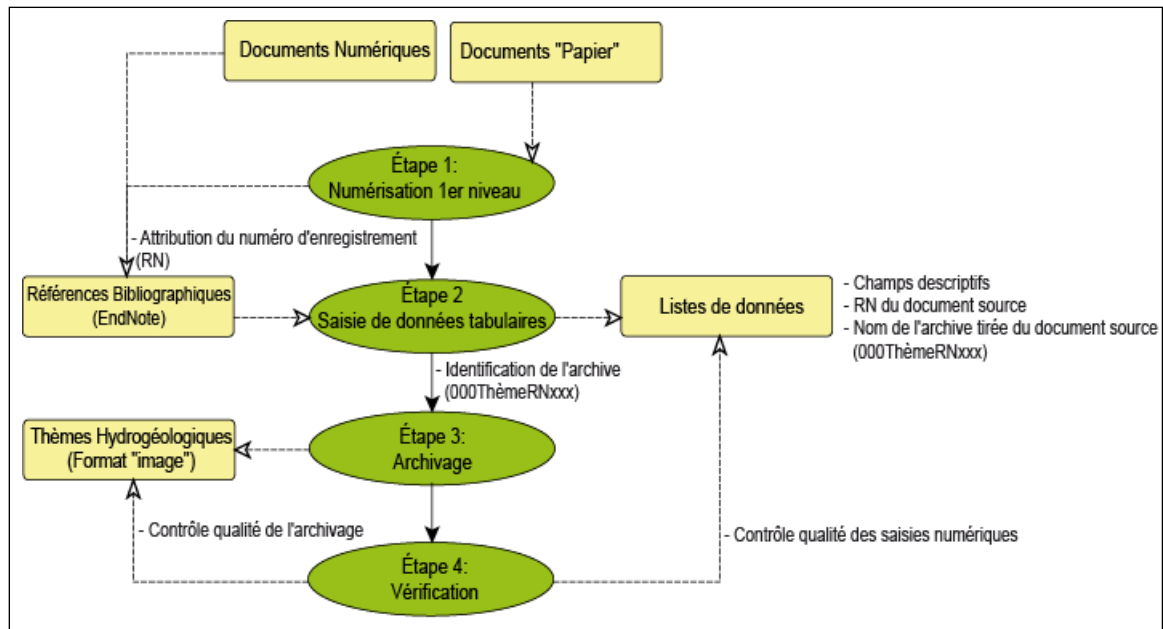


Figure 2-27 : Diagramme schématique de la procédure de numérisation et d'archivage des documents existants.

Étape 2

La deuxième étape vise à saisir l'information pertinente présente dans les documents à l'intérieur d'un chiffrier Excel. Les informations sont structurées sous forme de colonnes (champs) et de lignes (enregistrements). Un champ réfère à une information jugée pertinente et

utile pour décrire une station d'observation¹⁷, alors qu'une ligne contient toutes les valeurs de champs pour une station en particulier. Cette structure particulière qui permet d'organiser l'information est appelé liste de données. Les champs descriptifs de la liste de données varient selon le thème hydrogéologique traité (ex: stratigraphie, géophysique, granulométrie, etc.).

Étape 3

La troisième étape est réalisée pour faciliter l'accessibilité à la donnée source. Les pages numérisées à la première étape et utilisées lors de la saisie de l'information dans des listes de données sont extraites des documents et archivées par thème (ex: diagraphie de forage, localisation, etc.).

Étape 4

La quatrième et dernière étape consiste à vérifier les données saisies et numérisées. En effet, lors de l'opération de saisie numérique de l'information des documents papiers des erreurs peuvent être commises. Il est donc impératif de vérifier la saisie des données par un processus rigoureux de contrôle de qualité. La qualité de la base de données finale est directement liée à cette quatrième étape. Pour chaque groupe de données impliquant une saisie manuelle des données (stratigraphie, propriétés hydrauliques, hydrogéochimie par exemples), ce processus a été effectué.

Une fois ces quatre étapes complétées, si de nouveaux rapports sont reçus, le processus de saisie, de validation et d'archivage des données recommence. À l'écriture de ce rapport, **41** nouveaux rapports d'experts conseil ont été obtenus en cours d'élaboration des livrables et n'ont pu être saisis numériquement dans les listes de données. De plus, 44 nouvelles valeurs de transmissivité ont été calculées dans le cadre d'un projet de fin d'études [Vigneault, 2012]. Ces nouvelles données sont archivées dans un répertoire nommé *Mise à jour* et seront éventuellement ajoutées dans les listes de données. D'autres données pourraient aussi être obtenues ; par exemple aucun rapport d'Hydro-Québec ni de Rio Tinto Alcan n'a été reçu dans le cadre du PACES-SLSJ, malgré l'existence de nombreux rapports pertinents dans ces entreprises.

2.3.2 Numérisation des données acquises sur le terrain (caractérisation hydrogéologique)

Fiche de terrain papier

Les fiches de terrain sont produites sur un format papier. Chacune d'entre elles a été numérisée à l'aide d'un balayeur optique puis archivée en format PDF dans un répertoire prévu à cet effet. Le nom des fichiers PDF est un identifiant unique qui se retrouve dans un champ de la base de données de saisie (présentée ci-dessous) et dans la base de données spatiales finale du projet.

Formulaire Access et base de données de saisie

Afin de faciliter l'étape de saisie numérique des données acquises sur le terrain, l'équipe du CERM de l'UQAC a conçu des formulaires numériques en format *Access* de *Microsoft*. Ils permettent d'uniformiser les données saisies électroniquement et remplacent les listes de

¹⁷ Une station d'observation est un puits, un piézomètre, un forage, un trou ou un levé géophysique

données *Excel* tel qu'utilisées pour la saisie numérique des données existantes (section 2.3.1). En effet, les listes de données *Excel* sont souvent trop longues, difficiles à consulter, et surtout, n'offrent pas d'option pour assurer l'intégrité de la base de données tels que les relations entre les différentes tables. De leur côté, les formulaires développés sous *Access* permettent en plus d'extraire des rapports sous forme de compte-rendu selon des critères spécifiques (requête) et de définir une architecture de base de données relationnelle. La Figure 2-28 présente un exemple de formulaire numérique de saisie, en l'occurrence celui pour la saisie de l'information hydrogéochimique. Des formulaires de ce type ont été conçus pour les thèmes suivant :

- Hydrogéochimie
- Cartographie quaternaire et hydrostratigraphie
- Forages
- Essais de pompage
- Géologie structurale
- Géophysique

Les données sont ensuite transférées dans une base de données *PostGreSQL* dont la structure est commune à tous les projets réalisés dans le cadre du PACES. De plus, les données du PACES-SLSJ sont aussi saisies dans une base de données spatiales implantée dans le format *file geodatabase* d'ArcGIS.

The screenshot shows a web-based data entry form for a well. The form is organized into several sections:

- Identification du site:** Includes fields for 'Numéro du site' (H001), 'Municipalité' (Chic), 'CodeMRC' (FJORD), 'Adresse' (3746 Chemin St-Pierre), 'Personne Ressource' (Germain Rivest), 'Téléphone' (418) 543-7888, 'Préleveur' (MB), 'Environnement' (T1), 'Projet' (111), 'Fiche terrain' (H001-Chicoulini-230620), and 'Schéma Site' (Schéma Stratigraphique).
- Puits:** 'Identification Puits' section with 'Nom Puits' (H001-1) and 'Année Construction' (1979). 'Localisation Puits' section with 'Altitude' (150), 'Estant' (340222), 'Nordant' (5358653), 'Projection' (UTM), 'Zone' (19), 'Source Coord' (GPS), and 'Feuille' (022006).
- Caractéristiques physiques:** 'Prof. (m)' (44.20), 'Diam. (cm)' (15.24), 'Longueur Crépine (m)', 'Profondeur Crépine (m)', 'Type Tubage' (A), 'Longueur Margelle (cm)' (-5.00), 'Type Pompe' (3/4 de force submersible), 'Profondeur Pompe (m)' (40.54), and 'Aérateur' (checkbox).
- Conditions:** 'Condition Ouvrage' (F), 'Type Aquifère' (S), 'Type Nappe' (A), 'Jaillissante' (checkbox), 'Type Ouvrage' (Pv), and 'Stratigraphie' (dropdown).
- Utilisation Ressource:** 'Utilisation' (Domestique), 'Disponibilité Ressource', 'Variation Qualité', 'Analyse Copie' (checkbox), 'Nombre Utilisateur' (1), and 'Traitement'.
- Observations:** 'Date observation' (2010-06-23), 'Observé par' (MB), 'Intérêt' (H3), 'Météo' (N), 'Température de l'air' (23), and 'QaQc' (checkbox).

At the bottom, there are navigation buttons: 'Fermer', 'LV-Station', 'LV-Localisation', 'LV-Caract-1', 'LV-Caract-2', 'LV-Autres', 'LV-Unités', and 'Conversion Unités'.

Figure 2-28 - Formulaire numérique de saisie Access; exemple de la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique.

2.4 La base de données spatiales

L'architecture de la base de données spatiales développée et implantée au SLSJ diffère de celle retrouvée dans les bases de données de saisie (section 2.3.2) et s'apparente davantage à celle retrouvée dans un entrepôt de données. Les avantages et les limites de ces deux types d'architecture sont présentés dans plusieurs ouvrages (Inmon, 1996; Devlin, 1997; Kimball, 1997; Raden, 2003; Lambert, 2006). 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'un interface-client comme un système d'information géographique. La section 2.4.1 présente le modèle d'implantation de la base de données spatiales et la section 2.4.2 traite du fichier contenant les métadonnées s'y rattachant.

2.4.1 Modèle d'implantation

Dans un souci d'uniformité, les noms de certaines tables et de certains champs retrouvés dans la base de données spatiales s'inspire en partie de ceux retrouvés dans la base de données de saisie *PostGreSQL* produite par l'INRS-ETE et fournie au GRIES pour faciliter l'intégration des données de toutes les régions du Québec participant au PACES. Le modèle d'implantation de la base de données spatiales est présenté à la Figure 2-29. Ce modèle d'implantation permet de visualiser rapidement certaines caractéristiques des tables de la base de données spatiales (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.

La table centrale illustrée en **blanc** contient les données de localisation (coordonnées géographiques) d'une station d'observation¹⁸ (donnée ponctuelle) et quelques informations supplémentaires (référence à la donnée source, propriétaire, liste des informations attachées à la station, etc.). Plusieurs autres tables sont liées à la table centrale. Elles contiennent des informations complémentaires qui peuvent être groupées sous différents thèmes représentés par une couleur distincte sur la Figure 2-29. Elles contiennent de l'information sur les infrastructures de la station d'observation (longueur de crépine, 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 suite à l'application du protocole *Fiabilité et validation des données de forage* (Protocole P3). Ce protocole vise à évaluer la fiabilité et la validité des données de forage avant leur utilisation dans l'élaboration d'un livrable donné. Il propose une méthodologie permettant d'identifier les doublons de forage et de valider la donnée disponible. Il s'appuie sur divers traitements informatiques réalisés à l'aide de codes VBA (*Visual Basic Applications*) ou de requêtes SQL (*Structured Query Language*).

Certaines tables ne possèdent pas de lien direct avec la table centrale, mais ont été obtenues ou validées avec les données s'y retrouvant. Elles correspondent aux livrables finaux du PACES. Le contenu de chacune des tables illustrées sur la Figure 2-29 est présenté en détail à l'Annexe 3.

2.4.2 Les métadonnées

Une description des données présentes dans la base de données spatiales est fournie dans un fichier *Excel*. La première feuille du fichier fournie les informations générales telles que le nom

¹⁸ Une station peut être un puits, un piézomètre, un forage, un trou ou un levé géophysique.

de la base de données spatiale, 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 spatiale. 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.

3 CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX

Dans le cadre du PACES-SLSJ, la notion de contexte hydrogéologique réfère aux caractéristiques physiques du contenant de l'eau souterraine à l'échelle régionale et intègre les données géologiques et stratigraphiques disponibles. Ainsi, ce chapitre présente les milieux aquifères régionaux (roc fracturé et granulaire), la stratigraphie régionale, la régionalisation du cadre stratigraphique et l'interprétation des limites des milieux aquifères présents en surface et sous-jacents aux unités imperméables de la région.

3.1 Les milieux aquifères régionaux

Un aquifère est un milieu géologique poreux et/ou fracturé suffisamment perméable pour permettre une extraction utile de l'eau qu'il contient. La connaissance des caractéristiques intrinsèques des formations géologiques, en termes de porosité (de matrice ou de fracture) et de perméabilité¹⁹, permettent de déduire qualitativement la fonction *roche-réservoir*²⁰ (Parriaux et Nicoud, 1993) de ces formations, sans considérer la présence ou l'absence d'eau souterraine. De ce fait, il est recommandé, à une échelle régionale, d'employer le terme de « milieu aquifère », puisque la délimitation des grands ensembles est réalisée sur la base du *contenant* de l'eau souterraine. Quant au *contenu*, c'est-à-dire l'eau souterraine, il est pour sa part négligé dans cette section, car il sera décrit dans le chapitre 4.

Les milieux aquifères régionaux sont de deux types : les milieux aquifères de roc fracturé et ceux constitués de dépôts granulaires. Ces types de milieux aquifères sont présentés dans les sections suivantes.

3.1.1 Les milieux aquifères de roc fracturé

La porosité primaire²¹ des roches grenvilliennes et ordoviciennes est présumée faible et conférant une très faible perméabilité à la matrice de ces unités rocheuses. Du point de vue mécanique, les contraintes tectoniques auxquelles ont été soumises les roches de la région depuis leur mise en place ont généré des structures et des discontinuités ductiles et fragiles. Ce sont surtout les structures fragiles qui ont joué un rôle hydrogéologique en octroyant une porosité secondaire aux massifs rocheux. Toutefois, cette porosité est discontinue et variable selon le degré de fracturation.

Dans la région du SLSJ, les milieux aquifères de roc fracturé sont de 2 natures : les réservoirs au sein des roches cristalline d'âge cambrien et précambrien, et ceux au sein des roches calcaires d'âge ordovicien.

Milieux aquifères constitués des roches calcaires

En général, les calcaires de la région ne semblent pas avoir développé de réseau karstique important depuis la fonte du glacier continental, bien que des fractures de dissolution

¹⁹ Les termes perméabilité et porosité sont décrits en détail au chapitre 4.

²⁰ Les formations sont considérées aquifères lorsqu'elles présentent les propriétés hydrauliques permettant l'infiltration et l'écoulement de l'eau.

²¹ La porosité primaire correspond à la porosité de matrice du milieu (ces éléments sont repris en détail au chapitre 4).

marginale, jusqu'à une dizaine de centimètres d'ouverture, ont été observées localement lors de travaux de terrain réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ, comme aux abords de la *carrière 500* à Saint-Honoré. De plus, quelques cavernes et quelques sources dans les calcaires sont aussi connues, comme à Chambord et à Val-Jalbert (LaSalle et Tremblay, 1978). Il ressort des observations de terrain réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ, que la présence de calcaires en affleurement favorise le développement de telles structures. En effet, les calcaires interceptés dans la région par forage, sous d'épais dépôts meubles, ne présentent pas de marque de dissolution évidente. De plus, le forage SLSJ40055, réalisé à Saint-David-de-Falardeau, révèle une épaisseur de calcaires stratifiés d'environ 110 m, sans identifier clairement les deux formations sommitales de Desbiens et Lespérance (1989). Par ce forage, le projet PACES augmente significativement l'épaisseur maximale attendue des calcaires ordoviciens²².

L'écoulement glaciaire et la présence de nombreux blocs erratiques de calcaire ordovicien dans la moraine de fond à proximité de Saint-Henri-de-Taillon suggèrent leur présence dans la partie nord du lac-Saint-Jean, et des forages, dont les descriptions stratigraphiques n'ont pu être récupérées dans le cadre du PACES-SLSJ, ont révélé la présence de ce même calcaire aux environs de Péribonka et de Saint-Méthode (LaSalle et Tremblay, 1978). Un forage extrait du rapport d'expert RN390²³ et contenu dans la base de données numériques du PACES-SLSJ (forage SLSJ20298), confirme la présence de calcaire sous les sédiments meubles de la Pointe Taillon. De plus, le forage SLSJ40058²⁴ réalisé dans le secteur de Vauvert, dans le cadre du PACES-SLSJ, a intercepté environ 65 m de roches sédimentaire dont les 20 premiers mètres se composent de schiste argileux apparentés à la Formation de Pointe Bleue, et le reste est composé de calcaire. À la lumière de ces observations, la carte géologique adaptée des travaux de Laurin et Sharma (1975) a été revue et modifiée. Les nouvelles limites des roches calcaires et les forages à l'origine de leur interprétation sont présentées à la Figure 3-1.

²² Au chapitre 1, le Tableau 1—3 de Desbiens et Lespérance (1989) montre une épaisseur maximale de 90 m.

²³ Numéro de référence du rapport provenant de la base de données *EndNote* décrite au chapitre 2.

²⁴ La description du forage est présentée en détail dans la section 3.3 de ce chapitre.

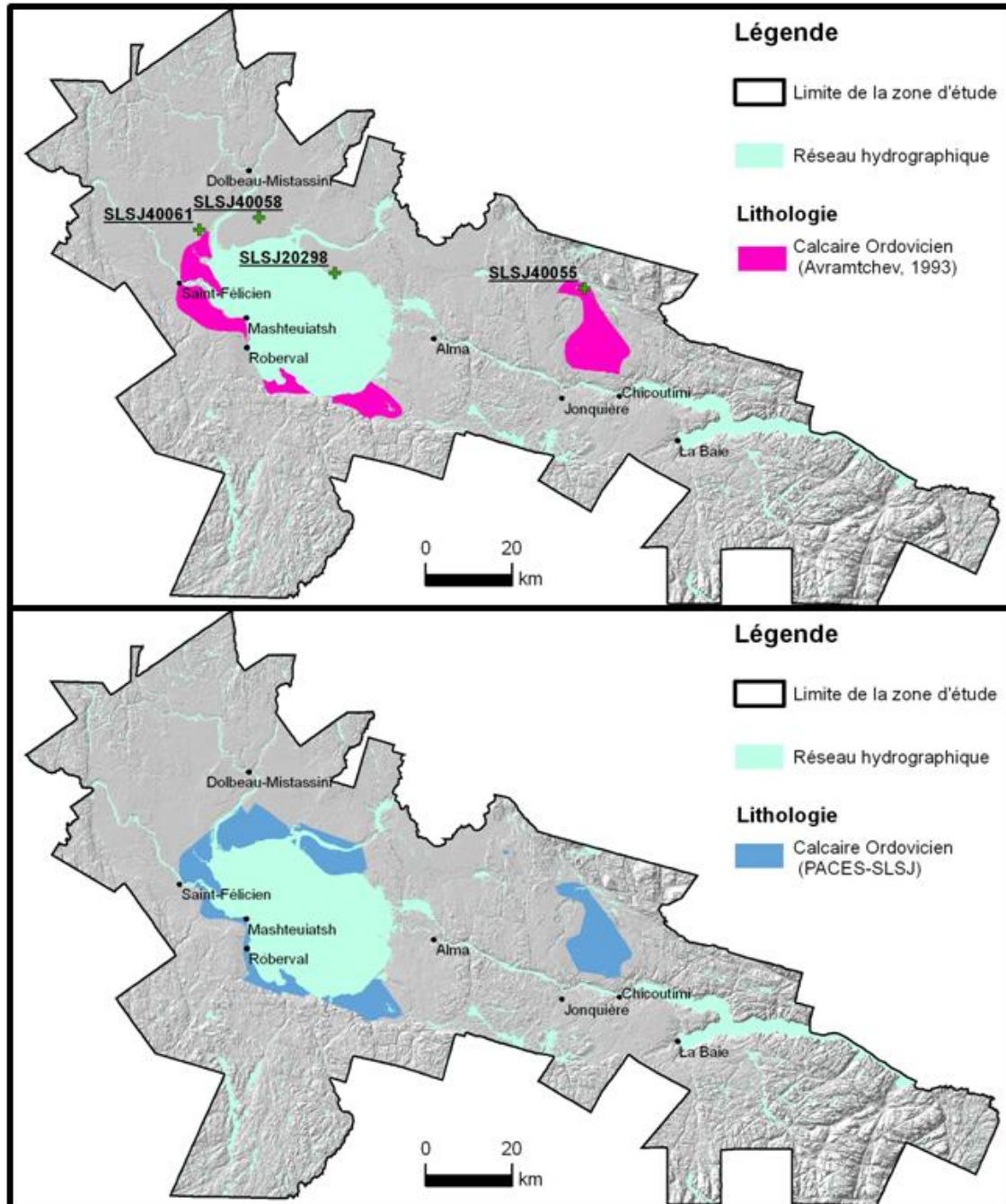


Figure 3-1: Nouvelle interprétation de l'étendue des calcaires ordoviens sur le territoire municipalisé du SLSJ.

Milieux aquifères constitués des roches cambriennes

Les carbonatites sont aussi connues pour développer des structures similaires aux réseaux karstiques retrouvés dans les roches ordoviennes. Des visites effectuées dans les galeries de la mine *Niobec*, à Saint-Honoré, ont permis d'observer des cavités allant jusqu'à plusieurs mètres d'ouverture. D'étendue kilométrique et associés aux complexes intrusifs alcalins incluant les carbonatites, les lamprophyres riches en micas, présentent une porosité primaire supérieure

aux autres roches cambriennes, ainsi qu'aux roches précambriennes. Le forage SLSJ40061, réalisé dans le cadre du PACES-SLSJ sur le territoire de Saint-Méthode, à l'ouest du lac Saint-Jean, intercepte sur une dizaine de mètres un roc présentant des caractéristiques similaires à celles des lamprophyres²⁵. Un forage carotté permettrait de confirmer ces observations. Leur caractère altérable et leur enrichissement en éléments indésirables dans l'eau (aluminium, fer et magnésium) font d'eux de piètres aquifères quant à la qualité de l'eau qu'ils peuvent contenir. L'analyse de l'eau du forage SLSJ40061 à Saint-Méthode semble confirmer cette observation²⁶. De plus, leur faible épaisseur (jusqu'à une dizaine de mètres) limite leur capacité à contenir de grands volumes d'eau.

Milieus aquifères constitués des roches précambriennes

La nature cristalline des roches précambriennes suggère que l'essentiel du potentiel aquifère de ces formations est dicté par la déformation qui peut être caractérisée en fonction des deux styles de déformation qui sont reconnues dans la région : la déformation ductile responsable du plissement des roches et du développement de fabriques planaires et de zones de cisaillement, et la déformation fragile caractérisée par des fractures, des failles et des joints.

L'empreinte de la déformation ductile

L'empreinte de la déformation ductile se matérialise par la présence d'une fabrique planaire régionale responsable du grain structural de la région. Sur le terrain, cette fabrique correspond à une foliation ou à une gneissosité. Dans les zones de cisaillement régionales, ces fabriques deviennent très intensément développées créant une anisotropie planaire continue sur des dizaines de kilomètres pouvant influencer l'écoulement de l'eau souterraine.

La zone de déformation de Saint-Fulgence (ZDSF) représente certainement l'élément le plus significatif de la région. Elle est montrée à la Figure 3-2. Son extension régionale (>200 km), son orientation NE et son épaisseur variant de 5 à 20 km en fait une structure anisotrope régionale de premier ordre, d'autant plus que cette zone de déformation marque un contact lithologique majeur entre le Complexe anorthositique du LSJ du côté ouest et les gneiss et granites variés du côté est.

Au sein des Monts Valin, le grain structural représenté par la première fabrique décrit des circonvolutions et des ondulations ayant des expressions topographiques notables et donc observables à partir du modèle numérique d'altitude (MNA). Localement ce rubanement produit des structures circulaires pouvant être interprétées comme des dômes.

D'un point de vue hydrogéologique, l'influence du grain structural des roches précambriennes n'a pas été investiguée dans le cadre de ce projet. Toutefois, des observations de terrain, réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ, ont montré que certains couloirs de déformation ductile sont parfois le siège de déformation fragile. C'est notamment le cas à la limite ouest du graben, à la sortie du village de La Doré, le long du linéament majeur orienté nord-sud marquant la limite des basses terres et des hautes terres, ainsi qu'au cœur du seuil topographique de Kénogami. C'est aussi le cas de la Zone de déformation de St-Fulgence.

²⁵ La description du forage est présentée en détail dans la section 3.3 de ce chapitre.

²⁶ La qualité de l'eau de ce forage est discutée au chapitre 5.

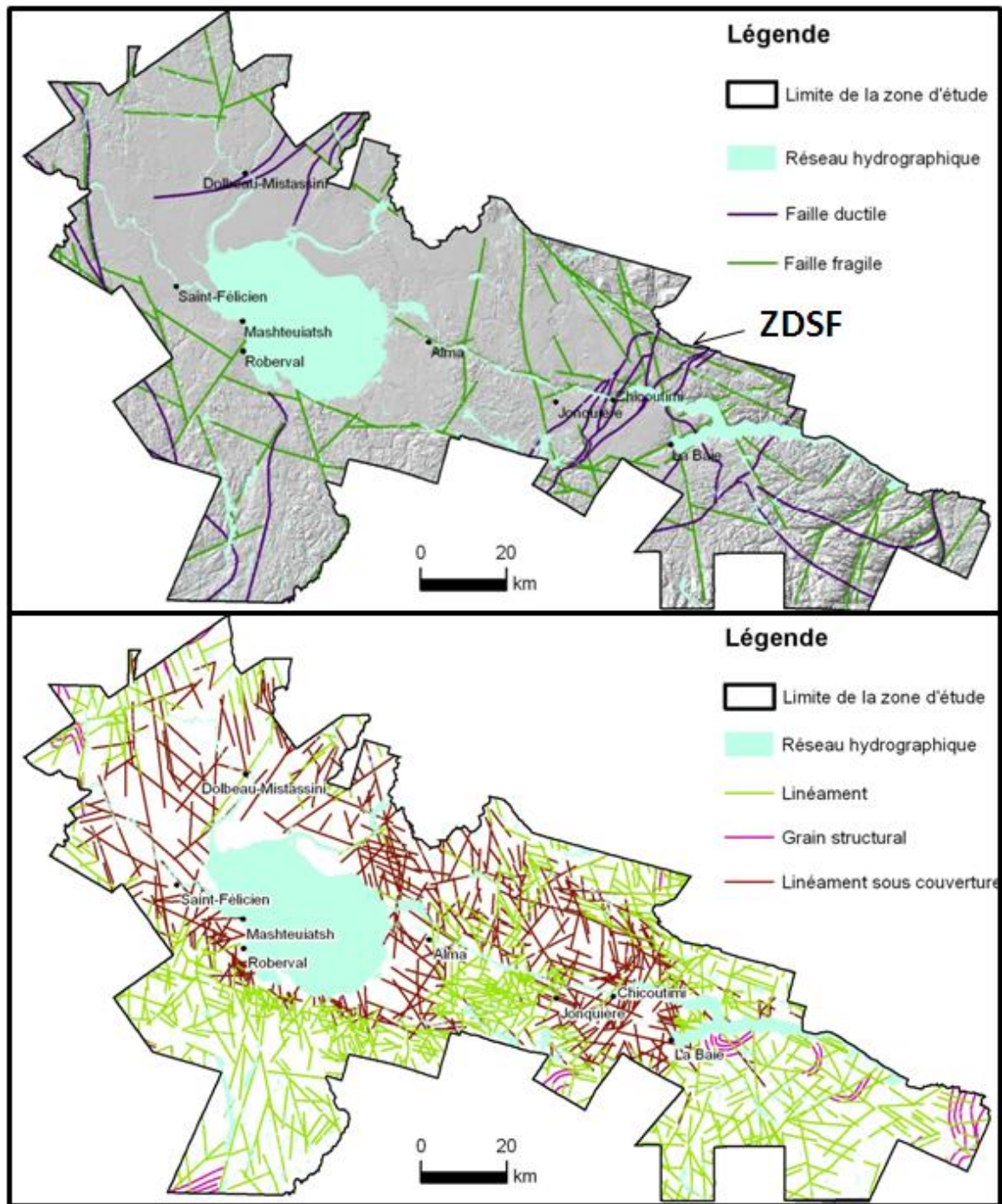


Figure 3-2: Principaux éléments de géologie structurale et interprétation linéaire.

L'empreinte de la déformation fragile

L'expression de la déformation fragile se manifeste d'abord par des failles produisant des décalages locaux (quelques centaines de mètres) des contacts géologiques. Les zones de faille peuvent faire moins d'un mètre d'épaisseur et peuvent atteindre quelques mètres. Elles se matérialisent sur le terrain par une fracturation plus intense et une bréchification de la roche.

Certaines failles sont associées à la formation du Graben du Saguenay. Deux failles se distinguent plus particulièrement soit la Faille du Lac Kénogami et la Faille de la Rivière Sainte-Marguerite correspondant respectivement aux murs sud et nord du graben. Ces deux structures d'orientation ESE peuvent se poursuivre sur plus d'une centaine de kilomètres. Elles sont localement recoupées par des failles sécantes de directions NE et NW.

L'analyse du relief du MNA, généré à partir des cartes au 1 : 20 000 du MRN, permet d'interpréter des linéaments topographiques²⁷. Bien sûr, l'aspect subjectif de l'interprétation linéamentaire doit être considéré et plusieurs traitements sur l'illumination, la coloration et le contraste ont été utilisés pour mettre l'accent sur des familles de linéaments principaux. Les linéaments présentés à la Figure 3-2 sont considérés dans cette étude comme des indicateurs de la déformation fragile tardi-grenvillienne. Ils peuvent, dans certains cas, représenter des failles ou simplement une zone de fracturation plus intense. Deux types de linéament sont distingués soit des linéaments ayant une expression topographique dans le roc cristallin et donc plus évidents, et des linéaments en partie masqués par les dépôts superficiels et de nature plus subjective. Le prolongement de linéaments provenant des terrains dominés par le roc et le tracé rectiligne de segments de cours d'eau ont servi à les délimiter. Ils sont tracés même là où ils sont partiellement masqués à cause notamment de la possibilité de leur connexion hydraulique avec les aquifères dans les dépôts granulaires.

Fracturation du seuil de Kénogami

Plus spécifiquement et dans le cadre d'un projet de maîtrise réalisé en partie pour le PACES-SLSJ, Pino (2012) présente les résultats d'un levé de joints effectué sur 265 stations distribuées sur le seuil de Kénogami (Figure 1-7), surtout au sud mais également au nord du Saguenay. La majeure partie du socle rocheux de ce territoire est constitué d'anorthosite (environ 90%), ce qui lui confère une certaine homogénéité du moins pour ce qui est de la lithologie. Environ 75% des stations visitées par Pino (2012) étaient constituées de faces rocheuses subverticales le long de routes. L'orientation préférentielle de ces faces se situe entre 80 et 130 degrés (Figure 3-3), soit l'orientation des principaux axes routiers sur ce territoire.

Le diagramme de contour de densité des pôles des joints (Figure 3-4 et Tableau 3—1) fait ressortir cinq familles principales (A à E), dont quatre sont subverticales et une est subhorizontale. Pino (2012) souligne que ces cinq familles sont bien distribuées sur le seuil de Kénogami; sur plusieurs des stations on observe jusqu'à trois de ces familles. Pino (2012) note également que deux des familles subverticales, soit NO-SE (A) et ONO-ESE (E), ressortent bien sur la Figure 3-4 malgré le biais en leur défaveur du à l'orientation de la face des affleurements, laquelle est majoritairement E-O (Figure 3-3). L'importance relative de ces deux familles sur la Figure 3-4 est donc possiblement sous-évaluée.

²⁷ L'interprétation des linéaments a été réalisée dans le cadre du PACES-SLSJ. Un linéament correspond à une dépression topographique allongée qui correspond soit à un élément structural, soit à l'effet de l'érosion différentielle suite au passage du glacier et communément une combinaison des deux.

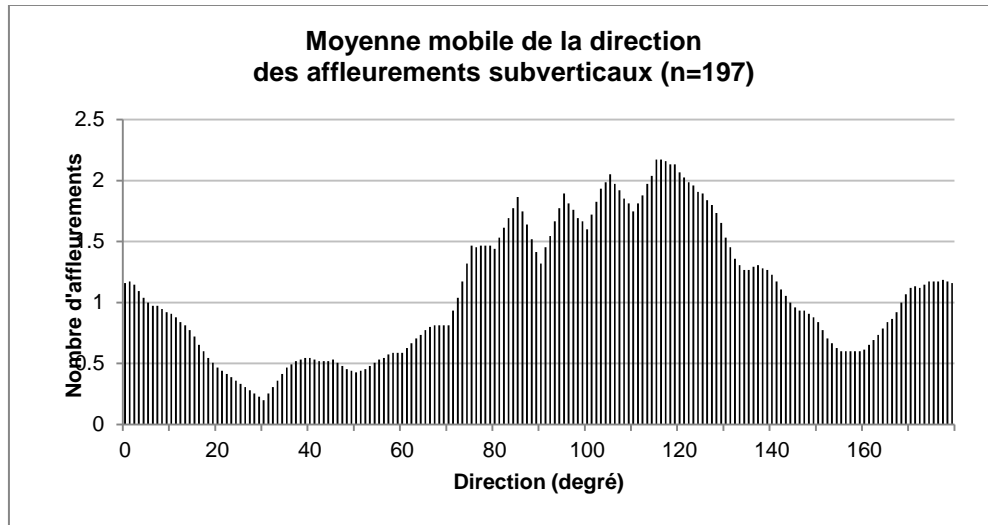


Figure 3-3 - Distribution de la direction des coupes rocheuses exposées. Moyenne mobile centrale (pas de 1°) du nombre d'affleurements dont l'orientation se situe dans une fourchette de 15°. Les directions des faces sont toutes transformées dans la gamme de 0 à 179°. Les fourchettes de direction dont la moyenne est plus petite que 8° ou plus élevée que 172° sont complétées par des données de l'extrémité opposée de l'échelle de direction. (adapté de Pino, 2012).

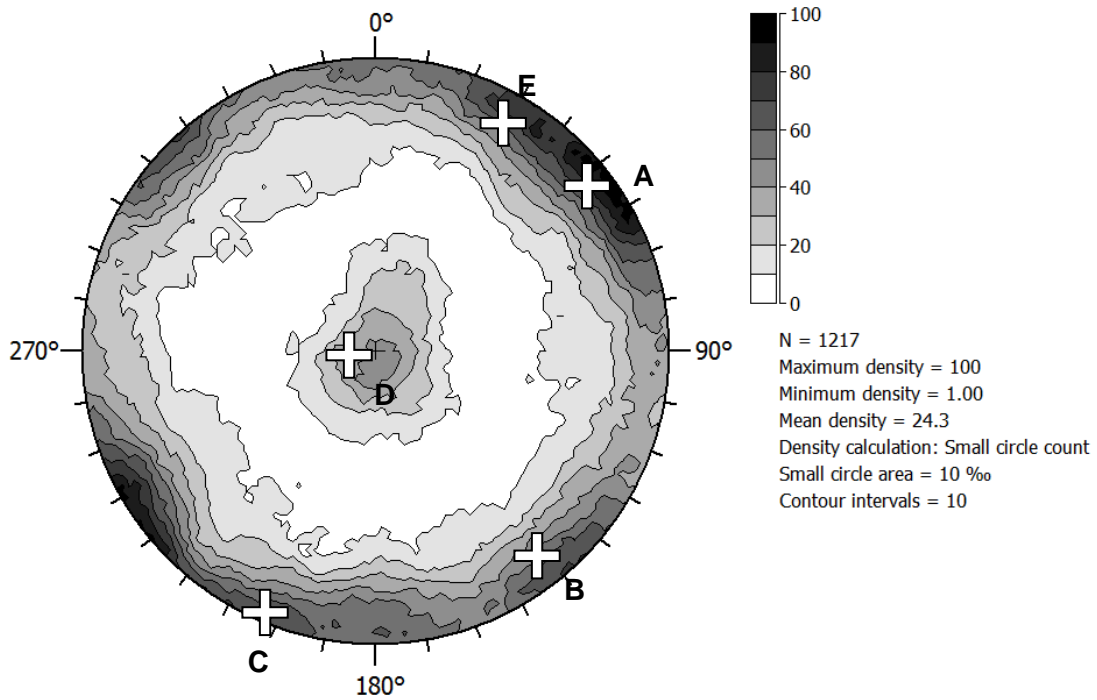


Figure 3-4: Projection stéréographique des contours de densité des pôles de joints mesurés sur le seuil de Kénogami durant le levé général; A à E sont les principales familles de joints; projection équi-aire, sur l'hémisphère inférieur (adapté de Pino, 2012).

Tableau 3—1: Principales familles de joints sur le seuil de Kénogami, basées sur la Figure 3-4 (tirée de Pino, 2012).

Famille de joints	Direction	Pendage	Orientation générale
A	144	88	NO-SE
B	229	89	NE-SE
C	288	86	E-O
D	251	03	Horizontal
E	126	83	ONO-ESE

L'ouverture d'une fracture, et donc sa transmissivité, diminue en général avec l'augmentation de la contrainte mécanique normale au plan de la fracture (voir par ex. Mortimer et al., 2011). En l'absence de donnée locale, la contrainte tectonique principale majeure en compression (σ_1) est présumée d'orientation approximative NE-SO, étant donné que cette orientation est observée à peu près partout dans l'Est du Canada (Arjang 1991; Hasegawa 1991; Zoback 1992; Assameur & Mareschal 1995). Pino (2012) souligne que cette orientation NE-SO de σ_1 est à peu près perpendiculaire aux joints des familles A et E. Les joints de ces familles auraient donc tendance à se refermer par l'action des contraintes mécaniques, alors que les joints de la famille B auraient tendance à demeurer ouverts. Toutefois, cette hypothèse n'a pas été vérifiée dans le cadre de cette étude.

3.1.2 Les milieux aquifères de type granulaire

Les milieux aquifères de type granulaire, lorsqu'ils sont présents, se superposent aux milieux aquifères de type fracturé. Ils ont été mis en place au Quaternaire et font partie des formations géologiques les plus jeunes. La cartographie systématique des dépôts de surface de la région du SLSJ par Lasalle et Tremblay (1978), présentée dans l'introduction de ce rapport, couvre l'équivalent de 8 feuillets au 1 : 50 000, ce qui n'inclut pas la totalité du territoire municipalisé du SLSJ. De plus, malgré la bonne qualité de la cartographie, les unités cartographiées manquent de définition et les secteurs au-dessus de l'altitude de 200 m ne présentent généralement qu'une unité, soit une moraine de fond et une moraine d'ablation sur les hautes terres, superposée au roc (1a+R). Cette cartographie néglige donc les accumulations fluvioglaciaires et glaciolacustres qui peuvent être étendues dans les nombreuses vallées qui entaillent le plateau bordant le Graben du Saguenay (R.A. Daigneault et al, 2011).

Devant l'état incomplet de la cartographie des dépôts quaternaires présents dans la région, une entente entre l'UQAC et le MRN a conduit à la réalisation de travaux de photo-interprétation et à des levés de terrain exécutés par le personnel de l'UQAM et de l'UQAC en 2009 et 2010, pour le bénéfice du PACES-SLSJ. Ces travaux visaient la cartographie des formations superficielles du territoire municipalisé du SLSJ, soit la région couverte par 19 feuillets topographiques²⁸ (SNRC). Grâce à ces travaux, la région du SLSJ dispose désormais d'une série de cartes détaillées, validées par des travaux de terrain, et présentées selon une légende uniforme et à jour d'après Parent et al. (2010). Cette nouvelle légende permet de distinguer les formations superficielles selon leur environnement de mise en place (glaciaire, fluvioglaciaire, glaciolacustre, glaciomarin, lacustre, alluviaux, éolien et organique). Les cartes sont accompagnées d'un rapport dans lequel

²⁸ 22D01, 22D02, 22D05, 22D06, 22D07, 22D08, 22D10 (partie ouest), 22D11, 22D12, 22D13, 22D14 (partie sud), 32A01, 32A08, 32A09, 32A10 (partie est), 32A15, 32A16, 32H01 et 32H02.

les dépôts quaternaires sont décrits en termes de texture, de structure, de couleur, de compacité, de composition lithologique, d'épaisseur et de répartition spatiale.

La Figure 3-5 présente la nouvelle légende des formations superficielles sous la forme d'une colonne stratigraphique annotée pour les fins du PACES-SLSJ. Cette figure correspond à une représentation schématique de l'enchaînement vertical des unités quaternaires retrouvées dans la région. Les couleurs utilisées sur cette figure correspondent à celles des unités cartographiques de la légende de Parent et al. (2010). Les commentaires sont basés sur des observations de terrain réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ. Ils portent sur la granulométrie, le tri, l'enchaînement, l'épaisseur et l'étendue (continuité latérale) des dépôts.

Les unités stratigraphiques sont brièvement présentées dans la suite du texte. Les informations et les photographies sont tirées du rapport de Daigneault et al. (2011) accompagnant les cartes, et sont étayées d'observations de terrain réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ. Les unités stratigraphiques sont présentées de la plus ancienne à la plus jeune.

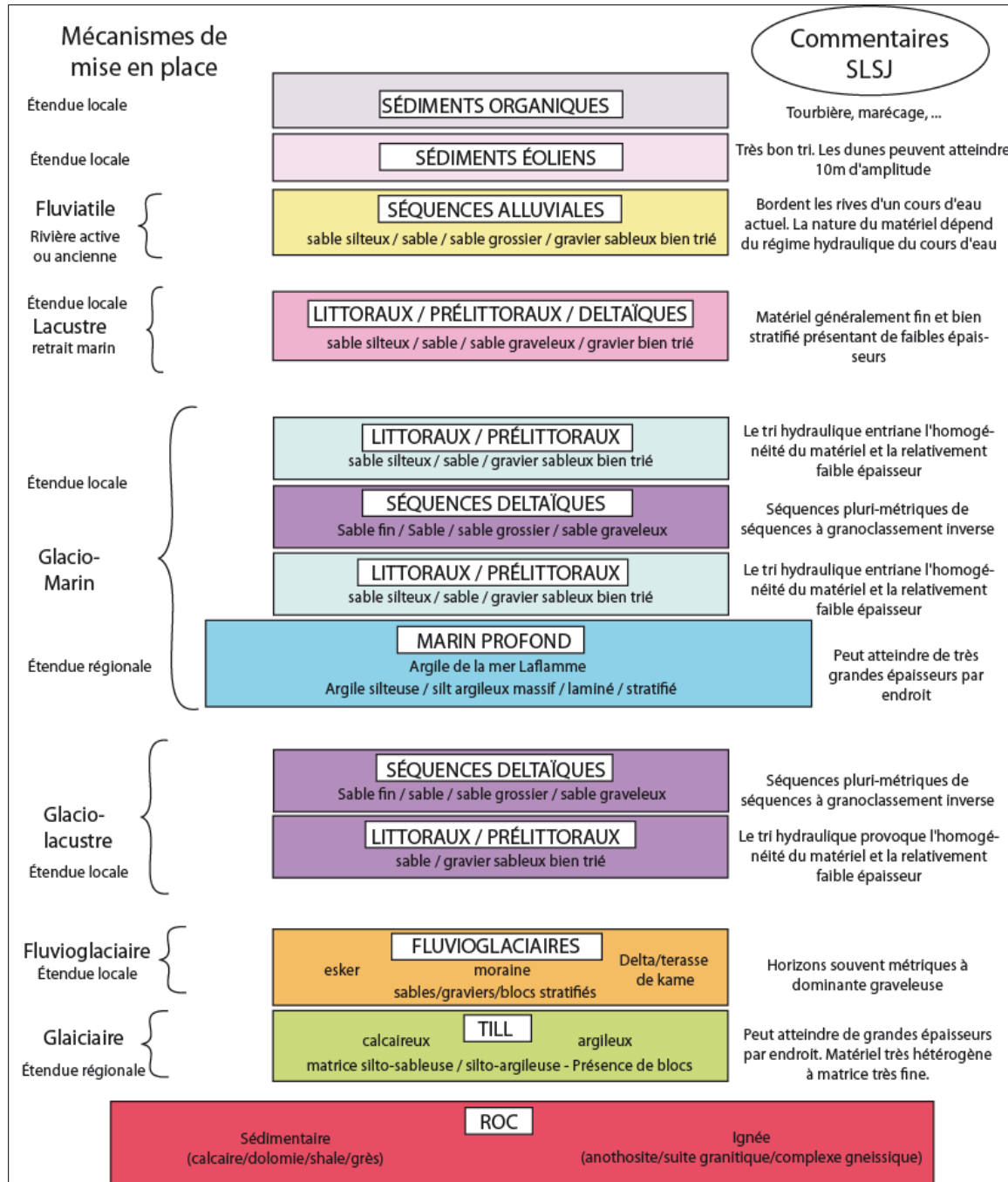


Figure 3-5: Colonne stratigraphique adaptée de la légende des formations superficielles (Parent et al., 2010) et annotée pour les fins du PACES-SLSJ.

Le till

Le till repose sur le roc, en couverture continue à l'intérieur des limites du graben (épaisseur supérieure à 2 m pouvant dépasser 10 m localement; Photo 3-1), ou en couverture mince sur les hautes terres (épaisseur comprise entre 30 cm et 1 m; Photo 3-2). Le till présente généralement une matrice argilo-silteuse compacte dans laquelle sont contenus des débris de socle rocheux précambrien et paléozoïque de grosseurs variables (centimétrique à métrique).



Photo 3-1 : Till massif sous une couche d'argile glaciomarine observé le long de la rivière aux Vases.



Photo 3-2 : Till d'ablation observé sur les hautes terres à Saint-Eugène.

Les sédiments fluvioglaciaires

Les sédiments fluvioglaciaires sont constitués de sables, graviers et blocs stratifiés. Ils présentent généralement une porosité et une perméabilité élevées, ce qui est en fait de bons milieux aquifères. Ils prennent principalement la forme de zones d'épandage, d'esker, de terrasses de kame, de delta-kames et de moraines. Leur épaisseur varie de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Des dépôts fluvioglaciaires sont retrouvés un peu partout sur le territoire. Quelques exemples sont donnés dans la suite du texte (adapté de R.A. Daigneault et al, 2011).

Les plaines d'épandage fluvioglaciaire

La plus grande plaine d'épandage fluvioglaciaire identifiée lors des travaux de cartographie s'étend sur près de 30 km à l'intérieur de la vallée ONO-ESE qui suit la faille délimitant le nord du Graben du Saguenay. D'autres sédiments de ce type ont été observés principalement au NO du lac Saint-Jean, dans la région des municipalités d'Albanel et de Normandin (Photo 3-3).



Photo 3-3 : Sables, graviers et cailloux mis en place dans une plaine d'épandage subaérien à Saint-David-de-Falardeau.

Les eskers

Des eskers orientés nord-sud occupent l'intérieur de nombreuses vallées des hautes terres bordant le Graben du Saguenay (Figure 3-6). Dans la partie est du graben, les eskers suivent l'axe de la vallée (ONO-ESE), alors que dans la partie ouest, ils montrent une orientation NNO-SSE. Au nord d'Albanel, leur présence est suspectée sous les sédiments fins d'origine marine.

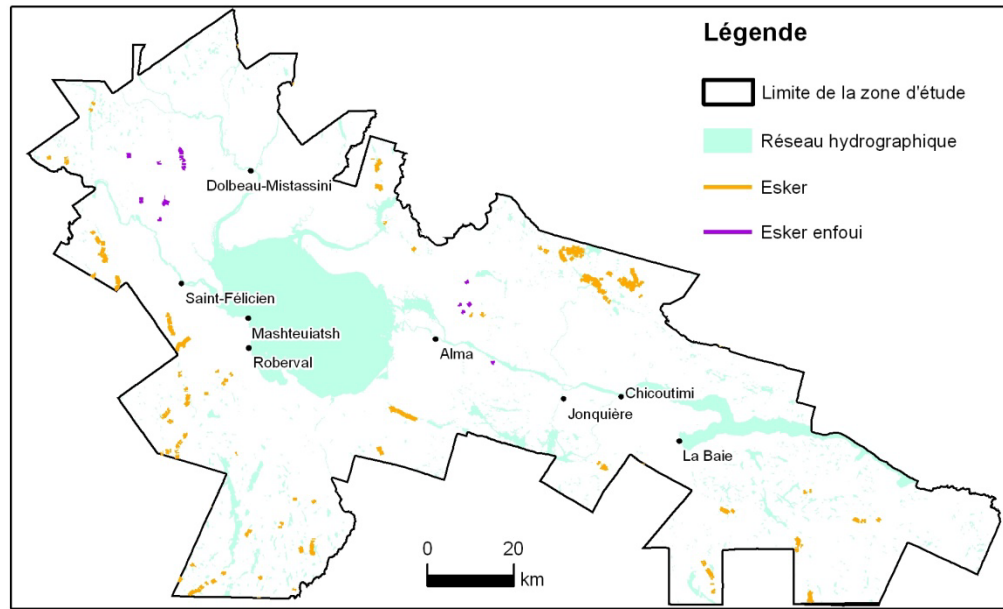


Figure 3-6 – Localisation des eskers cartographiés par R.A. Daigneault et al. (2011).

Les terrasses de kame et les delta-kame

La présence de kettles est une bonne indication de la présence des terrasses de kame. Un kettle se présente sous la forme d'une dépression circulaire plus ou moins profonde à la surface des terrains. Un bon exemple est donné dans la plaine d'Hébertville où près de 300 kettles ont été recensés (Roy, 1996), une concentration unique au Québec. Aussi, une vaste terrasse de kame a été cartographiée sur la marge sud-ouest du Graben du Saguenay, dans la portion ouest et au sud-ouest du lac Saint-Jean (Photo 3-4). Cette accumulation est identifiée sur près de 40 km entre le territoire municipal de Saint-Thomas-Didyme et celui de Saint-Félicien. Par endroit, sa largeur atteint près de 3 km.

Les principaux delta-kame sont localisés sur le territoire de la municipalité de Métabetchouan. Dans ce secteur, le long de la route régionale 169, à proximité du camp musical, les dépôts atteignent 52 m d'épaisseur.



Photo 3-4 : Graviers et blocs sub-anguleux d'une terrasse de Kame à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix.

Les moraines

De rares moraines sont localisées au sud de la municipalité de Chambord. Des moraines mineures sont aussi présentes entre la municipalité de Saint-François-de-Sales et de Saint-André-du-lac-Saint-Jean. Ces dernières montrent une épaisseur variant entre 1 et 3 m, et sont principalement constituées de till avec des quantités variables de matériel trié (Tremblay, 1968; Lasalle et Tremblay, 1978).

Les sédiments glaciolacustres

Les sédiments glaciolacustres se localisent essentiellement sur les hautes terres. Ils présentent des successions latérales de faciès sédimentaires qui attestent d'une sédimentation contrôlée par la topographie. Ils sont associés au système sédimentaire des lacs d'obturation²⁹ proglaciaires. Les sédiments les plus fins (rythmites argilo-silteuse d'épaisseur métrique) sont observés dans les dépressions topographiques, où jadis s'étendaient les eaux les plus profondes du lac. Les rives de ce dernier étaient constituées de sables et graviers stratifiés, bien triés présentant une épaisseur maximale de 1,5 m. Les rivières d'alimentation et de vidange du lac (au moment où le barrage de glace a cédé) ont laissé des sables moyens à grossiers, localement tronqués par des graviers suggérant des marques d'érosion fluviale. Leur épaisseur peut être

²⁹ Le drainage naturel, des hautes terres vers les basses terres, est obturé par la glace occupant le graben, les hautes terres ayant été libérées des glaces avant la vallée (Lasalle et Tremblay, 1978; Daigneault et al, 2011).

importante (pluri-métrique à décamétrique) et leurs caractéristiques hydrogéologiques se rapprochent de celles des sédiments fluvioglaciaires (Photo 3-5).



Photo 3-5 : Sédiments glaciolacustres deltaïques recouverts par des sédiments alluviaux anciens à Chambord.

Les sédiments glaciomarins

Les faciès sédimentaires glaciomarins ressemblent à ceux des sédiments glaciolacustres. Cependant, l'étendue des dépôts glaciomarins est d'ampleur régionale. En effet, la mer postglaciaire (la mer de Laflamme), à l'origine de leur mise en place, est entrée par le graben du Saguenay et s'est propagée jusqu'à profondément dans les basses terres du lac Saint-Jean. L'étendue de la mer peut donc être reconstituée d'après la présence de sédiments marins d'eau profonde. Une autre indication de l'extension régionale de la mer est donnée par les édifices deltaïques dont les accumulations sont parfois très importantes. Ces derniers ont été mis en place par les grandes rivières qui drainaient les eaux de fonte du glacier et les eaux de drainage naturel du bassin versant du lac Saint-Jean et du Saguenay. Les sédiments glaciomarins sont présentés en deux sous-sections : l'argile de la mer Laflamme, et les sables et graviers de la mer Laflamme.

L'argile de la mer Laflamme

L'argile de la mer Laflamme a été mise en place en eau profonde (Photo 3-6), durant l'épisode d'invasion marine qui a succédé au retrait du glacier. Ces sédiments sont localement fossilifères. Leur matrice peut contenir des carbonates et occasionnellement des blocs de délestage. L'argile marine de la région présente un faciès massif et/ou un faciès finement interstratifié de sable fin et d'argile (horizons centimétriques). Ces sédiments sont relativement abondants dans les basses terres de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et couvrent une grande partie des zones habitées de la région. Le forage SLSJ0549, de la base de données numérique du PACES-SLSJ,

indique une épaisseur d'argile³⁰ de 116 m dans le secteur du lac Vert de la municipalité d'Hébertville. De plus, de nouvelles mesures d'altitude atteinte par la mer de Laflamme sont proposées par R.A. Daigneault et al. (2011) : l'altitude mesurée au SE de la région est de 168,5 m (territoire de la Ville de Saguenay, secteur de Laterrière) et de 212 m au nord du lac Saint-Jean (au SE de la municipalité de Girardville).

Comme le montre la Figure 3-5, les sédiments fins de la mer Laflamme ont une position relativement centrale dans la séquence des événements sédimentaires quaternaires de la région. Considérant leur étendue régionale, ils constituent un horizon marqueur temporel important. Aussi, du point de vue hydrogéologique, comme ils présentent généralement une perméabilité très faible, ils constituent une barrière hydraulique importante pour l'infiltration de l'eau lorsque ces dépôts affleurent, ou pour le déplacement de l'eau souterraine lorsque ces sédiments fins sont présents au sein d'une formation aquifère. Ainsi, il convient d'employer le terme « aquitard » pour désigner ces sédiments, en opposition au terme « aquifère » attribué aux matériaux perméables.



Photo 3-6 : Sédiments glaciomarins d'eau profonde à Normandin

³⁰ Tremblay (1971) avait identifié une épaisseur maximale de 96,6m par forage (voir l'introduction de ce rapport)

Les sables et graviers de la mer de Laflamme

Ces sédiments ont deux origines : les matériaux granulaires triés et déposés par l'action des vagues sur les rives de la mer de Laflamme (sables et graviers de plage, généralement fossilifères), et les sédiments transportés et déposés par les eaux de fonte et de drainage naturel des bassins versants du lac Saint-Jean et du Saguenay (sables et graviers d'origine deltaïque).

Les sédiments marins littoraux et sublittoraux (sables et graviers de plage) reposent en discordance (contact érosif) sur les sédiments marins d'eau profonde. L'épaisseur maximale qui a été observée lors des travaux de cartographie est de 2,0 m. Les sédiments deltaïques présentent des épaisseurs souvent décamétriques (22 m ont été mesurés à l'embouchure de la rivière Mistassini) et leurs assemblages lithostratigraphiques sont généralement constitués d'une succession de faciès à stratification obliques planes montrant un granoclassement inverse passant graduellement des sables silteux aux graviers (indice de la progradation³¹ des deltas). Comme les sédiments glaciolacustres, les sédiments deltaïques sont localement disséqués par des chenaux remplis de matériel grossier bien trié (généralement des graviers) suggérant leur érosion fluviale lors de crues éventuelles. Ces sédiments sont surtout présents dans la partie ouest et NO de la région, associés aux imposantes rivières Mistassini, Ashuapmushuan et Péribonka, ainsi qu'au nord de la ville de Saguenay, le long de la rivière Shipshaw.

Les sédiments lacustres

Les lithofaciès des sédiments lacustres s'apparentent à ceux des sédiments glaciolacustres et glaciomarins. Ils sont généralement distingués d'après l'histoire géologique des événements quaternaires d'une région. Au SLSJ, Daigneault et al. (2011) proposent qu'un paléolac Saint-Jean soit né entre 8 630 ans BP (âge du plus jeune fossile marin) et 7 350 ans BP (plus jeune tourbière datée et postérieure au dernier fossile marin), soit à environ 8 000 ans BP ($\pm \sim 640$ ans), lorsque la remontée isostatique postglaciaire du seuil rocheux d'Alma³² l'a isolé du reste de la mer de Laflamme plus à l'est. Toutefois, la limite altitudinale de la transition entre la phase marine et cette phase lacustre n'étant pas clairement définie, il devient difficile de bien distinguer les sédiments mis en place par l'une ou l'autre de ces deux phases. Pour les fins de la cartographie, Daigneault et al. (2011) ont considéré tous les sédiments littoraux et pré-littoraux, de même que tous les sédiments deltaïques et prodeltaïques identifiés sous l'isohypse de 130 m, d'origine glaciomarine. Au-dessus de cette limite, ces sédiments sont généralement considérés d'origine glaciolacustre.

Les sédiments alluviaux

Les dépôts alluviaux sont composés de silts, de sables, de graviers, et contiennent parfois de la matière organique. Ils sont mis en place par les cours d'eau actuels ou anciens qu'ils longent sur plusieurs kilomètres. Lors des travaux de cartographie, l'épaisseur maximale observée a été de 3,5 m.

³¹ Au moment du retrait de la mer de Laflamme sous l'effet de la remontée isostatique, l'abaissement du niveau marin entraîne un déplacement vers l'aval des faciès deltaïques.

³² Le seuil topographique d'Alma a été présenté dans l'introduction de ce rapport.

Les sédiments éoliens

Les sédiments éoliens sont constitués de sables fins à moyens bien triés et stratifiés. Ils prennent la forme de dunes paraboliques (Photo 3-7). Ils sont observés au nord du lac Saint-Jean sur le sommet des sédiments deltaïques. Dans le secteur de Saint-Eugène, la hauteur des dunes atteint 10 m. Les mesures de paléocourants suggèrent leur mise en place par des vents dominants provenant de l'ONO.



Photo 3-7 : Champ de dunes paraboliques (3 km au NO de Saint-Eugène).

Les sédiments organiques

Peu d'informations existent sur la nature et l'épaisseur de sédiments organiques présents dans la région. Ils dominent aux endroits où sont localisées les vastes étendues de sédiments deltaïques glaciomarins, au nord et au nord-ouest de la région. Leur épaisseur peut atteindre 9 m par endroit (Lasalle et Tremblay, 1978). Ils sont principalement installés dans les dépressions topographiques dont le plancher est constitué de roc, d'argile ou de sable. Le développement de matières organiques suggère un sol mal drainé ou un affleurement persistant de la nappe d'eau souterraine. Sur les dépôts sableux, le mauvais drainage peut être dû à la présence d'une couche imperméabilisante, de profondeur et d'épaisseur variable, sous-jacente au dépôt organique. Plusieurs dépôts sont actuellement exploités à des fins économiques ce qui est à l'origine de conflits d'usage important sur le territoire, notamment en ce qui concerne l'alimentation en eau souterraine. Des études plus approfondies permettraient de mieux comprendre la dynamique des liens entre les dépôts organiques et les eaux souterraines.

En résumé

Au SLSJ, seulement deux événements sont considérés d'étendue régionale : la mise en place de till, laissé sur place par le glacier, et le dépôt de sédiments fins d'eau profonde de la mer de Laflamme. Certaines séquences couvrent de larges portions de territoire, c'est le cas notamment des séquences deltaïques d'origine glaciomarine des paléorivières Ashuapmuchuane, Mistassini, Péribonka, et dans une moindre mesure, de la rivière Shipshaw. Les autres sédiments (fluvioglaciaires et glaciolacustres) couvrent généralement de plus petites portions du territoire (étendue locale). La nature de ces dépôts superficiels

quaternaires atteste des évènements à l'origine de leur mise en place. Le cadre stratigraphique régional est alors déterminé en considérant la chronologie de ces évènements.

3.2 Données stratigraphiques

Le cadre stratigraphique régional découle de l'assemblage (changements horizontaux et verticaux) des unités quaternaires présentées à la section précédente. D'une part, il est donné par l'interprétation des cartes des dépôts superficiels, et d'autre part, par les données obtenues par diverses méthodes d'investigation de la stratigraphie (forages, levés géophysiques, etc.). À l'aide des nouvelles cartes de dépôts de surface (section précédente), et considérant les informations locales recueillies lors des travaux de terrain (chapitre 2), les données stratigraphiques disponibles (chapitre 1) sont simplifiées et étendues à l'échelle régionale à l'aide de coupes stratigraphiques.

3.2.1 Les informations collectées sur le terrain

Les travaux d'investigation réalisés dans le cadre du projet PACES-SLSJ ont permis de caractériser la stratigraphie, l'épaisseur des dépôts et la profondeur du roc. Afin de conforter l'ensemble des observations effectuées dans un secteur, certains sites ont été investigués par plus d'une méthode. Les travaux de terrain avaient pour objectifs de pallier les principales lacunes des données existantes, à savoir la validité et la fiabilité de certaines informations corrélées entre elles (description de forages, données hydrogéochimiques, données piézométriques, etc.) et l'absence d'information dans certains secteurs (faible densité de forages ou d'autres informations). Pour ce faire, suite à l'exploitation des informations contenues dans la base de données à références spatiales, certains sites ont été sélectionnés en fonction du type d'information qu'ils étaient susceptibles de fournir et leur facilité d'accès. Une entente a été prise avec le propriétaire ou le gestionnaire de chaque site pour permettre la réalisation des travaux. La suite du texte présente les résultats obtenus à partir des travaux de terrain pour chaque site sélectionné, que sont :

- Saint-Méthode (site S35);
- Vauvert (site S104);
- Saint-Eugène-d'Argentenay (site 103);
- Saint-Ludger-de-Milot (site S16);
- Labrecque (S24);
- Saint-David-de-Falardeau (S18);
- Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site S6).

Secteur Saint-Méthode (Site S35)

Le site S35 est localisé à l'extrémité sud de l'aéroport de Saint-Méthode dans la municipalité de Saint-Félicien, sur une TPI de la MRC du Domaine-du-Roy actuellement utilisée pour la culture du bleuets. Le résumé des travaux de terrain est présenté au Tableau 3—2. La localisation des points de levé est présentée à la Figure 3-7. La suite du texte décrit en détail chacun des levés.

Tableau 3—2 : Travaux d'investigation réalisés dans le secteur Saint-Méthode – Station S35

Type de levés	Méthode	Nom du levé	Identifiant dans la base de données numériques PACES-SLSJ
Forage	Destructif	PZ-S35D	SLSJ40060
		PZ-S35R	SLSJ40061
Sondage	Piézocône	35-CPT-1	SLSJ40069
Levé géophysique	TDEM	NTS35L1	SLSJ50013 et SLSJ50014
	Sismique réfraction	SRS35L1	SLSJ50024 et SLSJ50025

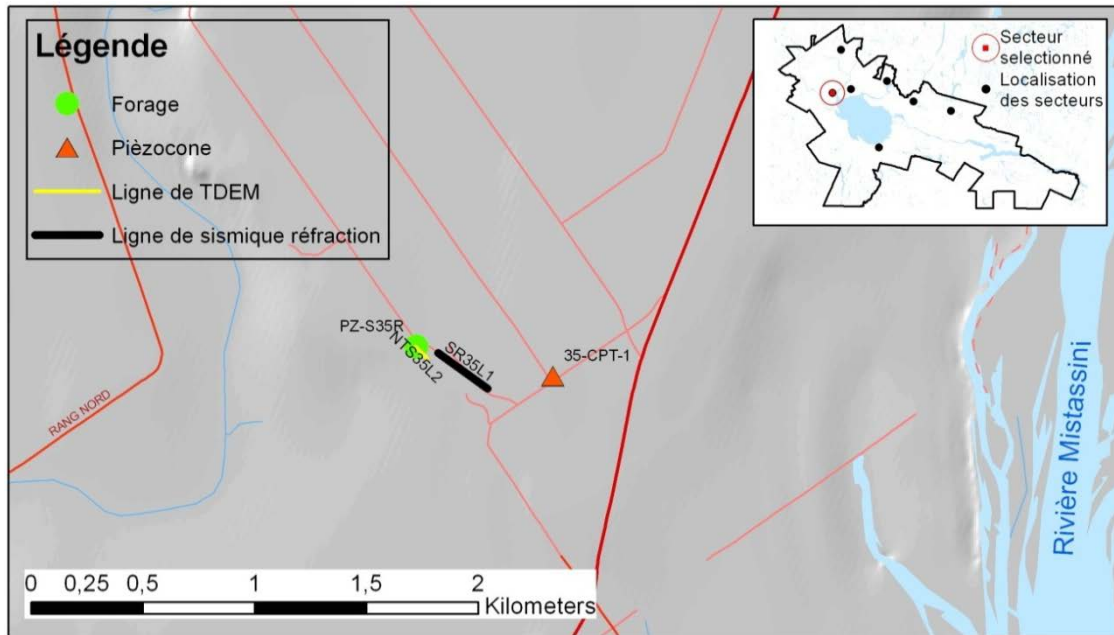


Figure 3-7 : Localisation des travaux d'investigation dans le secteur de Saint-Méthode – Site S35.

Travaux de forage

Deux forages ont été réalisés au site S35, dont un qui pénètre de 30 m dans le roc (forage PZ-S35R). Le site est maintenant équipé d'un nid de piézomètres installé dans les dépôts de surface et d'un piézomètre installé dans le roc (annexe numérique AN3). Le forage PZ-S35R montre que l'épaisseur des dépôts atteint 70 m et que le roc est généralement granitique. La stratigraphie identifiée en forage correspond, du sommet à la base, aux éléments suivants :

- 0 – 19,8 m : sable fin à grossier;
- 19,8 – 22,9 m : sable fin silteux et argileux;
- 22,9 – 54,9 m : argile silteuse;
- 54,9 – 61,0 m : sable fin à grossier;
- 61,0 – 70,0 m : sable et gravier;
- 70,0 m et plus profond : roc cristallin de nature granitique et anorthositique.

Sondage au piézocône

Le sondage au piézocône réalisé par l'INRS-ETE abouti à 50 m de profondeur sans atteindre le roc. L'analyse de ce levé a été faite à partir de la méthode de classification de Fellenius et Eslami (2000). La stratigraphie interprétée correspond, du sommet à la base, aux éléments suivants :

- 0 – 21 m : sable moyen avec quelques couches de quelques dizaines de cm d'épaisseur de sable grossier et de sable silteux;
- 21– 30 m : sable moyen à grossier;
- 30 – 33 m : sable fin à grossier;
- 33 – 37 m : sable silteux et argile silteuse;
- 37 – 50 m : silt sableux avec quelques couches de sable fin et de sable moyen.

Levé TDEM

L'interprétation d'une pseudo-section obtenue à partir de levés au TDEM réalisés le long d'une ligne incluant le point de forage confirme l'extension latérale et le pendage sub-horizontal des couches stratigraphiques sur une distance d'environ 75 m en direction nord-ouest /sud-est. La couche supérieure de sable est observée entre 0 et 20 m, la couche d'argile est identifiée à une profondeur d'environ 35 m, et la couche de sable et gravier sous l'argile fait environ 15 m d'épaisseur (Figure 3-8). Sur ce levé, l'unité de sable et gravier présente une résistivité très faible en comparaison aux valeurs généralement admises (Palacky, 1987). Cette observation s'explique par la présence d'une eau saumâtre identifiée lors de la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique dont les résultats sont présentés au chapitre 5.

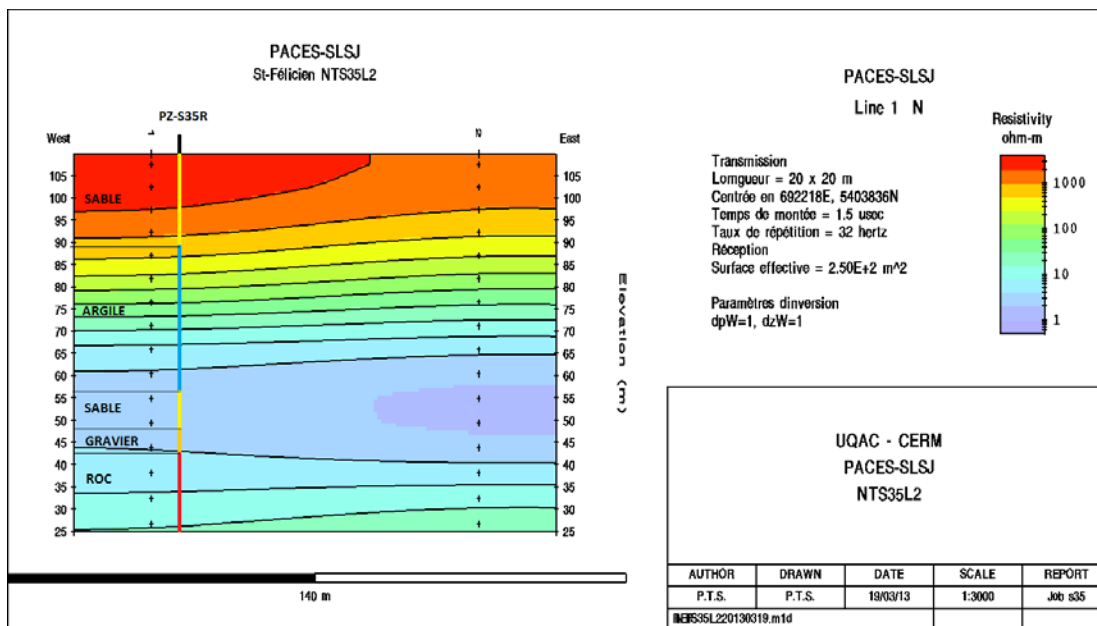


Figure 3-8: Pseudo-section de la résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisés au site S35 (secteur Saint-Méthode).

Levé de sismique réfraction

Le levé de sismique réfraction (annexe numérique AN1), situé à une dizaine de mètres du point de forage, suggère que le socle rocheux présente une topographie relativement plane qui varie entre 60 et 70 m de profondeur sur une distance d'environ 300 m en direction nord-ouest/sud-est. À l'extrémité sud-est de la ligne de levé, la topographie du roc passe brutalement de 65 m à 100 m de profondeur, suggérant la présence d'une faille ou d'une autre structure géologique importante pouvant affecter la topographie du roc.

Interprétation de la stratigraphie locale

Les points qui suivent ressortent de l'analyse des cartes géologiques et des travaux de terrain.

- La couche de sable en surface, d'origine glaciomarine deltaïque, possède une bonne extension latérale et une épaisseur de l'ordre de 20 m.
- Des sédiments fins sont composés de silts et d'argile dont les proportions varient graduellement en fonction de la profondeur. Ils se présentent sur des épaisseurs importantes (de l'ordre de 30 m), avec une bonne extension latérale. Leur origine glaciomarine est suggérée.
- Des matériaux granulaires grossiers (sable fin à moyen et gravier) se trouvent sous les sédiments fins. Leur épaisseur est d'environ 15 m. Leur présence sous l'argile, et l'absence de matrice silto-argileuse suggère leur origine fluvioglaciale.
- L'ensemble des couches présentent des contacts subhorizontaux et des épaisseurs relativement constantes.
- Le socle rocheux est d'origine cristalline et peut-être affecté localement par des structures importantes (failles, fractures).

Secteur Vauvert (Site S104)

Le site de Vauvert est localisé dans la municipalité de Dolbeau-Mistassini au nord du Lac Saint-Jean, sur une pointe de terre bordée au sud par le Lac Saint-Jean et au nord par la rivière Mistassini. Le secteur est situé dans une TPI actuellement exploitée pour la tourbe. Le résumé des travaux de terrain est présenté au Tableau 3—3. La localisation des points de levé est présentée à la Figure 3-9. La suite du texte décrit en détail chacun des levés.

Tableau 3—3 : Travaux d'investigation réalisés dans le secteur Vauvert – Station S104

Type de levés	Méthode	Nom du levé	Identifiant dans la base de données numériques PACES-SLSJ
Forage	Destructif	PZ-S104D	SLSJ40078
		PZ-S104R	SLSJ40059
Sondage	Piézocône	104-CPT-1	SLSJ40063
		104-CPT-2	SLSJ40064
		104-CPT-3	SLSJ40065
		104-CPT-4	SLSJ40066
Levé géophysique	Sismique réfraction	SRS104L1	SLSJ50173 et SLSJ50174

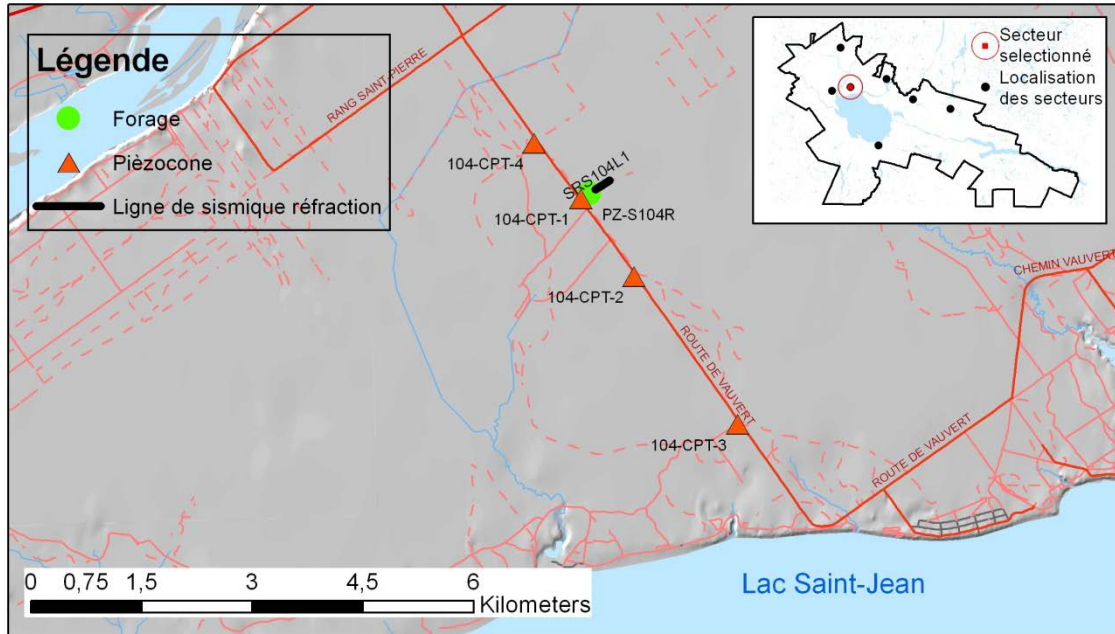


Figure 3-9 : Localisation des travaux d'investigation dans le secteur de Vauvert – Site S104.

Travaux de forage

Deux forages ont été exécutés au site S104, dont un qui traverse la colonne de sédiment, une formation rocheuse sédimentaire, et 30m de roc cristallin (forage PZ-S104R). Le site est maintenant équipé d'un nid de piézomètres installé dans les dépôts de surface et d'un piézomètre installé dans le roc (annexe numérique AN3). Le forage PZ-S104R montre que l'épaisseur des dépôts atteint 58 m à l'endroit du forage et qu'une unité de roche sédimentaire composée de shale et de calcaire est présente sur une épaisseur totale de 68 m. La stratigraphie identifiée en forage correspond, du sommet à la base, aux éléments suivants :

- 0 – 18,3 m : sable fin à moyen avec traces de silt, de sable grossier et de gravier;
- 18,3 – 42,7 m : argile et silt;
- 42,7 – 57,4 m : sédiment silto-argileux;
- 57,4 – 77,4 m : shale schisteux argileux;
- 77,4 – 125 m : shale et calcaire;
- 125 – 140,2 m : roc cristallin de nature granitique.

Sondage au piézocône

L'analyse de Beaulieu (2012) effectuée à partir des données de sondages au piézocône montre que les dépôts meubles constitués de sable fin à moyen et d'argile présentent une bonne extension latérale. Cette extension est suivie sur environ 5km suivant une ligne de levés de direction nord-ouest/sud-est. Au nord-ouest de cette ligne l'épaisseur de la couche de sable fin à moyen est d'environ 10 m et elle s'épaissit vers le sud-est jusqu'à atteindre 24 m. La couche d'argile et silt interprétée par Beaulieu (2012) présente une épaisseur variable de 30 à 20 m du nord-ouest au sud-est.

Levé de sismique réfraction

Le levé de sismique réfraction (annexe numérique AN1) est orienté sud-ouest /nord-est et s'étend sur une distance de 250 m. Son interprétation montre que l'épaisseur des dépôts meubles varie de 58 m au sud-est à 76 m au nord-est. De plus, ce levé suggère une topographie généralement plane pour le roc et la présence d'une structure géologique abaissant brutalement le toit du roc d'environ 20 m.

Interprétation de la stratigraphie locale

Les points qui suivent ressortent de l'analyse des cartes géologiques et des travaux de terrain.

- La couche de sable en surface, d'origine glaciomarine deltaïque, possède une bonne extension latérale et une épaisseur de l'ordre de 20 m.
- Des sédiments fins sont composés d'argile massive et d'horizons de silts argileux. Ils se présentent sur des épaisseurs importantes (de l'ordre de 25m), avec une bonne extension latérale; leur origine glaciomarine est suggérée.
- Une unité composée de cailloux, sable et gravier dans une matrice argileuse est superposée au roc; son épaisseur est d'environ 15 m; la présence de cette unité sous l'argile et ses caractéristiques suggèrent son origine glaciaire (till).
- L'ensemble des couches présentent des contacts subhorizontaux et des épaisseurs relativement constantes.
- Le socle rocheux est composé de roches calcaires ordoviciennes³³ superposées au roc cristallin. Le calcaire semble localement affecté par des structures géologiques importantes (failles, fractures).

Secteur Saint-Eugène-d'Argentenay (Site S103)

Le site S103 est situé à proximité de la rivière aux Rats dans la municipalité de Saint-Eugène-d'Argentenay localisée au nord de la municipalité de Dolbeau-Mistassini. Le secteur est situé dans une TPI exploitée comme sablière/gravière. Les travaux de terrain sont résumés au Tableau 3—4. La localisation du point de levé est présentée à la Figure 3-10. La suite du texte décrit en détail ce levé.

Tableau 3—4 : Travaux d'investigation réalisés dans la municipalité de Saint-Eugène-d'Argentenay – Station S103

Type de levés	Méthode	Nom du levé	Identifiant dans la base de données numériques PACES-SLSJ
Forage	Percussion	PZ-S103D	SLSJ40057

³³ Cette observation modifie considérablement les cartes géologiques régionales (section 3.2.1)

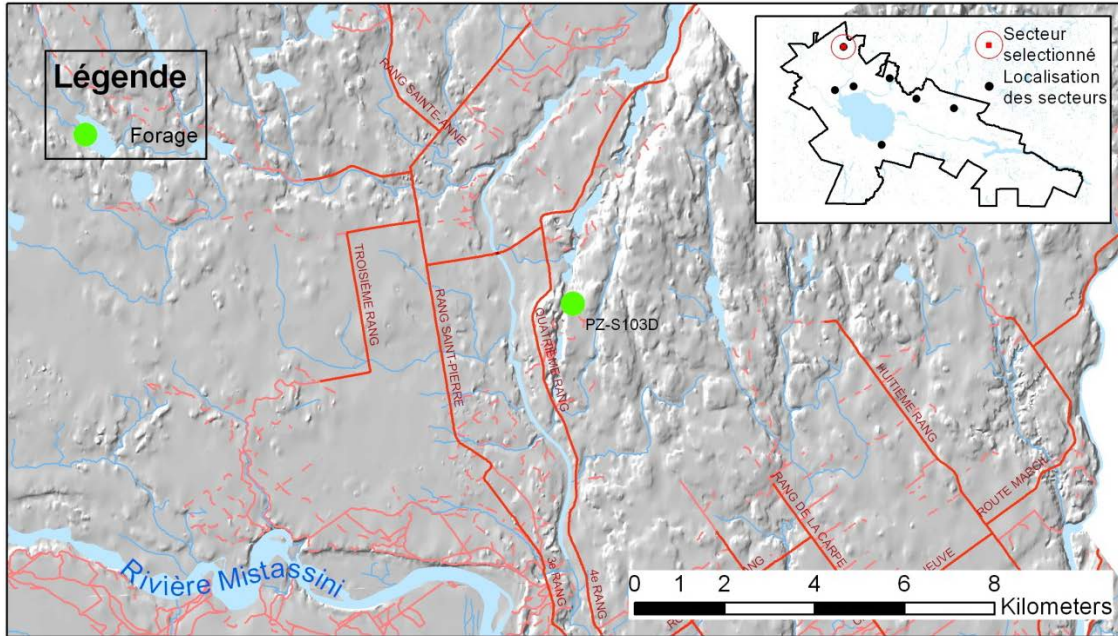


Figure 3-10 : Localisation des travaux d'investigation dans le secteur de Saint-Eugène-d'Argentenay – Site S103.

Travaux de forage

Comme le montre le Tableau 3—4, seul un forage a été réalisé dans le secteur de Saint-Eugène-d'Argentenay. Le site est maintenant équipé d'un piézomètre installé dans les dépôts, à l'interface entre le roc et le granulaire (annexe numérique AN3). Le forage PZ-S103D atteint le roc cristallin, sans le pénétrer³⁴, à une profondeur de 69 m. La stratigraphie identifiée en forage correspond, du sommet à la base, aux éléments suivants :

- 0 – 13,7 m : alternance de sable fin à moyen et de sable grossier et gravier;
- 13,7 – 16,8 m : sable fin;
- 16,8 – 48,8 m : sable fin à moyen;
- 48,8 – 59,4 m : sable fin à grossier;
- 59,4 – 68,6 m : sable fin à grossier, traces à près de 50% de gravier;
- 68,6 m et plus profond : roc cristallin constitué de gneiss, anorthosite et gneiss granitique.

Interprétation de la stratigraphie locale

Les points qui suivent ressortent de l'analyse des cartes géologiques et des travaux de terrain.

- La couche de sable fin à grossier en surface, d'origine fluvioglacière, montre une granulométrie croissante avec la profondeur; son épaisseur est de 70 m;
- Le roc sous-jacent est d'origine cristalline et de nature gneissique.

³⁴ Le forage n'a pas pu pénétrer le roc étant donné des pressions hydrostatiques trop importantes.

Secteur de Saint-Ludger-de-Milot (Site S16)

Le site S16 se situe à environ 2 km au nord-ouest de la rivière Péribonka dans la municipalité de Saint-Ludger-de-Milot. Le secteur est situé dans une TPI occupée par une bleuetière. Les travaux de terrain sont résumés au Tableau 3—5. La localisation des points de levé est présentée à la Figure 3-11. La suite du texte décrit en détail chacun des levés.

Tableau 3—5 : Travaux d’investigation réalisés dans la municipalité de Saint-Ludger-de-Milot – Station S16.

Type de levés	Méthode	Nom du levé	Identifiant dans la base de données numériques PACES-SLSJ
Forage	Percussion	PZ-S16D	SLSJ40062
Levé géophysique	Sismique réfraction	SRS16L1	SLSJ50124 et SLSJ50125

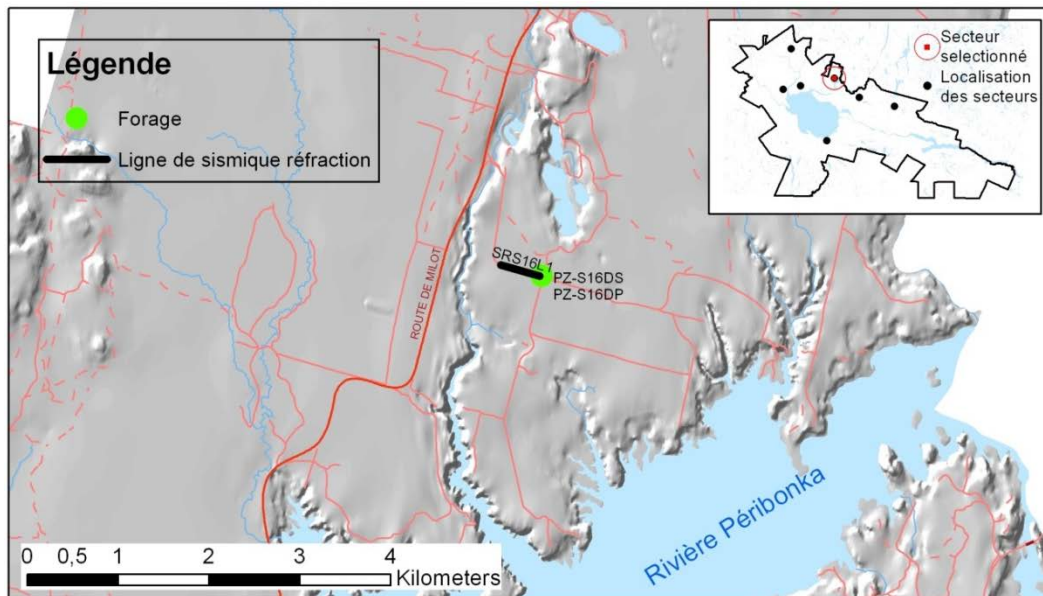


Figure 3-11 : Localisation des travaux d’investigation dans le secteur de Saint-Ludger-de-Milot – Site S16.

Travaux de forage

Un seul forage a été réalisé dans le secteur de Saint-Ludger-de-Milot. Il atteint le roc sans le pénétrer. Le site est maintenant équipé d’un nid de piézomètres installé dans les dépôts de surface (annexe numérique AN3). Le forage PZ-S16D a permis d’identifier une épaisseur de 77 m de dépôts meubles avant d’atteindre le roc cristallin. La stratigraphie identifiée en forage correspond, du sommet à la base, aux éléments suivants :

- 0 – 4,6 m : sable fin à moyen, un peu à traces de sable grossier;
- 4,6 – 9,1 m : sable fin;
- 9,1 – 13,7 m : sable fin silteux gris;
- 13,7 – 15,2 m : silt argileux;
- 15,2 – 28,7 m : sable fin gris;
- 28,7 – 54,9 m : argile silteuse et argile;
- 54,9 – 67,1 m : sable fin gris;

- 67,1 – 76,2 m : sable fin à moyen gris;
- 76,2 – 77,1 m : gravier et sable fin à grossier;
- 77,1 m et plus profond : gneiss granitique.

Levé de sismique réfraction

Le levé de sismique réfraction (annexe numérique AN1) est orienté nord-ouest/sud-est et suggère une épaisseur de dépôts relativement constante d'environ 90 m. La topographie du roc semble accidentée par endroit, et présente des variations locales de l'ordre de 10 à 15 m.

Interprétation de la stratigraphie locale

Les points qui suivent ressortent de l'analyse des cartes géologiques et des travaux de terrain.

- La couche de sable fin en surface, d'origine glaciomarine deltaïque, présente une épaisseur de 10m au droit du forage;
- Les sédiments fins se composent principalement d'argile-silteuse, de silt et de sable fin en alternance. Ces unités dominent les dépôts au droit du forage;
- Une mince unité granulaire grossière se trouve superposée au roc. Sa position stratigraphique suggère son origine glaciaire, mais la nature (fluvioglaciaire ou till) n'est pas déterminée;
- Le roc sous-jacent est d'origine cristalline et de nature gneissique. Il ne semble pas présenter de discontinuité majeure.

Secteur Labrecque (Site S24)

Le site S24 se situe à environ 4 km au nord-ouest du lac Léon dans la municipalité de Labrecque. Il est situé dans une TPI occupée par une bleuetière. Les travaux de terrain sont résumés au Tableau 3—6. La localisation des points de levé est présentée à la Figure 3-12. La suite du texte décrit en détail chacun des levés.

Tableau 3—6 : Travaux d'investigation réalisés dans le secteur Labrecque – Stations S3 et S24

Type de levés	Méthode	Nom du levé	Identifiant dans la base de données numériques PACES-SLSJ
Forage	Rotasonique	PZ-S24	SLSJ40074
Sondage	Piézocône	CPT-S3-1	SLSJ40014
		CPT-S3-2	SLSJ40017
Levé géophysique	TDEM	NTS3L1	SLSJ50141, SLSJ50142 et SLSJ50143
	Sismique réfraction	SRS3L1	SLSJ50147 et SLSJ50148
		SRS3L2	SLSJ50149 et SLSJ50150

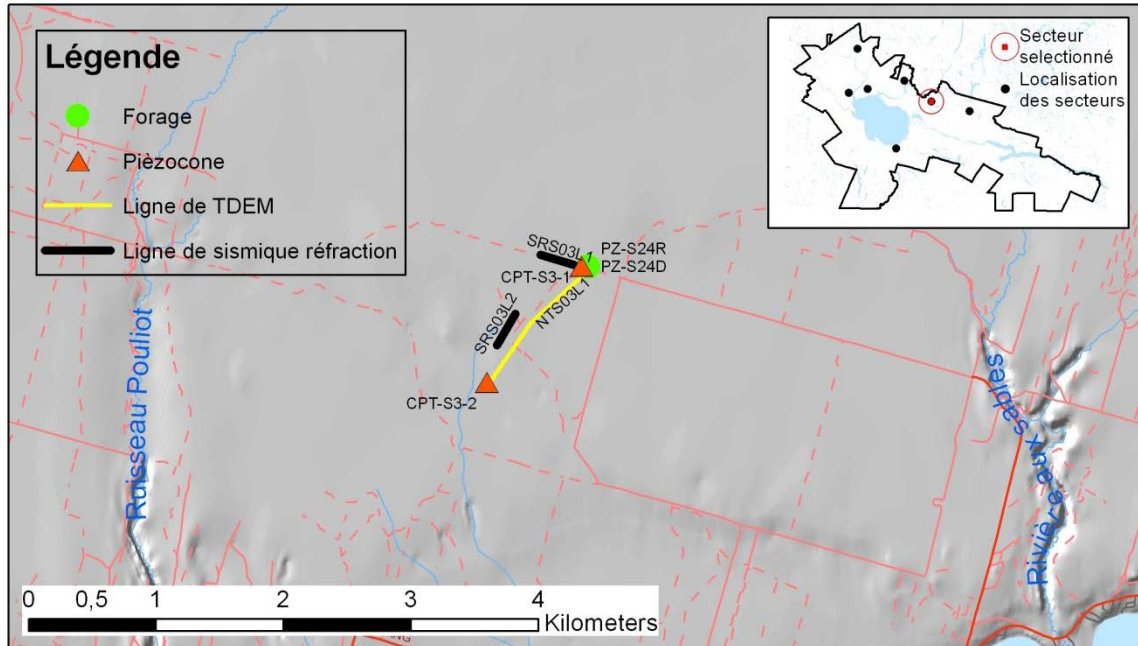


Figure 3-12 : Localisation des travaux d'investigation dans le secteur de Labrecque – Site S24.

Travaux de forage

Un forage de type rotasonic a été réalisé au site S24 et a permis la récupération de plus de 60 m de sédiment. La description géologique détaillée du forage et l'interprétation qui en découle seront présentées dans l'étude d'Étienne Hudon-Gagnon (2012). Le forage PZ-S24D atteint le roc, sans le pénétrer. Le site est maintenant équipé d'un nid de piézomètre installé dans les dépôts meubles (annexe numérique AN3). Le forage PZ-S24D traverse 62 m de dépôts avant d'atteindre le roc cristallin. La stratigraphie identifiée en forage correspond, du sommet à la base, aux éléments suivants:

- 0 – 10,7 m : sable graveleux;
- 10,7 – 25,9 m : sable fin à moyen;
- 25,9 – 41,1 m : sable fin à silteux;
- 41,1 – 50,3 m : silt;
- 50,3 – 62,5 m : argile;
- 62,5 m et plus profond : anorthosite.

Sondage au piézocône

Deux sondages au piézocône ont été réalisés sur le site S24. Les deux trous ont été équipés de piézomètre de 1 pouce de diamètre. Les sondages atteignent des profondeurs de 33,5 m (CPT-S3-1) et 16 m (CPT-S3-2) sans atteindre le roc. L'analyse des résultats de ces levés a été faite à partir des méthodes de classifications de Fellenius et Eslami (2000) et de Robertson (1986). Elle révèle une bonne extension latérale des couches superficielles de dépôt meuble constituées d'une alternance de couches de sable fin à moyen et de sable silteux. L'interprétation de la nature des dépôts interceptés par ces sondages est, du sommet à la base :

- CPT-S3-1 :
 - 0 – 12 m : alternance de couches de sable et de sable silteux;

- 12 – 30 m : sable;
- 30 – 35 m : alternance de couches de sable et de sable silteux.
- CPT-S3-2 :
 - 0 – 16 m : sable.

Levé TDEM

L'extension latérale de couches, sur une distance d'environ 1200 m en direction nord-est/sud-ouest, est confirmée par la pseudo-section (Figure 3-13) réalisée à partir de 3 levés au TDEM. La couche supérieure de sable présente généralement une épaisseur constante comprise entre 0 et 40 m. L'interprétation géophysique suggère une dépression topographique du socle rocheux d'environ 20 m au droit du forage. Les couches sus-jacentes au roc semblent suivre cette dépression.

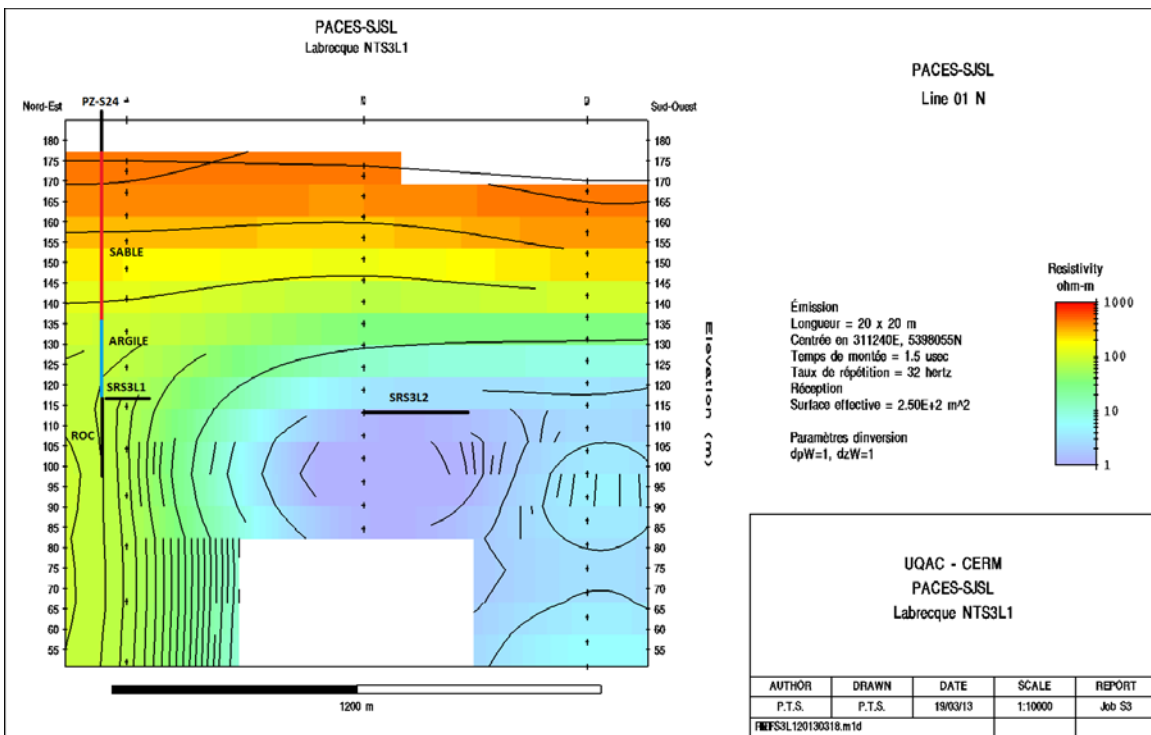


Figure 3-13: Pseudo-section de la résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisés au site S24 (secteur Labrecque).

Levé de sismique réfraction

Deux levés de sismique réfraction ont été exécutés au site S24 (annexe numérique AN1). Ils sont orientés nord-ouest /sud-est et nord-est/sud-ouest. Les deux levés suggèrent une topographie du roc présentant plusieurs accidents majeurs faisant varier brutalement sa profondeur de plus de 20m. Dans les deux cas, la profondeur du roc est de l'ordre de 70 m.

Interprétation de la stratigraphie locale

Les points qui suivent ressortent de l'analyse des cartes géologiques et des travaux de terrain.

- La couche superficielle, d'origine glaciomarine deltaïque, présente une épaisseur relativement constante d'environ 25 m et une extension latérale présentant un contact inférieur subhorizontal. Elle est composée de sable fin avec quelques horizons graveleux.
- La granulométrie des sédiments diminue graduellement avec la profondeur.
- Les sédiments fins se composent principalement d'unités de sable fin, de silt et d'argile. Ils dominent la stratigraphie du secteur et présentent des épaisseurs de plus de 30 m.
- Un horizon d'argile d'une dizaine de mètres se superpose au roc.
- Le roc sous-jacent est d'origine cristalline et de nature anorthositique. Il semble présenter des discontinuités majeures faisant varier significativement sa profondeur en plusieurs endroits.

Secteur Saint-David-de-Falardeau (Site S18)

Le site S18 est localisé dans la municipalité de Saint-David-de-Falardeau, à moins de 200 m au sud du lac Sébastien. Le terrain est la propriété d'un résident de la municipalité de Saint-David-de-Falardeau. Les travaux de terrain sont résumés au Tableau 3—7. La localisation des points de levé est présentée à la Figure 3-14. La suite du texte décrit en détail chacun des levés.

Tableau 3—7 : Travaux d'investigation réalisés dans la municipalité de Saint-David-de-Falardeau – Station S18.

Type de levés	Méthode	Nom du levé	Identifiant dans la base de données numériques PACES-SLSJ
Forage	Percussion	PZ-S18D	SLSJ40056
		PZ-S18R	SLSJ40055
Levé géophysique	TDEM	NTS18L1	SLSJ50046 à SLSJ50060
	Sismique réfraction	SRS18L1	SLSJ50061

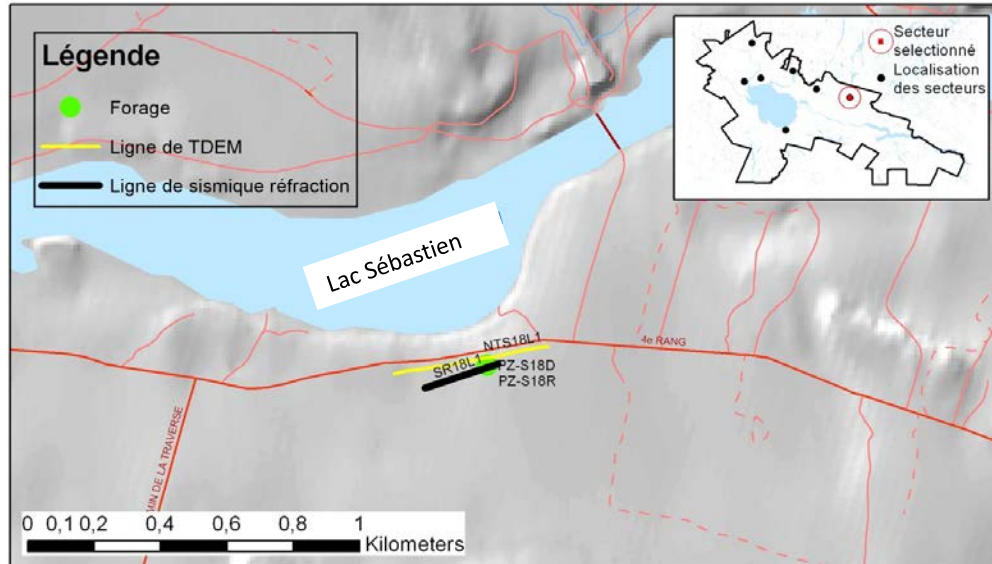


Figure 3-14: Localisation des travaux d'investigation dans le secteur de Saint-David-de-Falardeau – Site S18.

Travaux de forage

Deux forages ont été exécutés au site S18, dont un dans le roc. Le site est maintenant équipé d'un piézomètre installé dans les dépôts meubles et d'un piézomètre installé dans le roc (annexe numérique AN3). Le forage PZ-S18R indique une épaisseur de dépôts meubles de l'ordre de 25 m et révèle la présence d'une unité de roche calcaire interceptée sur plus de 100 m. Le roc cristallin est atteint à 135 m de profondeur. La stratigraphie observée en forage correspond, du sommet à la base, aux éléments suivants :

- 0 – 9,1 m : sable fin à grossier traces de gravier et de silt;
- 9,1 – 18,3 m : sable fin gris silteux;
- 18,3 – 24,4 m : sable et gravier dans une matrice argileuse (till compact);
- 24,4 – 135,6 m : roche sédimentaire d'origine calcaire;
- 135,6 – 153,9 m : anorthosite chloritisée.

Levé TDEM

La pseudo-section (annexe numérique AN1), réalisée à partir des levés au TDEM, s'étend sur environ 500 m suivant une orientation nord-est/sud-ouest. Son interprétation suggère une bonne extension latérale de la couche de sable superficielle. Les contacts entre les unités sédimentaires semblent subhorizontaux.

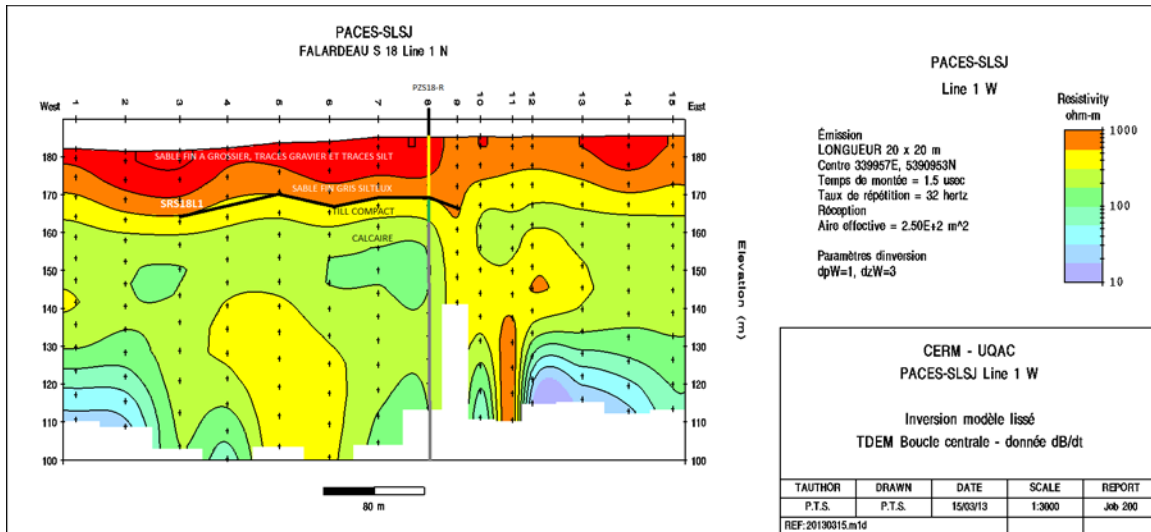


Figure 3-15: Pseudo-section de résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisés au site S18 (secteur Saint-David-de-Falardeau).

Levé de sismique réfraction

L'interprétation du levé de sismique réfraction (annexe numérique AN1), orienté est-ouest et d'une longueur de 250 m, suggère une épaisseur de dépôt d'environ 15 m, variant localement de quelques mètres. La différence de profondeur du toit du roc interprétée à partir du levé de sismique réfraction et celle obtenue par forage peut s'expliquer ici par la présence d'une unité compacte située entre 18 et 25 m de profondeur.

Interprétation de la stratigraphie locale

Les points qui suivent ressortent de l'analyse des cartes géologiques et des travaux de terrain.

- La couche superficielle, d'origine fluvioglaciale, présente une épaisseur relativement constante d'environ une vingtaine de mètre. Elle présente une bonne extension latérale et son contact inférieur suit une ligne relativement horizontale. Elle est composée de sable fin à grossier.
- La granulométrie des sédiments diminue graduellement avec la profondeur.
- Une unité de matériel sédimentaire compact, mal trié, et présentant une matrice argileuse se superpose au roc. Son origine glaciaire (till) est proposée.
- L'épaisseur de roche calcaire est de 111 m ce qui correspond à l'épaisseur la plus importante enregistrée dans la région. Le roc calcaire ne semble pas affecté de discontinuités importantes.
- Le roc sous-jacent au roc sédimentaire est d'origine cristalline et de nature anorthositique.

Secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (site S6)

Le site S6 est localisé à environ 2 km au sud de la municipalité de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix. Le terrain correspond à des terres agricoles réservées à la culture du maïs. Les travaux de terrain sont résumés au Tableau 3—8. La localisation des points de levé est présentée à la Figure 3-16. La suite du texte décrit en détail chacun des levés.

Tableau 3—8 : Travaux d’investigation réalisés dans la municipalité de Métabetchouan – Lac-à-la-Croix – Station S6.

Type de levés	Méthode	Nom du levé	Identifiant dans la base de données numériques PACES-SLSJ
Sondage	Piézocône	CPT-S6-1	SLSJ40008
		CPT-S6-2-2	SLSJ40011
		CPT-S6-3	SLSJ40012
Levé géophysique	TDEM	NTS6L1	SLSJ50089 à SLSJ50102
	Sismique réfraction	SRS6L1	SLSJ50107 et SLSJ50108

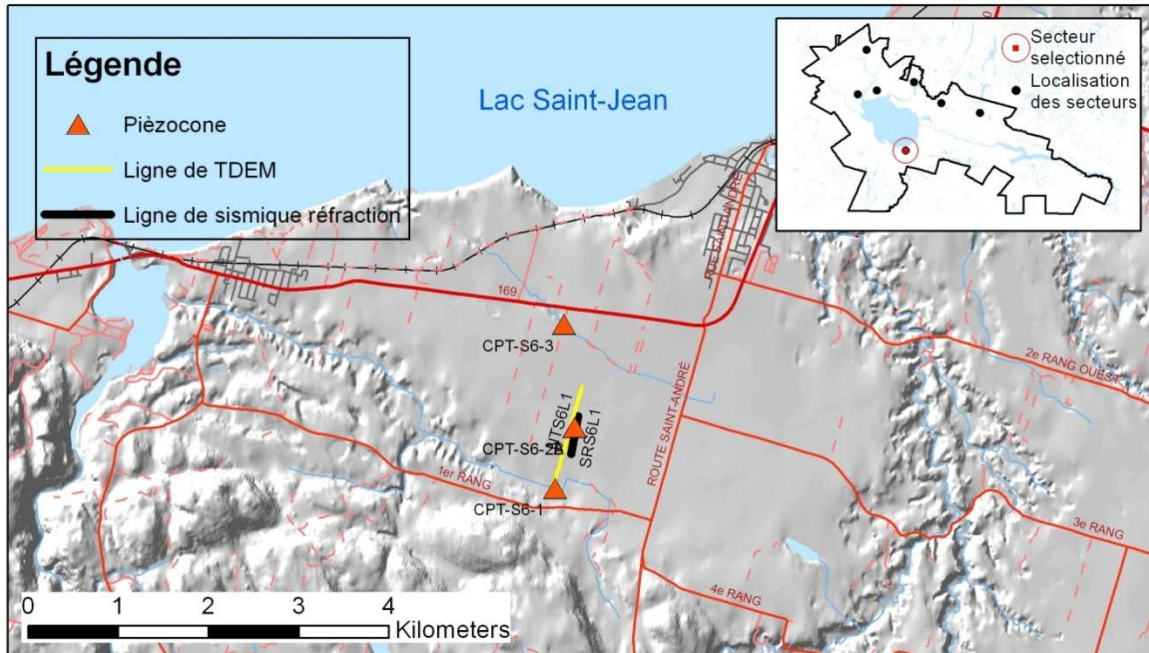


Figure 3-16 : Localisation des travaux d’investigation du secteur de Métabetchouan – Site S6.

Sondage au piézocône

Trois sondages au piézocône ont été réalisés au site S6. Un sondage atteint la profondeur de 28 m et deux autres atteignent la profondeur de 45 m. Aucun sondage n’a touché le roc. Deux piézomètres de 1 pouce de diamètre ont été installés, dont un (PZ-S6-1) présentait des conditions de nappe artésienne jaillissante. Ce dernier a été condamné.

L’analyse du sondage le plus au sud (CTP-S6-1) montre la stratigraphie suivante :

- 0 – 2 m : alternance de couches de silt, d’argile silteuse et d’argile;
- 2 – 15 m : sable silteux en alternance avec des couches minces de silt et de sable;
- 15 – 28 m : sable avec quelques couches de sable silteux.

L’analyse du sondage CPT-6-2-2 présente la stratigraphie suivante:

- 0 – 2 m : sol;
- 2 – 35 m : argile;
- 35 – 50 m : sable avec quelques couches de sable silteux;

L'analyse du sondage CPT-6-3 localisé au nord-ouest de CPT-6-2-2 présente la stratigraphie suivante :

- 0 – 2 m : sol;
- 2 – 10 m : sable;
- 15 – 50 m : sable avec quelques couches de silt sablonneux et de sable silteux.

Levé TDEM

La ligne de levés au TDEM est orientée approximativement nord-sud. L'interprétation de la pseudo-section (Figure 3-17), suggère une extension latérale limitée des couches de sable et des niveaux superficiels d'argile (surtout vers le sud). L'argile présente des épaisseurs variables de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Sur la figure, les premiers 50 m de profondeur sont comparés avec le sondage CPT-S6-2-2. La concordance des deux levés semble confirmer la présence de sable fin à grossier sous l'argile. La position des contacts reste toutefois approximative. De plus, une anomalie fortement résistive est identifiée au sud de la ligne de levés. La proximité du mur sud du Graben du Saguenay conforte l'hypothèse d'une remontée du socle rocheux pour expliquer cette anomalie. La carte géologique présentée aux sections précédentes indiquent la présence de roches calcaires à l'endroit du site S6, ce qui permet d'expliquer le contraste de résistivité entre la partie gauche de la figure et la partie droite à une profondeur où est identifié le toit du socle rocheux par levé de sismique réfraction (décrit ci-dessous).

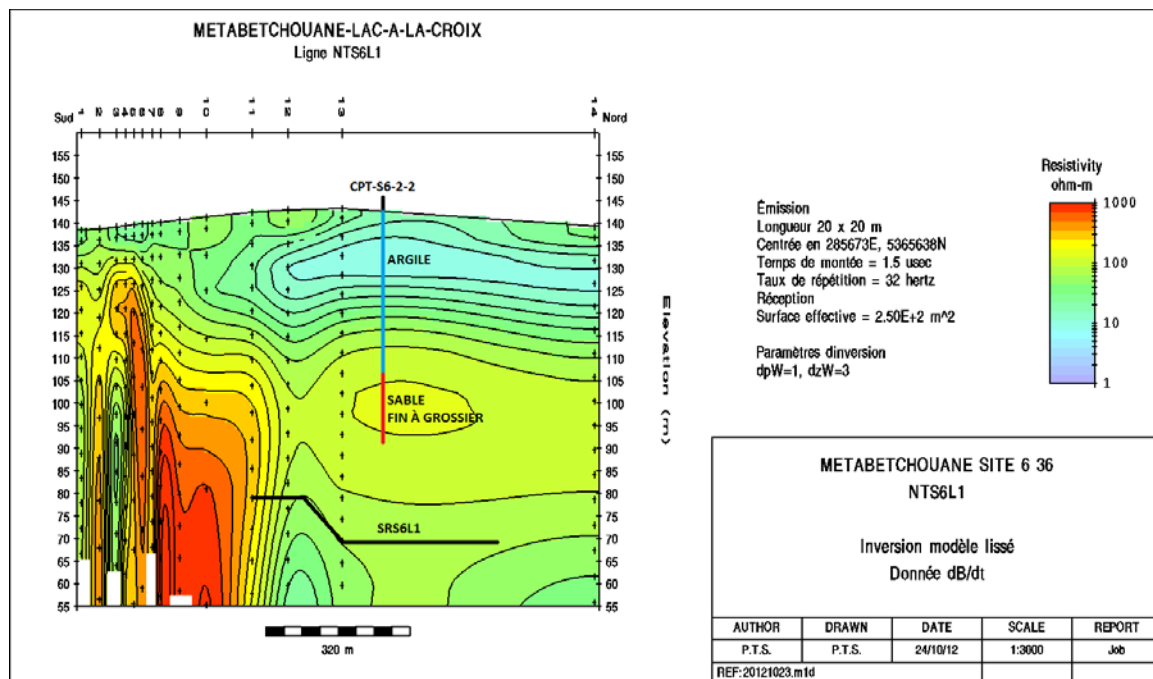


Figure 3-17: Pseudo-section de la résistivité électrique obtenue à partir des levés au TDEM réalisé au site S6 (secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix).

Levé de sismique réfraction

L'interprétation du levé de sismique réfraction réalisé au site S6 (annexe numérique AN1) suggère une topographie plane du socle rocheux, dont la profondeur interprétée est de l'ordre

de 70 m. Cette information, additionnée au contraste de résistivité observé à l'aide des levés TDEM et aux observations tirées de l'analyse des cartes géologiques, suggère la nature calcaire des roches qui constituent le substratum rocheux à l'endroit du levé de sismique réfraction.

Interprétation de la stratigraphie locale

Les points qui suivent ressortent de l'analyse des cartes géologiques et des travaux de terrain.

- La couche superficielle, d'origine glaciomarine (argile de la mer Laflamme), présente une épaisseur variable de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Son extension latérale est plutôt limitée vers le sud.
- Des niveaux de sable sont présents sous l'argile. Leur extension latérale semble aussi limitée, leur origine glaciaire est suggérée par leur position dans la séquence sédimentaire.
- Le roc présente une topographie plane sous les dépôts, sa nature calcaire est suspectée. À proximité de la limite sud du Graben du Saguenay, sa topographie devient accidentée et sa profondeur interprétée est très variable ce qui suggère sa nature cristalline et des marques de déformation fragile.

3.2.2 Simplification de la stratigraphie

Combinées avec l'analyse des cartes géologiques, les observations de terrain réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ montrent la grande diversité des environnements de dépôts et attestent de la variété des assemblages sédimentaires. Toutefois, des généralités peuvent être ressorties de ces observations, considérant d'une part la chronologie des événements de mise en place des unités sédimentaires, et d'autre part, leurs caractéristiques physiques. Ces généralités permettent de simplifier la donnée stratigraphique afin de pouvoir l'étendre à toute la région.

La majorité des levés de forages présentent une unité de sédiments fins généralement dominés par l'argile et le silt. Dans certains cas, cette unité repose directement sur le roc, sur un till compact ou sur des sédiments granulaires grossiers d'origine apparemment glaciaire. De plus, il arrive que ces sédiments fins affleurent ou se trouvent surmontés par des dépôts généralement épais et dominés par des sables hétérogènes (sable fin silteux à graveleux). Lorsque l'unité de sédiments fins est absente, la stratigraphie est dominée par des dépôts granulaires plutôt grossiers (sable moyen à gravier grossier) d'origine fluvioglaciaire dont l'épaisseur est variable mais généralement supérieure à une dizaine de mètres.

Le roc intercepté aux sites investigués est de nature cristalline ou calcaire. Le roc calcaire présente généralement une topographie plane, contrairement au roc cristallin dont la surface est accidentée. Cependant, à certains endroits, le roc calcaire présente aussi des discontinuités importantes faisant varier significativement et brutalement sa profondeur.

Ainsi, les unités sédimentaires de la carte de dépôts de surface peuvent être regroupées selon leur granulométrie (fin, sableux hétérogène ou grossier) et leur position par rapport à l'unité de sédiment fin (argile et silt). D'après les cartes de dépôts de surface présentées aux sections précédentes, l'unité de sédiments fins la plus répandue dans la région correspond à l'unité d'argile silteuse de la mer Laflamme. Dans la région, cette unité constitue un horizon temporel repère important car il permet d'identifier les dépôts glaciaires plus anciens sous-jacents (till,

fluvioglaciaires, et glaciolacustres), et les dépôts plus jeunes (séquences glaciomarines deltaïques, séquences lacustres, sables éoliens, dépôts alluvionnaires et sédiments organiques).

En groupant les unités sédimentaires, la stratigraphie régionale peut donc être simplifiée en 4 unités distinctes de sédiments meubles, que sont, du sommet à la base (socle rocheux) :

1. sables hétérogènes d'origine glaciomarine ;
2. argile et silt de la mer de Laflamme (sédiment glaciomarin d'eau profonde) ;
3. graviers fluvioglaciaires ;
4. till.

Sur la Figure 3-18, la stratigraphie des sites investigués lors des travaux de terrain du PACES-SLSJ est simplifiée et présentée sous la forme de colonnes stratigraphiques schématiques. La simplification de la stratigraphie a été appliquée à toutes les données stratigraphiques disponibles dans la base de données spatiales, ce qui a notamment permis de créer une multitude de coupes stratigraphiques sur le territoire à l'étude.

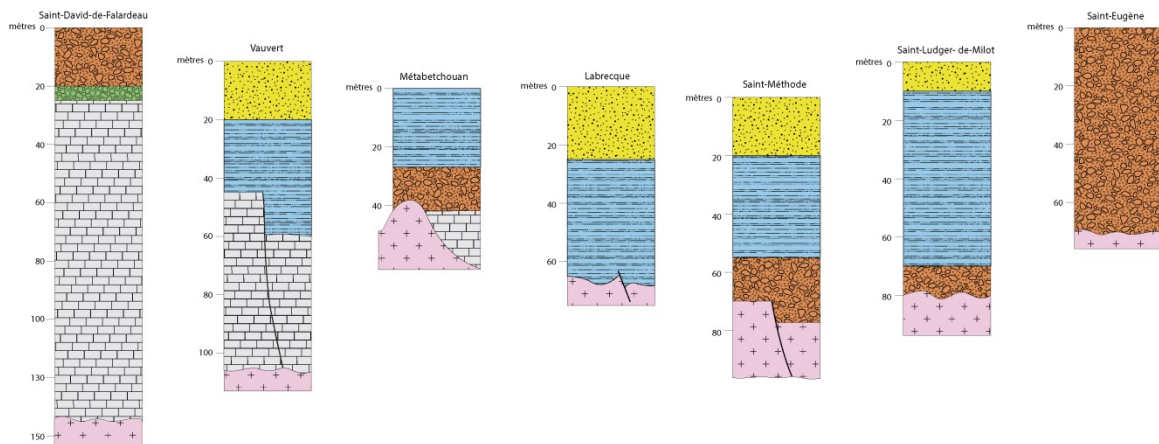


Figure 3-18: Colonne stratigraphiques conceptuelles présentant la stratigraphie simplifiée des sites investigués dans le cadre des travaux de terrain du PACES-SLSJ. La légende se trouve à la Figure 3-34.

3.2.3 Les coupes stratigraphiques

Dans le cadre du PACES-SLSJ, 134 coupes stratigraphiques ont été réalisées et interprétées à l'aide de la stratigraphie simplifiée présentée à la section 3.2.2. La création des coupes stratigraphiques a permis de compléter et d'uniformiser l'information stratigraphique souvent disparate sur le territoire tout en améliorant la distribution spatiale de l'information stratigraphique disponible. Les coupes stratigraphiques ont aussi permis d'identifier la présence de dépôts granulaires sous les argiles et de développer une vision du relief du substratum rocheux. La trace en plan de ces coupes stratigraphiques est présentée à la Figure 3-19.

Cette section résume les principales étapes de la construction des coupes stratigraphiques. Un protocole (Protocole P4) présente le détail de la méthodologie.

Données disponibles

Les données requises pour la création de coupes stratigraphiques sont :

- La topographie (MNA);

- L'hydrographie de surface;
- Les limites des bassins versants;
- Les cartes géologiques (carte du socle rocheux et des dépôts superficiels);
- Les forages présentant une information stratigraphique valides (P29b-*Fiabilité et validation des données de forage* (Protocole P3));
- Les affleurements rocheux;
- Les failles et linéaments de la région (carte du socle rocheux).

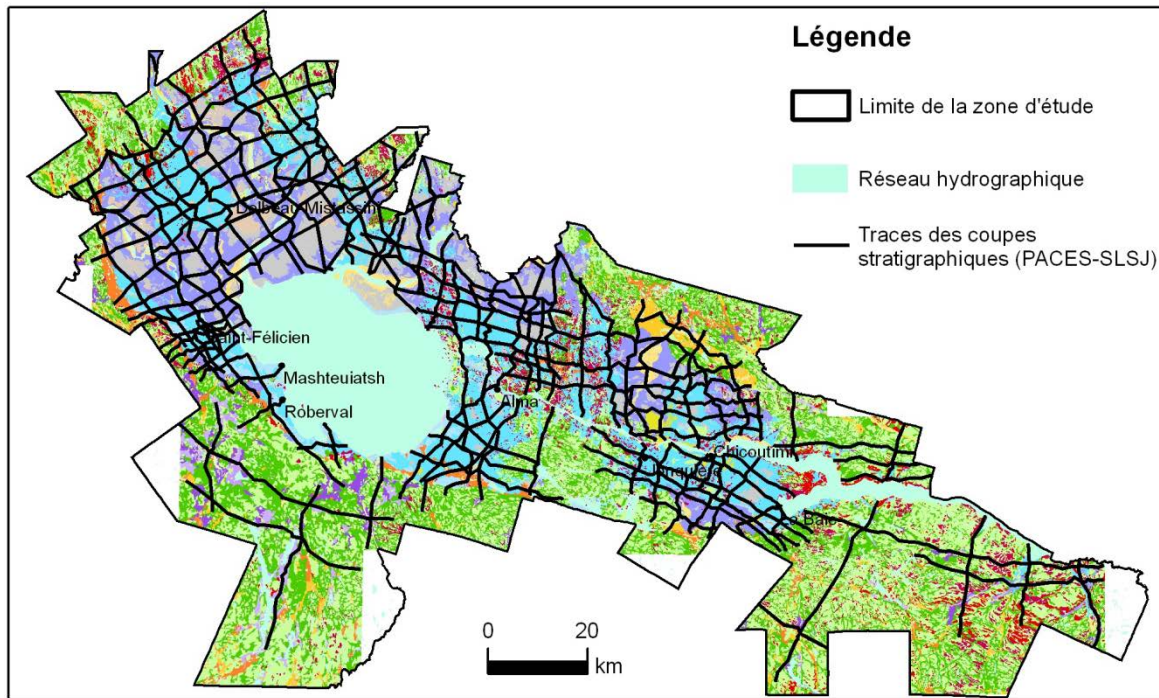


Figure 3-19 : Localisation en plan des traces des 134 coupes stratigraphiques interprétées dans le cadre du PACES-SLSJ.

Traitement des données

La sélection des points de contrôle (forages et affleurements) des coupes stratigraphiques s'effectue manuellement en plan à l'aide de la version 3 du logiciel *Strater* de *Golden Software inc.* Le tableau suivant présente les proportions des stations utilisées lors de l'interprétation des coupes stratigraphiques selon leur source.

Tableau 3—9 - Proportion des stations utilisées lors de l'interprétation des coupes stratigraphiques selon leur source.

Sources de la station	Nb utilisées	% utilisées
GUHS	151	10%
MTQ	83	6%
PACES SLSJ	29	2%
Projet Quaternaire SLSJ	171	12%
Rapport hydrogéologique	179	12%
SIGEOM	67	5%
SIH	804	54%
TOTAL	1484	100%

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 par l'équipe de géomatique du CERM à partir du logiciel *ArcMap* d'*ArcGIS* (Figure 3-20).

Sur ce gabarit sont représentés :

- Les failles et les linéaments, la trace en plan de la coupe et les unités sédimentaires de la carte des dépôts de surface (encadré 1).
- La vue en coupe (exagération verticale 30 fois) dans laquelle apparaissent la surface topographique avec l'étendue (représentée par une ligne) des limites des dépôts de surface et des affleurements rocheux, ainsi que les forages sélectionnés (représentés par une ligne verticale) et leur stratigraphie simplifiée (encadré 2).
- D'autres éléments d'information (légende, localisation, métadonnées, etc.) (encadré 3).

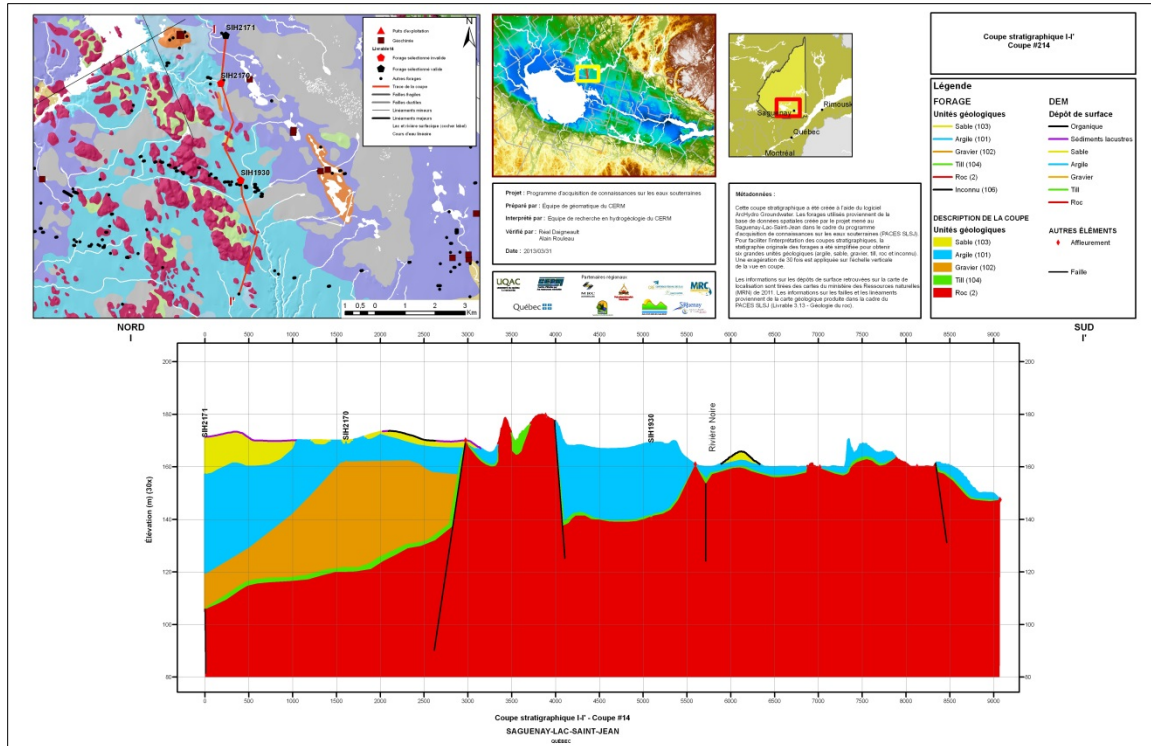


Figure 3-21 : Coupe stratigraphique interprétée et numérisée dans le logiciel ArcMap (exagération verticale de 30x).

Cette coupe stratigraphique a été réalisée dans le secteur de Sainte-Monique. Elle met en évidence la présence de sédiments fluvioglaciaires sous les sédiments glaciomarins (sable hétérogènes superposés aux argiles de la mer Laflamme). Les épaisseurs des unités sédimentaires restent à valider. Le roc affleure en plusieurs endroits, sa topographie est accidentée et irrégulière et semble contrôlée par un réseau structuré de failles. La construction d'un réseau de coupes (diagramme barrière) permet d'étendre l'information régionalement.

Construction des diagrammes barrières

Les diagrammes barrières sont construits en projetant les coupes stratigraphiques dans un environnement tridimensionnel grâce au module *Subsurface Analyst* du logiciel *Arc Hydro Groundwater*. La procédure est décrite plus précisément dans Fillastre (2010).

Un 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 a été utilisée pour le contrôle de la qualité de l'interprétation stratigraphique. De plus, lors de phases ultérieures, l'usage des diagrammes barrières pourrait permettre l'estimation des volumes équivalents des milieux aquifères, et ainsi permettre d'estimer les volumes d'eau souterraine contenus dans ces milieux. La Figure 3-22 présente une vue du diagramme barrière régional créé dans la zone d'étude à l'aide du logiciel *ArcScene* d'*ArcGis*.

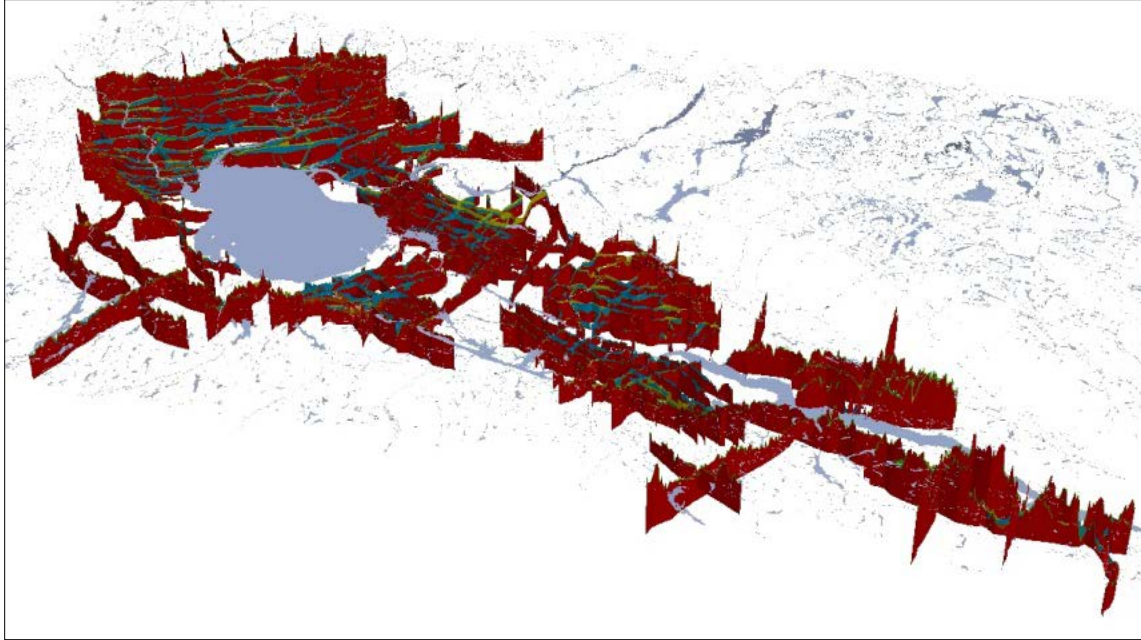


Figure 3-22 : Représentation sous forme de diagrammes barrières des 134 coupes stratigraphiques interprétées.

Dans le cadre du PACES-SLSJ, une stratigraphie régionale simplifiée a été proposée et a permis la construction de plusieurs coupes stratigraphiques à l'échelle de la région. Ces coupes ont notamment servi à l'interprétation de dépôts granulaires sous-jacents aux argiles de la mer Laflamme, mais elles contribuent aussi à améliorer la distribution spatiale de l'information sur l'épaisseur des dépôts meubles et la topographie du roc. Ces deux éléments définissent le cadre stratigraphique régionale, généralement connu localement, et qu'il convient d'étendre à la région aux fins du PACES-SLSJ.

3.3 Cadre stratigraphique régional

Le cadre stratigraphique définit les limites physiques à l'intérieur desquelles les unités stratigraphiques s'enchainent. Il est constitué de l'épaisseur absolue des dépôts de surface et de la topographie du socle rocheux, à la base des empilements sédimentaires. Les méthodes proposées dans cette section pour les représenter à l'échelle de la région font intervenir des techniques d'interpolation dont les résultats ont été testés et validés. Les résultats obtenus sont discutés à l'échelle de la région et commentés quant à leurs limites.

3.3.1 Épaisseur des dépôts meubles

Les données sources, leur traitement, la validation des résultats et la carte d'épaisseur des dépôts de surface obtenue sont discutés dans cette section. Le détail de la méthode de création de la carte d'épaisseur des dépôts de surface est présenté dans un protocole (protocole P5).

Données Sources

À l'échelle de la région SLSJ, les données sur l'épaisseur des dépôts meubles comprennent :

- des données ponctuelles (forages et autres sondages);

- les affleurements rocheux;
- les données interprétées à partir des coupes stratigraphiques.

La suite du texte détaille chacune des données source.

Les données ponctuelles

Les données ponctuelles de stratigraphie sont issues de la base de données spatiales. Ces données sont associées à une station représentant un forage, un puits, un piézomètre ou un point de donnée géophysique.

Dans la base de données spatiales du PACES-SLSJ, 5 085 stations possèdent une valeur d'épaisseur de dépôts. Sur le territoire, 1 079 stations sont situées dans les hautes terres et 4 006 stations sont situées dans les basses terres. Pour une superficie de territoire de 13 200 km², cette quantité de données représente en moyenne moins d'une valeur par km². La Figure 3-23 illustre la répartition des données et leur densité sur le territoire. Cette figure met en évidence la répartition spatiale des données et le regroupement en grappes (*clusters*), notamment sur le seuil de Kénogami.

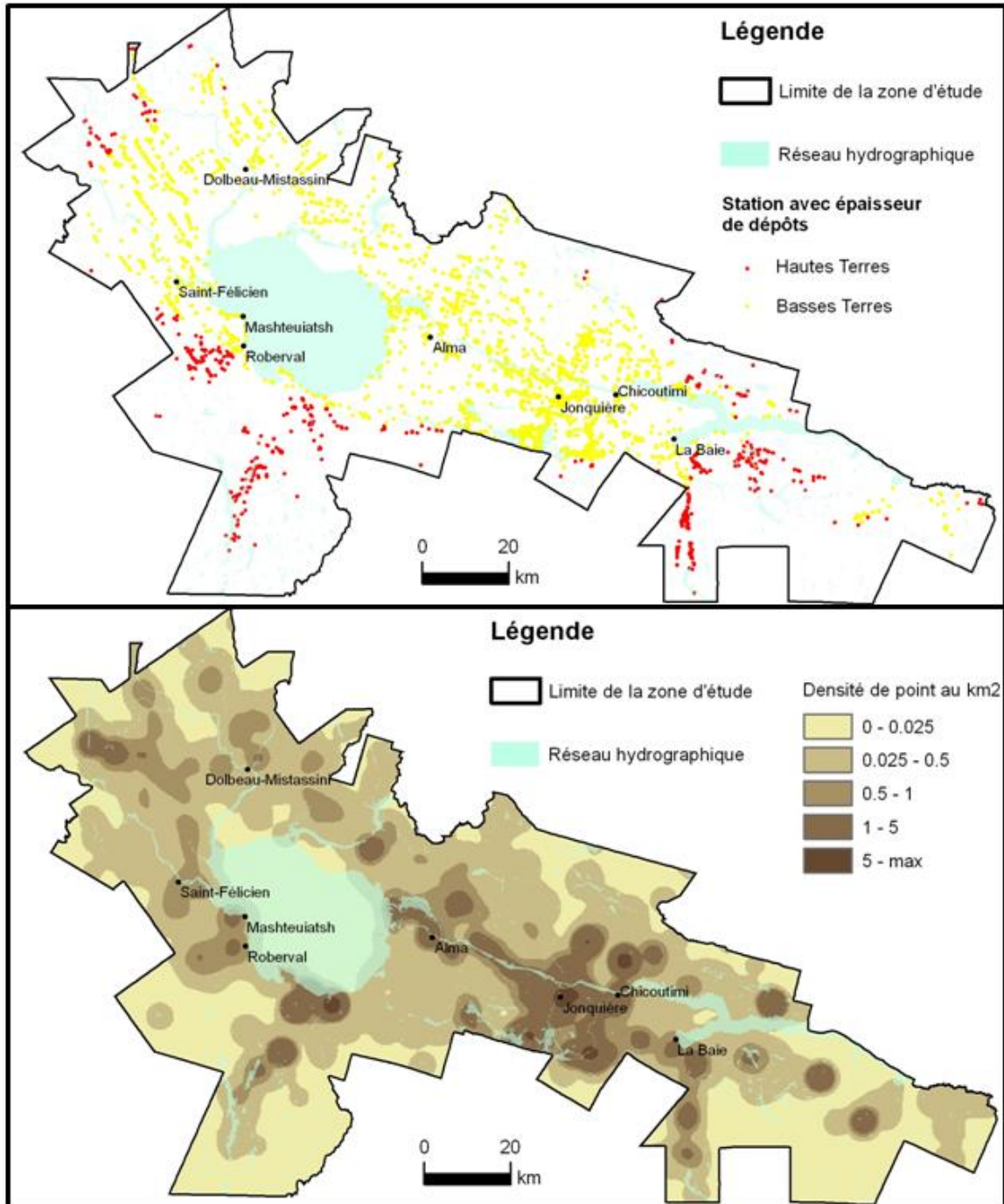


Figure 3-23 – Répartition des stations possédant une valeur d'épaisseur des dépôts (en haut) et densité des stations possédant une valeur d'épaisseur de dépôts (en bas).

Les affleurements rocheux

Les affleurements rocheux constituent une donnée importante puisqu'ils indiquent une valeur nulle d'épaisseur de dépôts. Un grand nombre d'affleurements, soit 62 506 données ponctuelles, sont localisés dans la région du SLSJ. La Figure 3-24 illustre la localisation de ces affleurements.

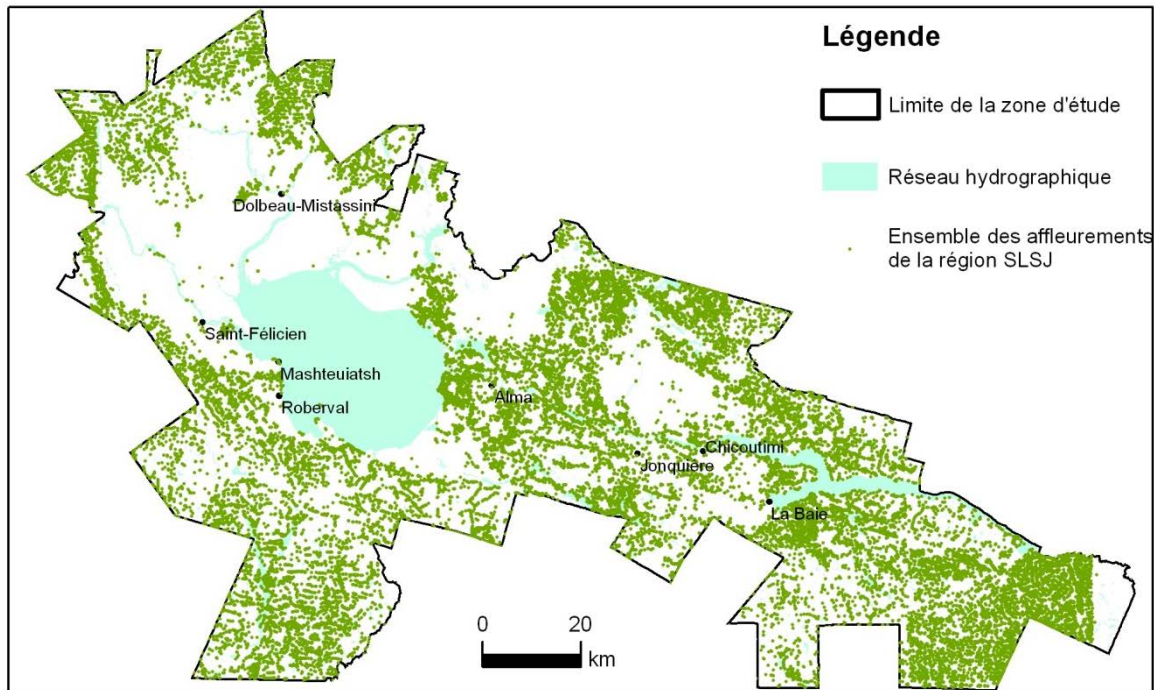


Figure 3-24 : Localisation des affleurements pour la région SLSJ

Les forages virtuels

Les essais préliminaires de modélisation à partir de la banque de données spatiales (forages et affleurements) ont générés des modèles peu réalistes, le plus grand obstacle étant la répartition spatiale en grappe (*cluster*) des points de contrôle. Pour cette raison, il a été décidé d'améliorer la distribution spatiale des points de départ par l'entremise de forages virtuels issus de l'interprétation de coupes stratigraphiques. Les 134 coupes stratigraphiques élaborées dans toute la région ont un espacement constant d'environ 5 à 10 kilomètres en moyenne.

À l'aide d'un processus automatisé par routines informatiques *VBA*, les coupes stratigraphiques sont discrétisées en (n) forages virtuels (ou fictives) selon un pas de 500 mètres. Le détail de la méthode et des codes *VBA* sont présentés dans Fillastre (2010). La Figure 3-25 illustre le résultat de la création des forages virtuels le long d'une coupe stratigraphique. Les triangles présentés sur la vue en plan de la figure symbolisent ces forages virtuels (ou « nouveaux forages ») et se rapportent aux numéros indiqués sur la vue en coupe. Cette coupe a permis de générer 40 nouveaux forages contenant de l'information interprétée sur la profondeur du roc et par le fait même de l'épaisseur des dépôts. Ce processus a permis de générer 5 085 forages virtuels sur l'ensemble du territoire à l'étude

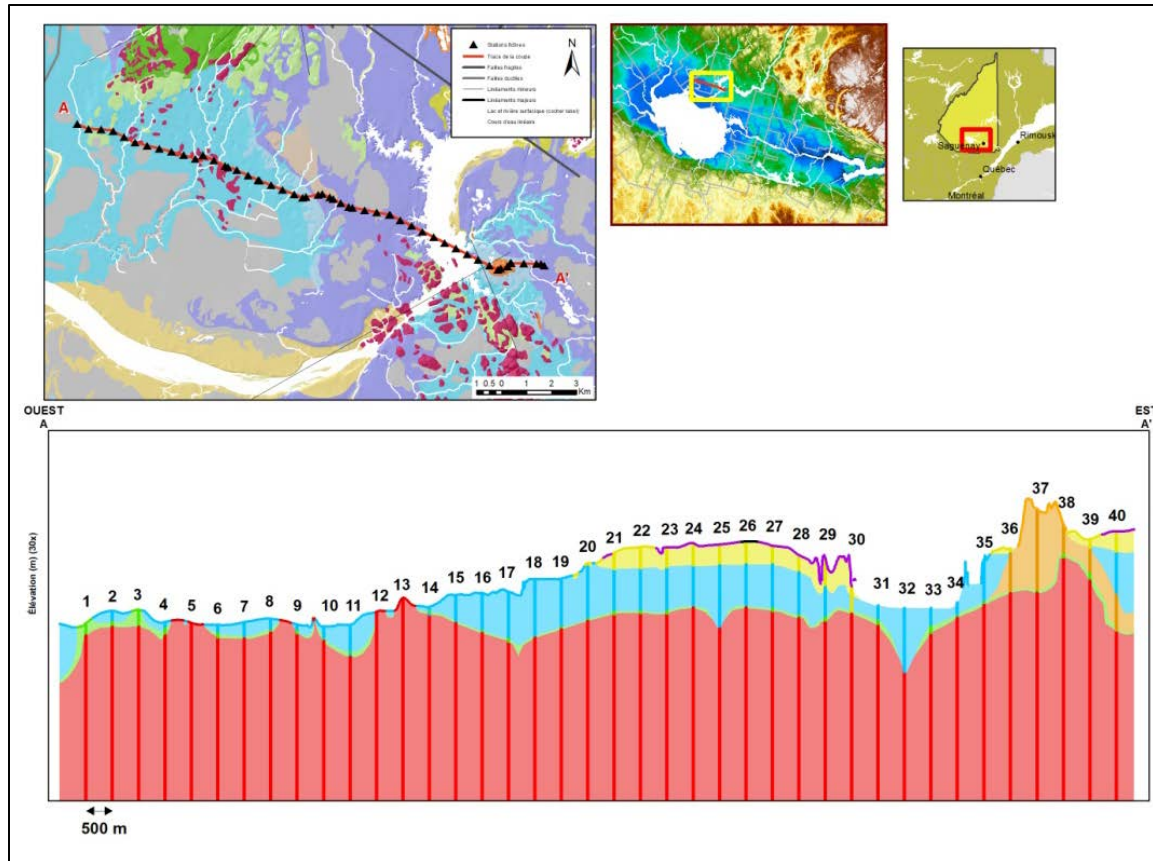


Figure 3-25 : Forages virtuels créés le long d’une coupe stratigraphique (exagération verticale de 30x).

Traitement des données

Les données précédemment présentées, soit les forages virtuels et les affleurements, ont été utilisées pour l’interpolation. Le contexte en graben de la région SLSJ implique une grande hétérogénéité dans l’épaisseur des dépôts. Les dépôts meubles sont présents sur de grandes épaisseurs et de façon relativement continue dans les basses terres, tandis que les dépôts dans les hautes terres sont irréguliers et circonscrits dans les vallées. Cette variabilité dans la répartition et dans les épaisseurs des dépôts meubles implique la réalisation de 2 interpolations distinctes entre les hautes et les basses terres. La courbe de niveau de 200 mètres a été utilisée pour distinguer les deux domaines d’interpolation. Pour chacune des zones, le Tableau 3—10 présente les paramètres d’interpolation.

Tableau 3—10: Résumé des paramètres et des données d’interpolation par Krigeage de l’épaisseur des dépôts meubles.

	Hautes terres	Basses terres
Méthode d’interpolation	Krigeage	Krigeage
Paramètres du semi-variogramme		
Modèle	Exponentiel	Exponentiel
Pépite	7,3	7,2
Portée	5 300	2 000
Palier	175	11

Dans les basses terres, les forages virtuels générés le long des coupes stratigraphiques augmentent la quantité de données ponctuelles disponible sur l'épaisseur des dépôts (6 034 données versus 4 006), mais surtout ils permettent d'améliorer la répartition spatiale des données.

Validations

Pour valider le résultat de l'interpolation, deux méthodes ont été réalisées :

- (1) Calculer de nouveaux résultats en retirant à tour de rôle une donnée du jeu de données sources et effectuer la somme des écarts obtenus (RMS pour *Root Mean Square*);
- (2) Comparer le résultat avec des données ne faisant pas partie du jeu de données sources.

(1) Validation des modèles d'interpolation à partir du jeu de données sources

Pour évaluer la validité des interpolations par krigeage, la méthode d'échantillonnage d'auto-corrélation (ou validation croisée) a été appliquée. Cette méthode permet, en chaque point interpolé, d'estimer l'erreur entre la valeur réelle de ce point et la valeur prédite par interpolation. Le Tableau 3—11 présente les valeurs statistiques obtenues.

Tableau 3—11 - Valeurs obtenues pour la validation des modèles de l'épaisseur des dépôts meubles.

	Basses terres	Hautes terres
RMS	7,59	3,56
RMS normalisé	1,23	0,98
Écart-type moyen	5,88	3,6

Pour les deux domaines, le RMS est relativement petit, le RMS normalisé tend vers 1 et la valeur de l'écart-type moyen est près de celle obtenue pour le RMS. Les modèles d'interpolation utilisés sont donc considérés comme valides.

(2) Validation du modèle d'interpolation avec de nouvelles données

Pour évaluer la justesse des résultats obtenus à partir de données ne se retrouvant pas dans les données sources de l'interpolation, deux jeux de données de validation distincts ont été créés et permettent d'évaluer la qualité du résultat obtenu dans les basses terres.

Premier jeu de données

Le premier jeu de données de validation a été créé à partir des deux sources de données :

- 1) **119** stations jugées les plus fiables en raison de leur provenance. En fait, ces 119 stations ont été obtenues suite à une *déclustérisation*³⁶ du jeu de données créé à partir des stations provenant seulement des rapports d'experts conseils ou du PACES. Les 119 stations représentent 10% du jeu de données initiale et sont réparties sur l'ensemble du territoire à l'étude.

³⁶ Lorsque les stations étaient regroupées en semi de grappe, seule la station située au centre du semi de grappe était conservée.

- 2) **94** affleurements choisis aléatoirement sur l'ensemble du territoire à l'étude. Ces affleurements sont nécessaires pour évaluer la qualité du résultat dans les zones où il n'y a pas d'épaisseur de dépôts et ils équilibrent le poids des forages dans la validation.

La Figure 3-26 présente la localisation des 119 stations présentes dans le premier jeu de données de validation. Ces stations proviennent de rapport d'experts conseil et des nouvelles données acquises dans le cadre du PACES. Sur cette figure il est possible de distinguer le type de données utilisées. La comparaison des résultats d'interpolation au droit des points de contrôle sélectionnés illustre une excellente corrélation de l'interpolation (Figure 3-27) avec un coefficient de détermination (R^2) de 0,88.

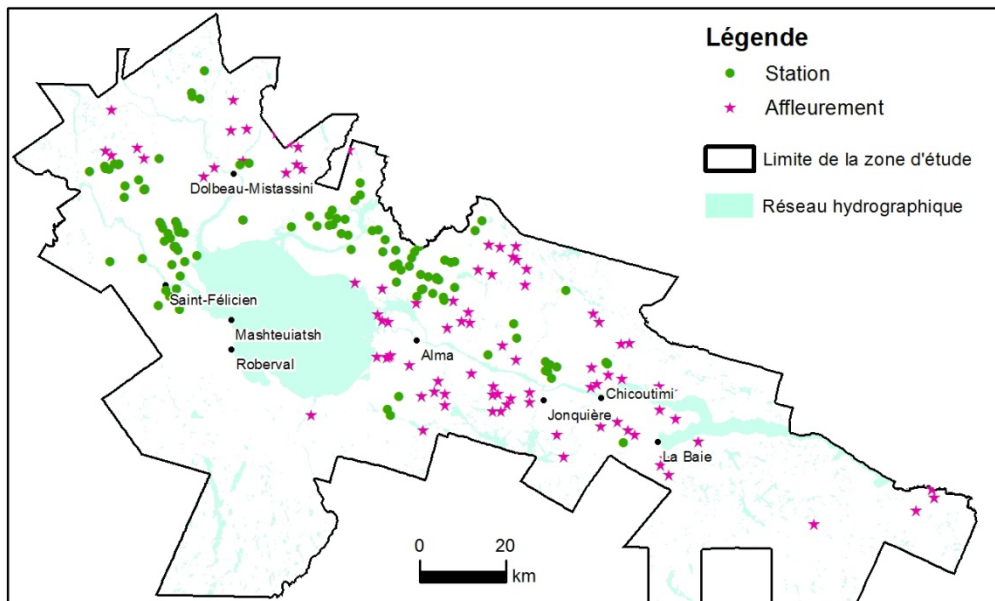


Figure 3-26 - Localisation des points de contrôle sélectionnés pour la 1^{ère} validation

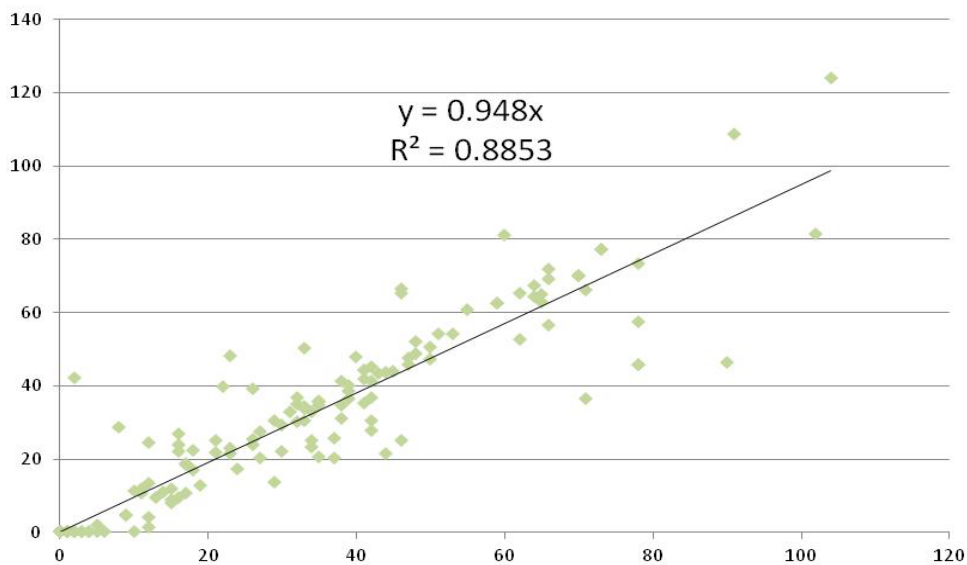


Figure 3-27 - Validation croisée des résultats d'interpolation au droit des points de contrôle sélectionnés.

Deuxième jeu de données

Le deuxième jeu de données de validation a été créé à partir des deux sources de données suivantes :

- 1) **2 016** stations possédant une valeur valide de profondeur du roc (*Fiabilité et validation des données de forage* (Protocole P3)). Or, ce jeu de données contient 2 016 points de contrôle³⁷ provenant de différentes sources (SIH, MTQ, GUHS, rapports d'experts conseil, PACES).
- 2) **94** affleurements choisis aléatoirement sur l'ensemble du territoire à l'étude. Ces 94 affleurements permettent d'évaluer aussi le résultat dans les zones où il n'y a pas d'épaisseur de dépôts et équilibrent le poids des forages dans la validation. En effet, ce nombre d'affleurements correspond environ au nombre de stations restantes si une *déclustérisation* des 2016 stations étaient effectuées (entre 5 et 10% du jeu de données initial).

La répartition des stations du deuxième jeu de données est présentée à la Figure 3-28. La comparaison des résultats d'interpolation au droit des points de contrôle du deuxième jeu de données illustre une corrélation moyenne de l'interpolation (Figure 3-29). En effet, la régression linéaire indique un coefficient de détermination (R^2) de 0,53.

Les grandes variations pour les faibles épaisseurs de dépôts (entre 0 et 20 mètres) visibles sur la Figure 3-29 sont certainement liées à la grande quantité d'affleurements utilisés lors de l'interpolation (Figure 3-24). En effet, lorsqu'une station de validation est entourée d'affleurements, la valeur d'épaisseur estimée à cet endroit sera nécessairement sous-estimée par rapport à la réalité.

Toutefois, une valeur de 0,53 pour le coefficient de détermination est jugé acceptable considérant que :

- l'épaisseur des dépôts de surface est une variable difficile à prédire dans un contexte où le roc présente un comportement chaotique, comme au SLSJ ;
- même si elles sont qualifiées de valides selon le protocole *Fiabilité et validation des données de forage* (Protocole P3), plus de 50% des données de validation proviennent du SIH.

³⁷ Ces points de contrôle correspondent à des stations (forages, puits ou piézomètres).

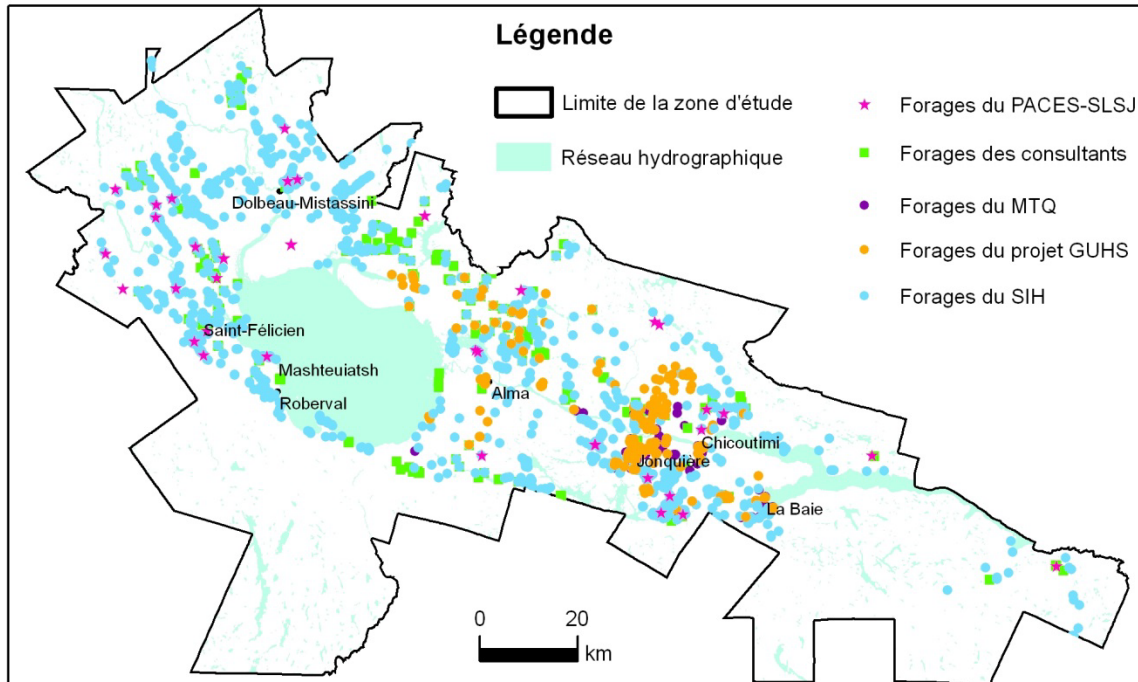


Figure 3-28 : Localisation des points de contrôle indépendants de l'interpolation utilisés pour la 2^e validation.

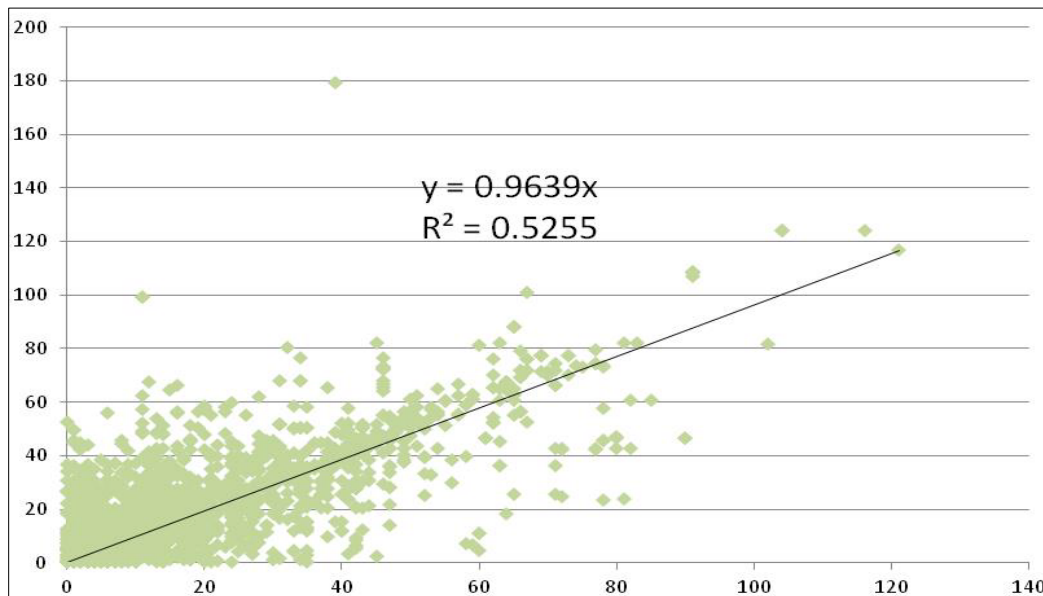


Figure 3-29 - Validation croisée des résultats d'interpolation au droit des points de contrôle indépendants de la 2^e validation croisée.

Résultats

La **carte #15 (a) – Épaisseur des dépôts meubles** (Annexe 1) est présentée selon dix quantiles d'épaisseur. Les forages virtuels et les affleurements utilisés lors de l'interpolation sont aussi présentés sur la carte. De plus, elle est accompagnée de la **carte #15 (b) – Erreurs sur l'épaisseur des dépôts meubles** (Annexe 1).

Lorsque les dépôts sont présents (généralement dans les basses terres), ils ont communément des épaisseurs supérieures à 25 m. Les plus grandes accumulations sont situées au nord et au nord-ouest du lac Saint-Jean où dominent les sédiments glaciomarins d'origine deltaïque. La **carte #15 (a) – Épaisseur des dépôts meubles** (Annexe 1) met en lumière l'association spatiale entre les grandes rivières de la région (Ashpamushuan, Mistassini, Péribonka, Shipshaw et À Mars) et les plus fortes accumulations de dépôts (jusqu'à 180 m au sud de la rivière Péribonka). De plus, les limites du Graben du Saguenay, particulièrement au sud, sont bien marquées par des accumulations de 55 m et plus. Un exemple est donné par la forme rectiligne à l'ouest du lac Kénogami, qui suit l'axe du graben. Aussi, les épandages fluvioglaciaires décrits par Lasalle et Tremblay (1978) sont bien marqués (présenté en introduction à ce rapport), comme dans le secteur Sainte-Monique et Saint-Ludger-de-Milot où se dessine une bande kilométrique d'environ 2 km de large et d'orientation nord-ouest/sud-est.

Malgré les efforts déployés à la réalisation de cette carte, l'information qu'elle présente est sujette à amélioration. Aussi, certains effets négatifs de l'interpolation ont été constatés, notamment à l'embouchure de la rivière Mistassini dans le lac Saint-Jean, au bout de la Pointe Vauvert. La carte indique une faible épaisseur de dépôts, ce qui a priori est en contradiction avec l'environnement géologique à cet endroit (grands paléo-deltas). Aussi, la Pointe-Taillon apparaît dominée par des épaisseurs de dépôts meubles supérieures à 55m, ce qui n'est validé par aucune coupe. Dans ce cas, il s'agit principalement de l'effet de l'interpolation.

La méthode proposée (coupe stratigraphique, forages virtuels et interpolation) repose sur la quantité et la répartition des données utiles à l'interpolation. Elle réussit relativement bien à pallier l'insuffisance des données dans les basses terres et améliore leur répartition spatiale, et elle offre un premier aperçu global de l'épaisseur des dépôts de surface. Toutefois, les valeurs obtenues par cette méthode ne remplaceront jamais une prise de donnée directe sur le terrain.

3.3.2 Topographie du roc

Les données sources, leur traitement et les résultats obtenus pour l'estimation de la topographie du roc sont discutés dans cette section. Le détail de la méthode de création de la carte de topographie du roc est présenté dans un protocole (protocole P6).

Données sources

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

- l'élévation de la surface du terrain (MNA, présenté en introduction au rapport);
- les résultats de l'interpolation de l'épaisseur des dépôts meubles (présentés à la section précédente);
- les affleurements (présentés à la section précédente);
- des données ponctuelles possédant une élévation du roc (forages et autres sondages; présentés à la section précédente);
- les discontinuités majeures du socle rocheux (section 3.1.1).

Traitement des données

La courbe d'élévation de 200 mètres a été utilisée pour distinguer les deux domaines d'interpolation. Deux approches ont été utilisées pour évaluer la surface topographique du roc. Elles présentent chacune des avantages et des inconvénients, c'est pourquoi les deux résultats sont présentés ici.

Méthode par krigeage

La première approche (**carte #16 (a) – Topographie du socle rocheux par krigeage**; Annexe 1) se base sur la connaissance de l'épaisseur des dépôts de surface établie par une interpolation utilisant le krigeage (section précédente). 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 rocheux. Ceci est vrai 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 de l'erreur du MNA (+/-10 m), peuvent localement générer des aberrations.

Méthode du réseau triangulaire irrégulier (TIN ³⁸)

Une deuxième approche (**carte #16 (b) – Topographie du socle rocheux par la méthode TIN**; Annexe 1) a été réalisée en utilisant la méthode du réseau triangulaire irrégulier (TIN). Cette méthode permet la création de facettes triangulaires entre les points interpolés. Chaque triangle est le plus petit possible tout en respectant les conditions de Delaunay³⁹. L'équation du plan de chacune des facettes permet d'attribuer par interpolation une élévation en tous points de la zone d'étude. La taille des triangles est fonction de la quantité et de la proximité des données à interpoler. Plus les triangles sont petits, plus l'interpolation est précise. Avec cette approche, seuls les affleurements, les forages virtuels et les discontinuités du socle rocheux sont considérés.

Comparaison des résultats obtenus avec les deux méthodes

En comparant les résultats des deux méthodes, il ressort que le krigeage tend à lisser les variations d'élévation entre 2 points. Le comportement de la surface interpolée sera alors considéré représentatif pour des variations douces de la topographie, ce qui est souvent le cas lorsque cette dernière est contrôlée par les dépôts de surface (comme au nord-ouest du lac Saint-Jean). Toutefois, quelques aberrations peuvent ressortir localement, notamment aux endroits où les variations de la topographie du roc sont abruptes. Un exemple est donné le long de la rivière Shipshaw où la surface interpolée exprime des variations appartenant aux dépôts meubles au lieu de la réelle topographie du roc.

A l'opposé, la méthode TIN interpole de façon linéaire et son résultat est une simplification qui permet d'éviter certaines aberrations locales et tient compte des variations brutales de la topographie du roc, mais en générant des artéfacts triangulaires qui nuisent à l'esthétique du résultat.

³⁸ Triangulated Irregular network

³⁹ Tous les cercles circonscrits des triangles du réseau doivent être vides

Résultats

Les **cartes #16 (a)** et **#16 (b)** présentent l'élévation du toit du roc avec un dégradé de couleur représentant des valeurs classées selon dix quantiles d'élévation. La présentation des particularités régionales se rapporte aux observations tirées de la carte d'épaisseur des dépôts de surface (**carte #15**) présentées à la section précédente.

3.3.3 Limites et améliorations

Un élément important à considérer est la présence de vallées topographiques du roc masquées sous la couverture de dépôt. Ces vallées sont le reflet de la fracturation tardive qui affecte le socle rocheux. Elles possèdent plusieurs orientations à l'image de ce qui est observé dans les hautes terres, mais les vallées ayant une orientation nord-est à nord-sud sont plus susceptibles d'avoir subi le surcreusement lors du passage du glacier. La présence de ces vallées peut localement expliquer les variations abruptes d'épaisseur de dépôts. Une méthode qui pourrait prendre en compte la trace des linéaments interprétés sous la couverture de dépôts meubles permettrait de produire un rendu plus réaliste localement pour représenter l'épaisseur de dépôt. Cette situation représente le plus grand défi pour la modélisation. Sans l'aide de points de contrôle bien répartis et relativement denses permettant de calculer l'épaisseur de dépôts, une modalisation réaliste devient presque impossible.

L'épaisseur des dépôts présente une grande variabilité spatiale. Ces variations sont naturelles et sont fonction en partie de la topographie du roc, qui, dans le contexte du SLSJ, présente un comportement chaotique et difficile à modéliser. Il est évident qu'une augmentation du nombre de coupes permettant de générer une maille de points plus dense serait la solution pour mieux représenter les variations locales.

3.4 Limites des milieux aquifères régionaux

Le territoire visé par le PACES-SLSJ présente deux grands milieux aquifères à l'échelle régionale : le roc fracturé et les dépôts quaternaires. Ces milieux ont été subdivisés afin de faire ressortir des particularités hydrogéologiques propres à chacun.

Aussi, le roc fracturé correspond aux milieux aquifères de roc sédimentaire et de roc cristallin (section 3.1.1). Leurs limites sont directement données par la carte géologique élaborée dans le cadre du PACES-SLSJ. Le résultat du groupement des différentes unités de roc qui composent chacun de ces milieux est présenté à la **carte #18 (a) – Limite des milieux aquifères régionaux de type roc fracturé** (Annexe 1). Avec les grands éléments structuraux de la région, cette carte correspond aux principaux milieux aquifères régionaux de roc fracturé.

Le cadre stratigraphique régional (épaisseur des dépôts meubles et topographie du roc; section 3.3) montre que le roc est communément recouvert d'importantes accumulations de dépôts meubles, notamment dans les basses terres. Les cartes de dépôts de surface permettent de délimiter les principaux milieux aquifères en surface (Figure 3-30). Aussi, en se basant sur les travaux de forage réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ (section 3.2.1), les unités sédimentaires qui composent les dépôts meubles de la région ont été groupées selon leur granulométrie (sédiments fins, sables ou gravier) et leur position par rapport à l'unité d'argile de la mer Laflamme (section 3.2.2).

La création de coupes stratigraphiques (section 3.2.3) a révélé la présence de milieux aquifères granulaires enfouis en plusieurs endroits de la région sous une couche de matériau à grains fins relativement imperméables. L'intégration des données de stratigraphie par leur interprétation en coupe permet d'ajouter une verticalité aux limites horizontales des entités hydrogéologiques. L'introduction de cette verticalité permet d'évaluer l'étendue réelle et la superposition des milieux aquifères en fonction de la stratigraphie des dépôts. Cette étape constitue le véritable défi de la délimitation des milieux aquifères régionaux de dépôts granulaires. Les étapes pour y arriver sont présentées aux sections suivantes.

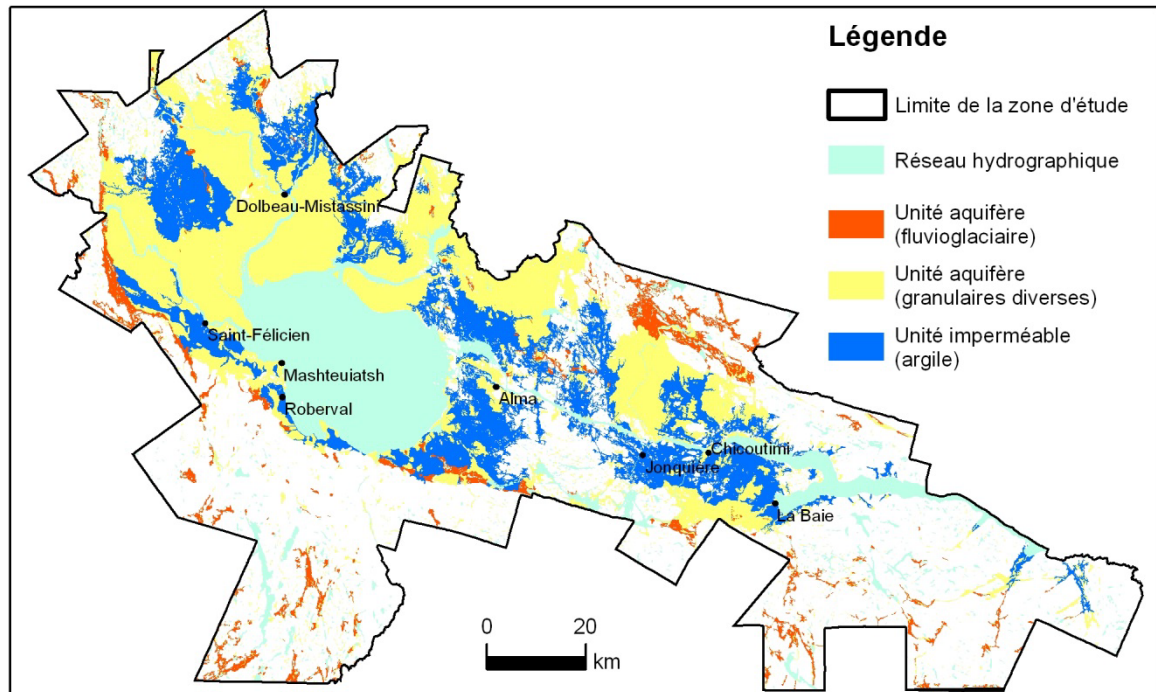


Figure 3-30: Délimitation en surface des milieux aquifères régionaux de type granulaire groupés en 3 unités stratigraphiques simplifiées.

3.4.1 Intégration en plan des données de stratigraphie des dépôts de surface

Les entités hydrogéologiques concernées par cette phase d'interprétation sont les milieux aquifères d'origine fluvio-glaciaire et les unités imperméables constituées des argiles de la mer Laflamme. Ces entités hydrogéologiques peuvent se localiser sous de grandes zones de recouvrement (superposition) et l'interprétation de leurs étendues sous la surface est réalisée à partir de la compilation des données existantes.

Données sources

La Figure 3-31 présente les données utiles à la délimitation en plan des milieux enfouis. Pour les milieux fluvio-glaciaires, les données sources sont :

- les forages interceptant des horizons fluvio-glaciaires (base de données spatiales);
- les interprétations existantes (zones de vêlage décrites par Lasalle et Tremblay, 1978, présentées en introduction);

- les coupes stratigraphiques réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ (section 3.2.3);
- les horizons fluvioglaciaires affleurant (Figure 3-30).

Pour les unités de sédiments fins (argile et silt de la mer Laflamme), les données sources sont :

- les forages interceptant des horizons d'argile (base de données spatiales);
- les coupes stratigraphiques réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ (section 3.2.3);
- les horizons d'argile affleurant (Figure 3-30).

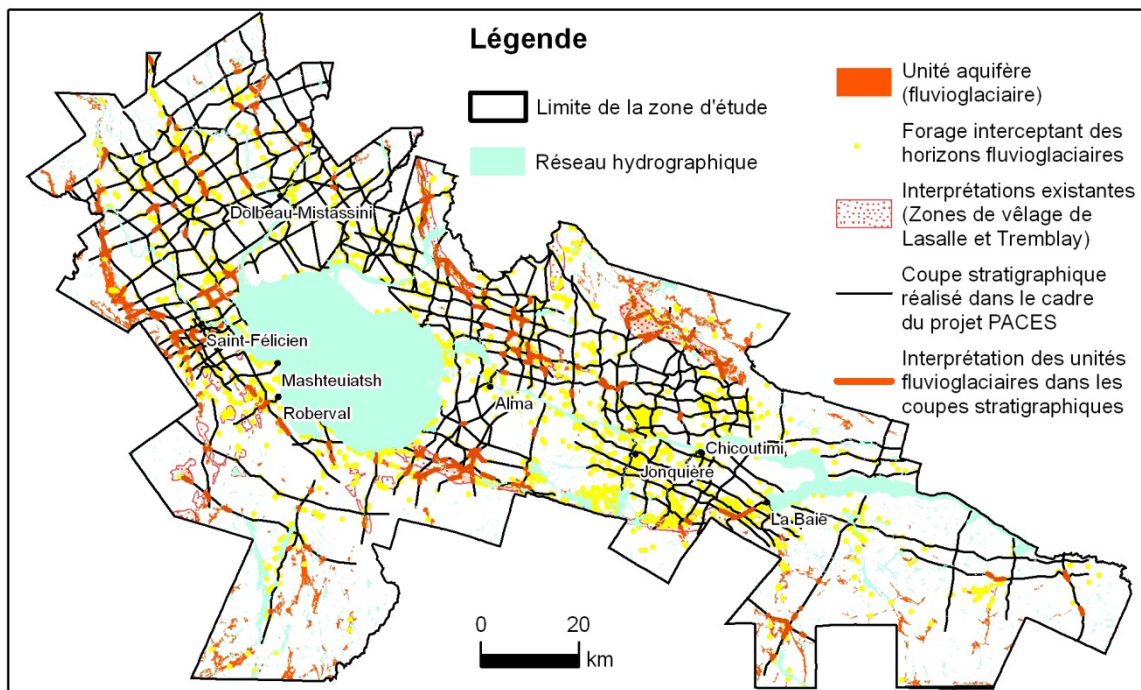


Figure 3-31: Compilation des données existantes (cas des milieux aquifères fluvioglaciaires).

Ensuite, l'interprétation des milieux aquifères est effectuée localement par redéfinition des limites (Figure 3-32). Cette étape est réalisée considérant les interprétations tirées des coupes stratigraphiques. Les limites interprétées regroupent, pour chaque milieu aquifère, les horizons interceptés en coupes, en forage(s) et à l'affleurement. L'ensemble des limites ainsi redéfinies est ensuite compilé pour toute la région SLSJ pour un type d'aquifère donné (Figure 3-33).

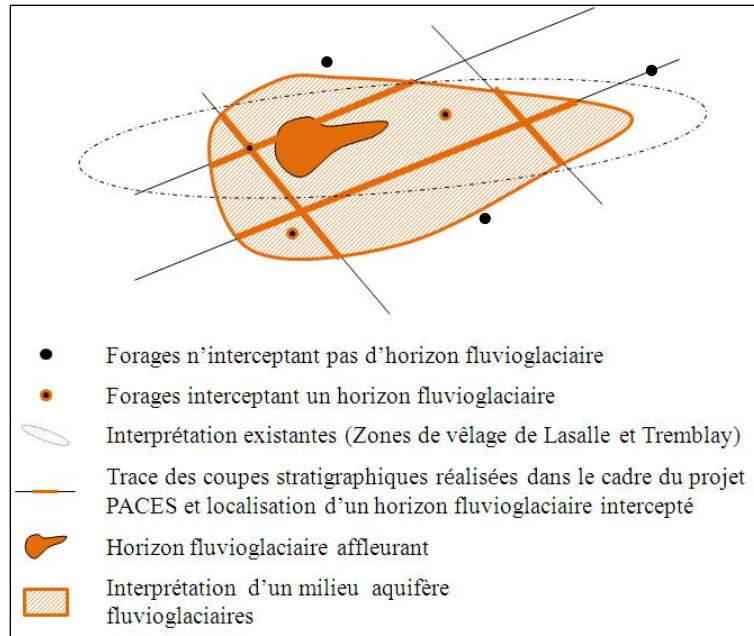


Figure 3-32 - Interprétations locales.

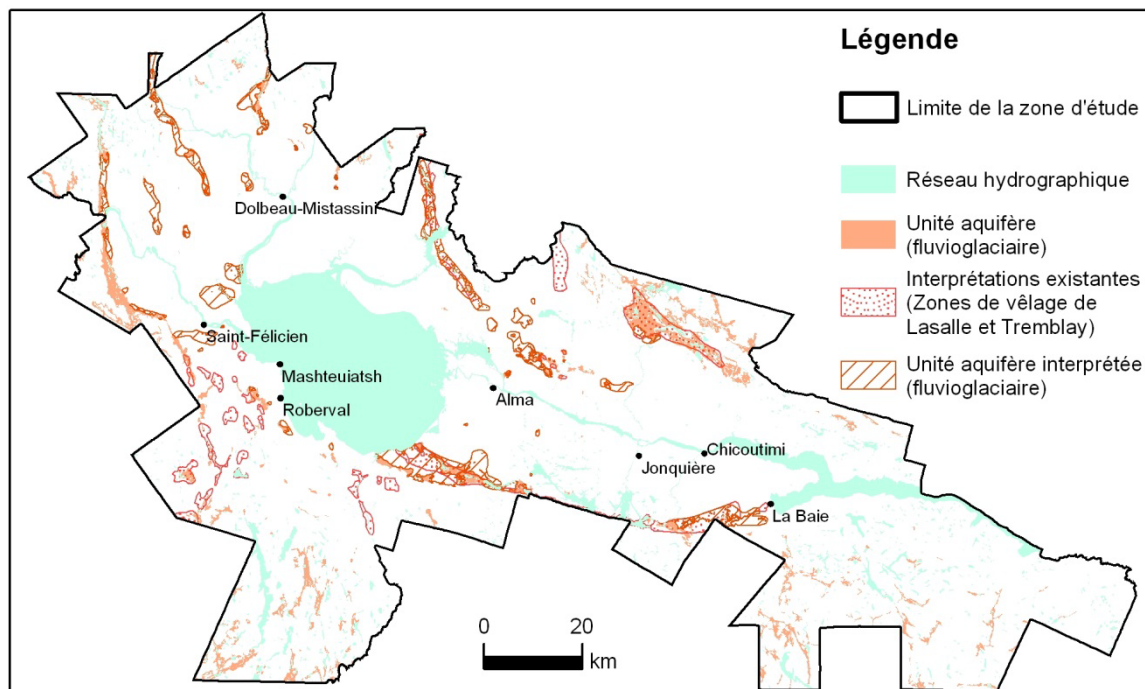


Figure 3-33 - Compilation régionale des milieux aquifères présumés.

3.4.2 Résultats

Une reclassification et des interprétations ont donc été nécessaires pour définir les limites régionales des aquifères potentiels du SLSJ. La compilation cartographique de ces traitements est présentée à la **carte #18 (b) – Limite des milieux aquifères régionaux de type granulaire** (Annexe 1).

L'emploi de trames hachurées et pointillées permet de représenter, respectivement :

- les unités de sédiments fins considérées imperméables (argile et silt de la mer Laflamme) interprétées sous d'autres dépôts;
- les milieux aquifères fluvioglaciaires interprétés sous d'autres dépôts.

La **carte #18 (b) – Limite des milieux aquifères régionaux de type granulaire** (Annexe 1) permet d'introduire les notions de nappe confinée et de nappe libre. Leur définition vient de la position des unités sédimentaires granulaires considérées perméables (composées de sables et de graviers) par rapport à l'unité de sédiments fins (argile et silts de la mer Laflamme) considérée imperméable.

Milieux aquifères fluvioglaciaires

Dans la région, les nappes confinées les plus courantes sont constituées des milieux aquifères fluvioglaciaires présents sous les sédiments fins. Ces milieux sont susceptibles de contenir des quantités appréciables d'eau présentant généralement des conditions artésiennes. La **carte #18 (b) – Limite des milieux aquifères régionaux de type granulaire** (Annexe 1) permet d'identifier des zones potentielles pouvant présenter de telles nappes. C'est le cas notamment le long du mur sud du graben, aux deux extrémités du lac Kénogami, où s'étend une bande de plusieurs kilomètres de large constituée de sédiments fluvioglaciaires confinés par les sédiments fins de la mer Laflamme. À ces endroits, les sédiments fluvioglaciaires affleurent parfois et constitue la nappe libre pouvant accueillir une recharge préférentielle (chapitre 4). Leur connexion hydraulique avec les milieux confinés est présumée. Des nappes confinées du même type sont aussi interprétées le long d'une bande approximativement nord-sud présentant une largeur interprétée d'un ou deux kilomètres et qui s'étend de la municipalité de Sainte-Monique à celle de Saint-Ludger-de-Milot; ainsi que le long d'une bande de même dimension, orientée nord-ouest/sud-est, située à l'extrémité nord-ouest du territoire municipalisé. Les étendues latérales de ces milieux sont approximatives et leur continuité est peu certaine étant donné le peu d'information disponible. Leurs épaisseurs peuvent être interprétées des coupes stratigraphiques produites dans le cadre du PACES-SLSJ (section 3.2.3). Enfin, des contextes de nappes confinées peuvent aussi être retrouvés ailleurs dans la région, comme par exemple dans le secteur de Saint-Méthode (site S35) où un forage du PACES-SLSJ a intercepté une vingtaine de mètres de sédiments apparemment d'origine fluvioglaciaire, sous des dépôts de matériau fin (section 3.2.1).

Milieux aquifères granulaires d'origine deltaïque (sables hétérogènes)

Il arrive qu'un aquifère confiné par une couche d'argile soit présumée sous l'unité de sable superficielle composée de sable hétérogène d'origine glaciomarine deltaïque. Dans ce cas, la probabilité de retrouver deux nappes d'eau distinctes est augmentée, la couche de sédiments fins agissant alors comme une barrière hydraulique aux écoulements verticaux et aux mélanges d'eaux contenues dans les deux milieux aquifères. La plupart des milieux confinés décrits précédemment présentent en partie des contextes favorables à l'existence de plusieurs nappes. La présence de tels environnements dans la région est aussi renforcée par les observations de terrain décrites à la section 3.2.1, notamment à Saint-Ludger-de-Milot (site S16) et à Saint-Méthode (site S35).

Milieux aquifères de roc fracturé

Pour compléter le portrait des milieux aquifères régionaux et de leurs conditions hydrogéologiques, le roc doit être considéré (**carte #18 (a) – Limite des milieux aquifères régionaux de type roc fracturé**; Annexe 1). Dans bien des cas, l'unité de till agit comme les sédiments fins de la mer Laflamme et confine le roc calcaire ou cristallin (secteur Vauvert, site S104). Parfois, l'argile repose directement sur le roc (secteur Labrecque, site S24). Lorsque les sédiments fluvioglaciers affleurent, ils reposent possiblement sur un niveau de till (secteur Saint-David-de-Falardeau, site S18) ou sur le roc. Ce roc peut être de nature cristalline (secteur Saint-Eugène-d'Argentenay, site S103) ou calcaire (secteur Métabetchouan-Lac-à-La-Croix, site S6). Dans ce dernier cas, des connexions hydrauliques entre le roc et le granulaire sont fortement présumées (travaux de Sandra Richard, Ph.D. en cours; et d'Annie-Pier Elliott, M.Sc.A. en cours).

Modèles conceptuels régionaux (coupe stratigraphique schématique et bloc diagramme)

Les colonnes stratigraphiques schématiques des sites investigués lors des travaux de terrain du PACES-SLSJ présentées à la section 3.2.2 sont reprises et placées sur une coupe stratigraphique conceptuelle des contextes hydrogéologiques de la région (Figure 3-34). Cette dernière illustre l'ensemble des combinaisons stratigraphiques tenant compte de l'âge relatif des unités sédimentaires simplifiées (till, fluvioglacière, argile et sable hétérogène), des types de roc (roc calcaire et cristallin) et des cartes de dépôts de surface.

Pour finir, un modèle conceptuel tridimensionnel de la région (Figure 3-35) a été construit en tenant compte des informations hydrogéologiques collectées dans le cadre du PACES-SLSJ et présentées dans ce chapitre. On y reconnaît la dépression du Graben du Saguenay. Il est traversée par le seuil de Kénogami et dominé par les argiles de la mer Laflamme, les grandes plaines deltaïques jouxtant les principales rivières de la région, et les sédiments fluvioglaciers affleurant ou confinés par les argiles, de même que les principaux milieux aquifères de roc fracturé. Ces derniers composent le substratum rocheux de la région et sont composés de roches sédimentaires ou cristallines, présentes en surface ou sous les dépôts meubles.

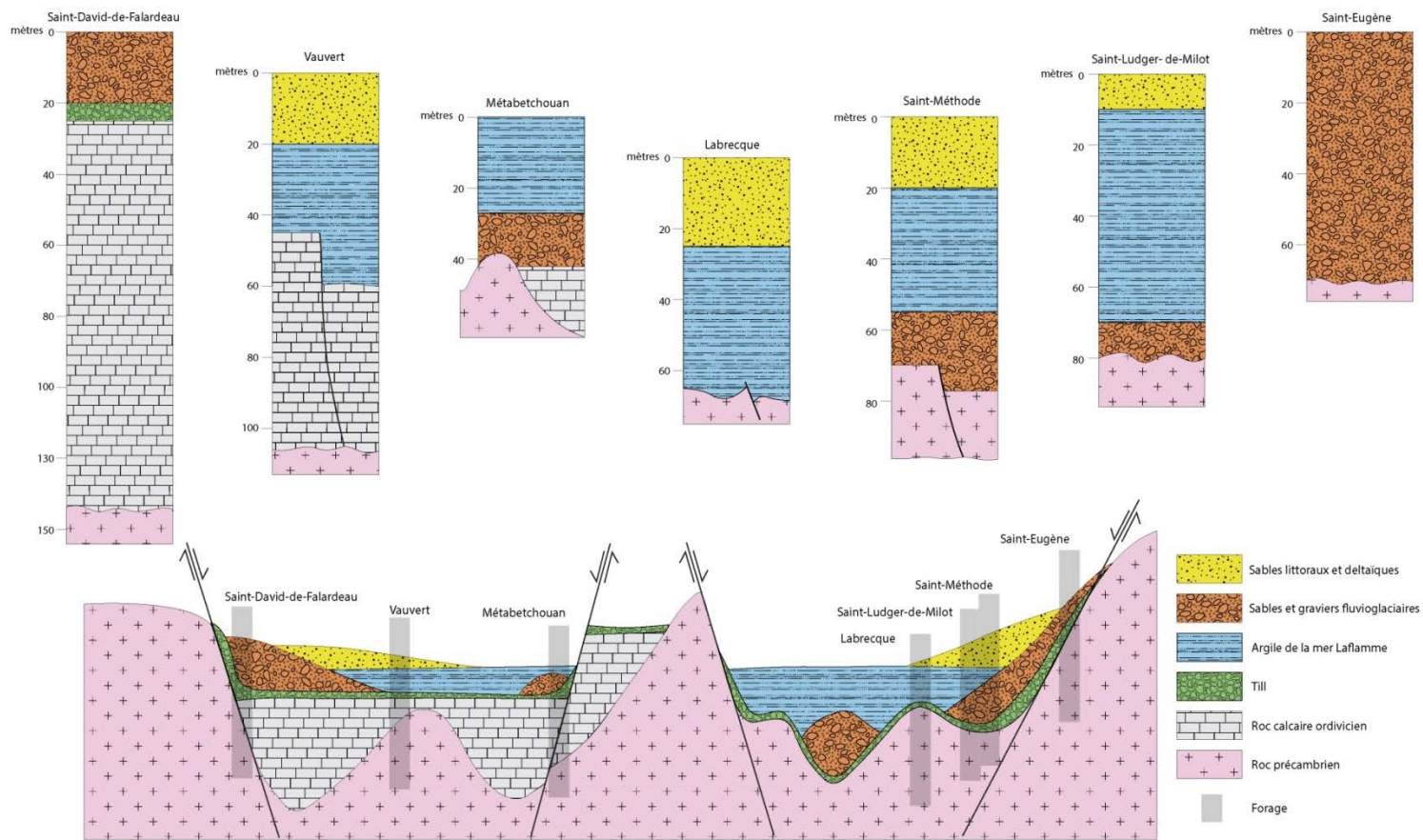


Figure 3-34: Coupe conceptuelle des contextes aquifères régionaux créée à partir des informations collectées lors des travaux de terrain du PACES-SLSJ, des coupes stratigraphiques et des cartes géologiques.

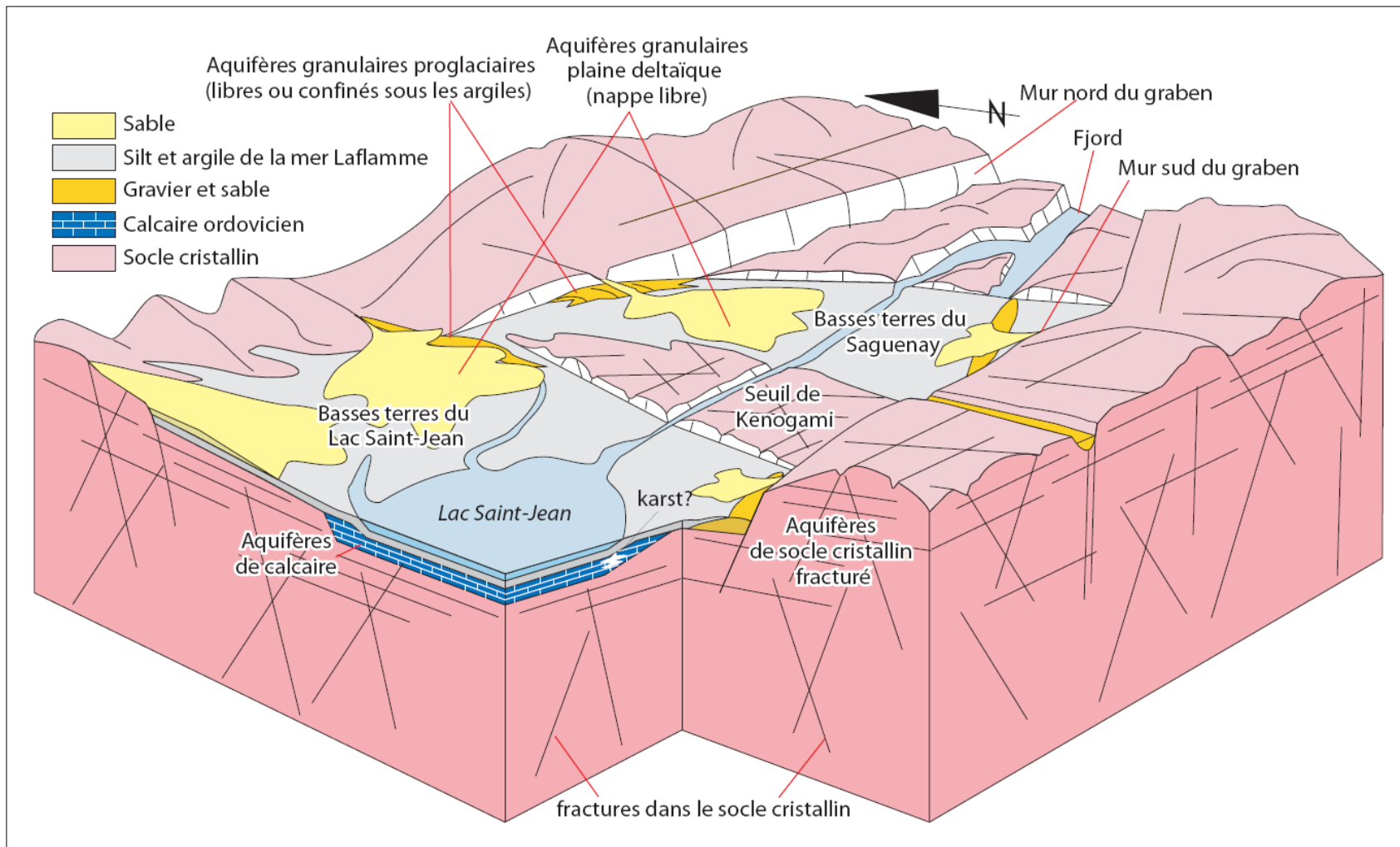


Figure 3-35 : Bloc diagramme conceptuel des milieux aquifères du SLSJ.

4 CARACTÉRISTIQUES DES AQUIFÈRES ET DES EAUX SOUTERRAINES

Tel que discuté dans le chapitre précédent, au moins quatre grands milieux aquifères sont identifiés dans la région du SLSJ. Parmi eux, on trouve les milieux aquifères granulaires composés des sédiments fluvioglaciaires et des sables hétérogènes d'origine deltaïque, et les milieux aquifères de roc fracturé composés des roches cristallines et calcaires. Chaque milieu a été défini de manière qualitative sur la base du *contenant* des eaux souterraines. Les caractéristiques physiques distinctes de ces environnements peuvent maintenant être précisées d'un point de vue quantitatif, en faisant intervenir des notions de propriétés hydrauliques (section 4.1) et de piézométrie régionale (section 4.2). Ces paramètres permettent notamment de déterminer des zones de recharge aux réservoirs d'eau souterraine, et de résurgence (section 4.3), et permettent d'introduire les concepts d'écoulement de l'eau souterraine. L'ensemble de ces paramètres correspond aux conditions hydrogéologiques régionales qui sont illustrées schématiquement à la Figure 4-1. La connaissance des conditions hydrogéologiques régionales contribue notamment à la mise en contexte de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination (section 4.4) qui, couplée avec les activités anthropiques présentes sur le territoire (section 4.5), permet de délimiter des secteurs où des études locales seront nécessaires pour évaluer un risque potentiel de contamination.

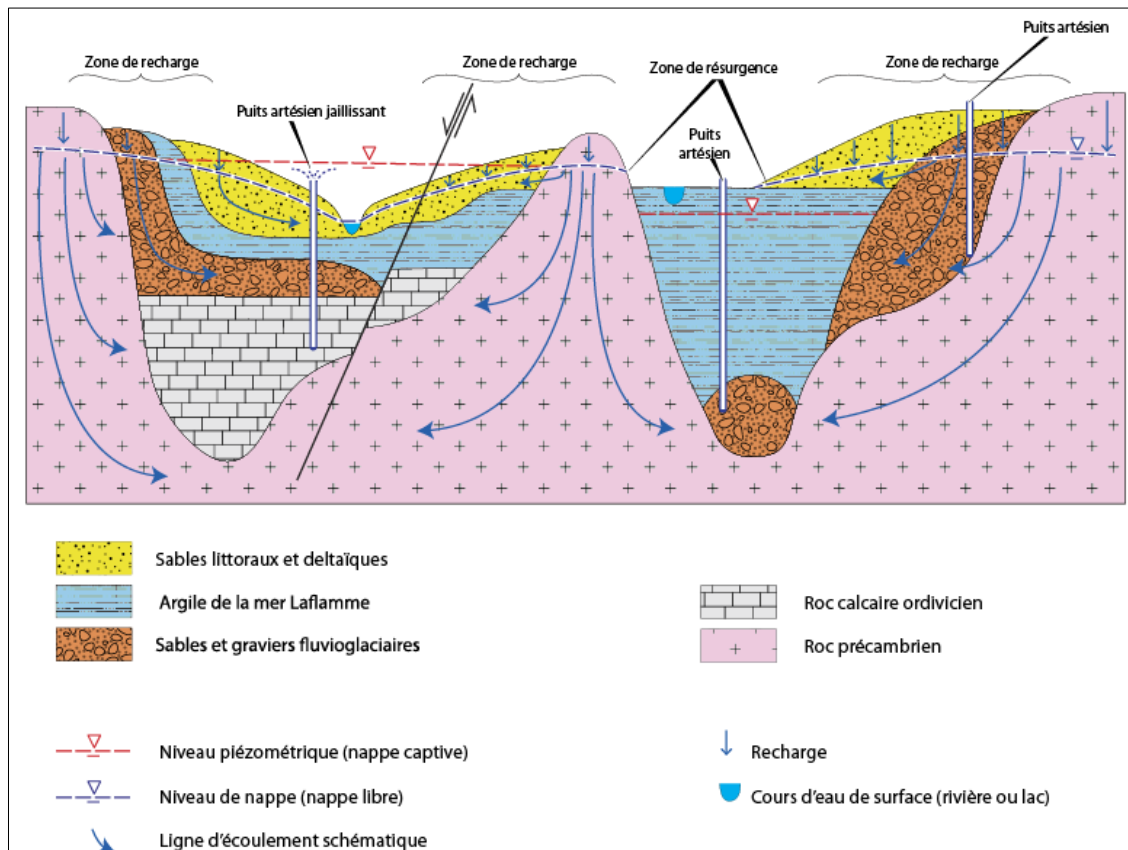


Figure 4-1 : Coupe conceptuelle des conditions hydrogéologiques régionales illustrant les zones de recharge et de résurgence théoriques, les lignes d'écoulements schématiques de l'eau souterraine et les cas de nappes libres et confinées pouvant conduire localement à des conditions artésiennes.

4.1 Propriétés hydrauliques

Les propriétés hydrauliques caractérisent de façon quantitative les écoulements souterrains. Elles dépendent à la fois des propriétés du fluide, en l'occurrence l'eau, et des propriétés physiques du milieu permettant l'emmagasinement et l'écoulement de l'eau. Deux notions fondamentales doivent d'abord être introduites : la porosité et la perméabilité. Ainsi, la quantité d'eau présente dans le milieu dépend principalement du nombre et de la taille des pores qui se distinguent en deux catégories (Figure 4-2) : la porosité primaire correspond aux vides entre les grains ou les cristaux constituant le milieu aquifère, soit les grains ou les cristaux ; la porosité secondaire correspond aux vides induits par la fracturation ou la karstification d'un milieu rocheux. La perméabilité est un facteur important dans le contrôle de l'écoulement souterrain. Ainsi, dans un milieu poreux, c'est la connexion entre les pores et la taille de ces derniers qui contrôle la perméabilité. Dans un milieu fracturé, l'écoulement est contrôlé par l'ouverture des fractures mais également par la densité du réseau de fractures, l'orientation des jeux des fractures et la longueur des fractures (Bradbury et Muldoon, 1994).

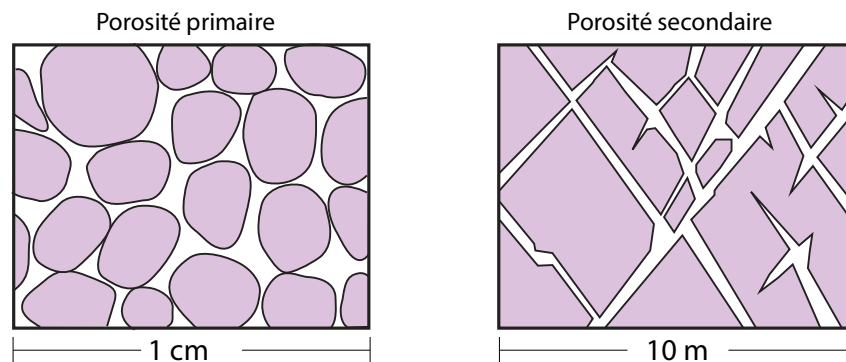


Figure 4-2 : Schémas montrant la porosité primaire et la porosité secondaire ; la taille du domaine représenté est de l'ordre du cm pour la porosité primaire et du m^x10 pour la porosité secondaire (modifiée de Banton et Bangoy, 1999).

Selon la facilité avec laquelle l'eau circule dans le milieu, ce dernier est caractérisé comme étant un aquifère, un aquitard ou un aquiclude :

- Un aquifère est un milieu poreux perméable pouvant contenir une quantité appréciable d'eau et permettre son écoulement pour que la ressource puisse être exploitée de façon économique, par exemple un aquifère granulaire exploité par une municipalité pour l'alimentation en eau potable ;
- Un aquitard est un milieu poreux peu perméable, par exemple un silt argileux ;
- Un aquiclude est un milieu très peu perméable.

Dans le cadre du PACES-SLSJ, les propriétés hydrauliques sont estimées pour des aquifères et des aquitards correspondant à des milieux poreux et fracturés. Les propriétés les plus souvent estimées sont :

- la conductivité hydraulique (K) qui définit la capacité d'un milieu à laisser circuler l'eau ; elle s'exprime en longueur par unité de temps (L/T), dans le cadre du PACES-SLSJ l'unité mètre par seconde (m/s) est privilégiée ;

- la transmissivité (T) qui correspond au produit de la conductivité hydraulique par l'épaisseur de l'aquifère ; elle s'exprime en surface par unité de temps (L^2/T), dans le cadre du PACES-SLSJ l'unité m^2/s a été utilisée ;
- le coefficient d'emmagasinement (S) qui résulte du produit du coefficient d'emmagasinement spécifique (S_s), qui correspond à la capacité de l'aquifère à libérer l'eau lors d'un abaissement de la pression dans la nappe, et de l'épaisseur de l'aquifère ; ce coefficient est adimensionnel.

4.1.1 Types de données disponibles

Dans le cadre du PACES-SLSJ, les propriétés hydrauliques sont estimées à partir d'essais *in situ* et de méthodes empiriques. Le nombre de valeurs de propriétés hydrauliques estimées à partir de chacune des méthodes est présenté au Tableau 4—1. L'ensemble des données sont intégrées à la base de données spatiales du PACES-SLSJ, à l'exception de celles de Vigneault (2012) qui ont été produites tard dans l'élaboration des livrables du PACES-SLSJ mais qui pourront être ajoutées à la base de données dans une phase ultérieure.

Tableau 4—1 : Nombre de données disponibles par type d'aquifère selon les différentes méthodes d'estimation des propriétés hydrauliques

PROPRIETES HYDRAULIQUES	NOMBRE TOTAL	AQUIFERE FRACTURE	AQUIFERE GRANULAIRE
Essais de pompage (PACES-SLSJ)⁴⁰			
Transmissivité (m^2/s)	240	85	155
Conductivité hydraulique (m/s)	122	16	106
Emmagasinement	100	14	86
Capacité spécifique disponible dans le SIH⁴¹			
Transmissivité (m^2/s)	1 458	1 279	179
Méthode empirique – granulométrie⁴²			
Conductivité hydraulique (m/s)	24	NA	24

Essais de pompage

Les propriétés hydrauliques provenant de l'analyse d'essais de pompage et de remontée résultent du pompage effectué dans le cadre du PACES-SLSJ au cours de la campagne de prélèvement d'échantillons d'eau souterraine pour l'analyse de la qualité (Elliott, 2010 ; Richard, 2011 ; Vigneault, 2012).

Plusieurs données proviennent également de rapports d'étude hydrogéologique effectuée par des experts en hydrogéologie, pratiquant principalement en entreprise privée, et réalisée principalement pour le bénéfice de municipalités pour leur alimentation en eau potable. Ces données n'ont pas été analysées par l'équipe PACES-SLSJ, elles ont été numérisées à partir des rapports et directement intégrées à la base de données spatiales.

⁴⁰ Elliott, 2010 ; Richard et al., 2011 ; Vigneault, 2012 ; et rapports de consultants provenant des municipalités

⁴¹ Richard et al., 2011 ; Richard et al., article soumis

⁴² Baudement, 2011

Capacité spécifique

Une autre série de valeurs de propriété hydraulique ont été calculées à partir de valeurs de capacité spécifique provenant principalement du Système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEFP (chapitre 2). Par ces travaux, Richard et al. (2011) ont valorisé un grand nombre de données provenant du SIH, ce qui a permis d'augmenter considérablement le nombre de valeurs de transmissivité sur l'ensemble du territoire du SLSJ.

Méthode empirique – analyses granulométriques

Les valeurs de propriétés hydrauliques obtenues par méthodes empiriques à partir d'analyses granulométriques (Baudement, 2011) ont servi à réaliser une analyse comparative des valeurs de conductivité hydraulique obtenues par différentes méthodes. Dans cette étude, trois méthodes permettant d'estimer les propriétés hydrauliques à différentes échelles (essai de pompage, essai de perméabilité, formules empiriques) ont été appliquées avec les données provenant de 4 sites où sont actuellement exploitée l'eau souterraine à des fins d'alimentation en eau potable. L'étude de Baudement (2011) démontre que les effets d'échelle sont davantage associés au degré d'homogénéité de l'aquifère testé plutôt qu'aux types d'essais.

4.1.2 Sélection des données

Les principaux traitements ont été effectués sur les données d'essais de pompage provenant du PACES-SLSJ et des rapports de consultants. Des données ont été supprimées, d'autres ont été simplifiées.

Données supprimées

Certaines données ont été jugées non représentatives du milieu aquifère, notamment les données obtenues suite à l'analyse d'essais de pompage simultanés, d'essais de pompage suivant la réhabilitation d'un puits et suivant le développement ou le redéveloppement d'un puits. Les deux derniers cas donnent de l'information sur la capacité spécifique qui caractérise davantage l'ouvrage de captage que l'aquifère. De plus, les données pour lesquelles il n'y a pas d'information sur le type de milieu aquifère capté (roc fracturé ou dépôt granulaire) ont également été retirées.

Données simplifiées

Pour plusieurs puits d'observation, la base de données spatiales contient plus d'une valeur de transmissivité. Par conséquent, des moyennes arithmétiques de la transmissivité ont été estimées pour chaque puits d'observation afin de ne conserver qu'une seule valeur de transmissivité par puits. Aussi, les propriétés hydrauliques provenant de puits munis d'une crépine ont été attribuées à un milieu granulaire.

4.1.3 Traitement et principaux résultats statistiques

Pour chacun des types d'aquifères (roc fracturé et dépôt granulaire), les valeurs disponibles des propriétés hydrauliques (transmissivité, conductivité hydraulique et emmagasinement) sont présentées sous la forme des valeurs statistiques suivantes:

- minimum (min): la valeur la plus faible observée sur l'ensemble des données sélectionnées ;
- maximum (max): la valeur la plus élevée observée sur l'ensemble des données sélectionnées;
- premier quartile (Q1): 25% des données sélectionnées sont inférieures à cette valeur;
- médiane (médiane): 50% des données sélectionnées sont inférieures à cette valeur;
- troisième quartile (Q3): 75% des données sélectionnées sont inférieures à cette valeur;
- moyenne géométrique : les propriétés hydrauliques présentent communément une distribution statistique log-normale, dans ce cas, la moyenne géométrique s'applique.

Les valeurs de conductivité hydraulique et d'emmagasinement caractérisant les aquifères en milieu fracturé sont peu nombreuses, ainsi que les données obtenues à partir des méthodes empiriques pour les aquifères granulaires (Tableau 4—2). Par conséquent, l'ensemble de ces données ne seront pas utilisées à des fins statistiques. Elles restent disponibles dans la base de données PACES-SLSJ. Le traitement est donc réalisé avec les valeurs de transmissivité obtenues à partir de l'analyse d'essais de pompage (PACES-SLSJ et des rapports de consultants) et de la capacité spécifique disponibles dans la base de données du SIH (Richard et al., 2011;).

Statistiques des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés

Le Tableau 4—2 montre les données statistiques des valeurs de transmissivité des milieux fracturés. Le Figure 4-3 illustre ces données statistiques à l'aide de diagrammes en boîtes à moustaches (*box and whisker*).

Tableau 4—2 : Données statistiques sur les valeurs de transmissivité (m^2/s) des aquifères fracturés.

Provenance des données	Essais de pompage (PACES-SLSJ et rapports de consultants)	Capacité spécifique (SIH)
Min	$9,35 \times 10^{-7}$	$8,94 \times 10^{-8}$
Q1	$4,04 \times 10^{-6}$	$1,25 \times 10^{-5}$
Médiane	$1,28 \times 10^{-5}$	$3,82 \times 10^{-5}$
Moyenne géométrique	$2,1 \times 10^{-5}$	$4,25 \times 10^{-5}$
Q3	$1,57 \times 10^{-4}$	$1,55 \times 10^{-4}$
Max	$1,16 \times 10^{-3}$	$1,49 \times 10^{-2}$
Nombre	85	1 279

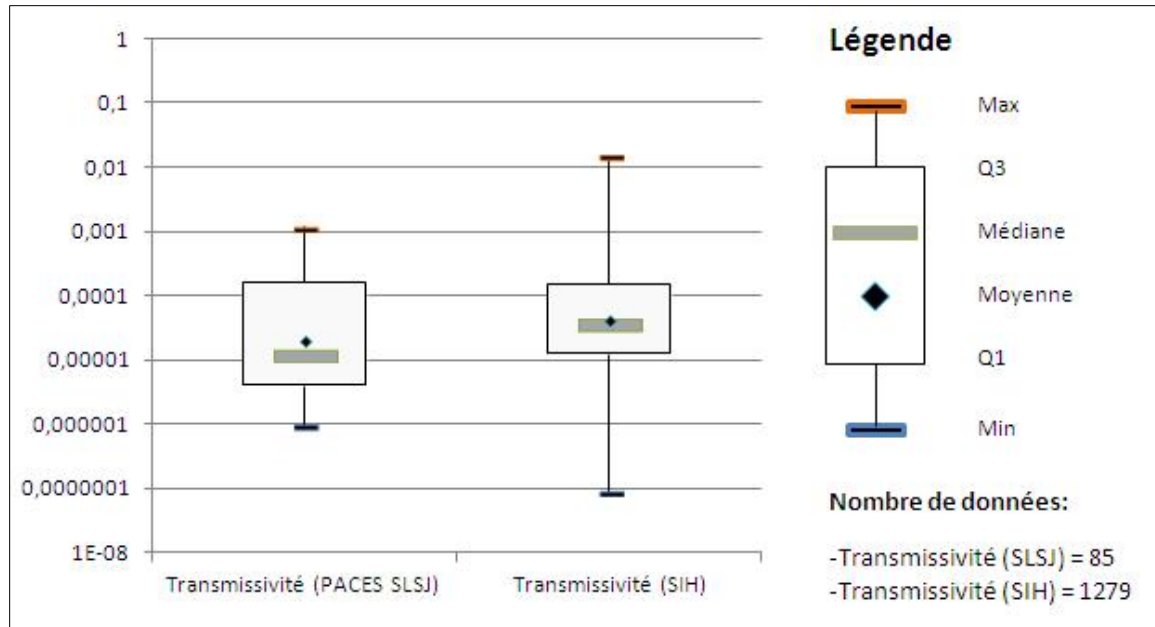


Figure 4-3: Boîtes à moustaches illustrant les données statistiques de la transmissivité (m^2/s) des aquifères fracturés.

Les valeurs extrêmes (max. et min.) calculées à partir de la capacité spécifique sont généralement un ordre de grandeur plus élevées ou plus faibles respectivement que celles obtenues par essais de pompage. Ceci peut notamment s'expliquer par un nombre de puits testés beaucoup plus faibles dans le cas des essais de pompage (85) en comparaison au nombre de puits considérés par la méthode de la capacité spécifique (1 279). Toutefois, les valeurs moyennes et médianes de la transmissivité sont du même ordre de grandeur. Elles indiquent que les aquifères fracturés du SLSJ ont un potentiel aquifère faible à moyen.

Statistiques des propriétés hydrauliques des aquifères granulaires

Le Tableau 4—3 montre les données statistiques des propriétés hydrauliques des milieux granulaires. Le Figure 4-4 illustre de façon schématique ces données statistiques à l'aide de diagrammes en boîtes à moustaches.

Les valeurs de transmissivité médianes et moyennes obtenues à partir des calculs de la capacité spécifique sont inférieures d'environ un ordre de grandeur aux valeurs obtenues par essais de pompage. Ce biais peut être attribué à la qualité de l'aquifère capté. En effet, les essais de pompage provenant des rapports de consultant, correspondent généralement à des puits implantés dans des secteurs sélectionnés et dont l'objectif consiste à capter le meilleur aquifère local pour une municipalité. Tandis que, les puits provenant du SIH correspondent dans plusieurs cas à des puits privés implantés sur des propriétés résidentielles pour l'alimentation en eau d'une famille. Les données de transmissivité et de conductivité hydraulique indiquent qu'en moyenne les aquifères granulaires du SLSJ ont un potentiel aquifère moyen à élevé.

Tableau 4—3 : Données statistiques sur les valeurs de propriétés hydrauliques des aquifères granulaires.

	Essais de pompage (PACES-SLSJ et rapports de consultants)			Capacité spécifique (SIH)
	Transmissivité m^2/s	Conductivité hydraulique m/s	Emmagasinement	Transmissivité m^2/s
Min	$7,14 \times 10^{-6}$	$7,21 \times 10^{-7}$	$6,32 \times 10^{-9}$	$4,3 \times 10^{-6}$
Q1	$3,79 \times 10^{-3}$	$2,41 \times 10^{-4}$	$1,15 \times 10^{-3}$	$1,66 \times 10^{-4}$
Médiane	$9,5 \times 10^{-3}$	$8,3 \times 10^{-4}$	$2,25 \times 10^{-2}$	$5,39 \times 10^{-4}$
Moyenne géométrique	$8,83 \times 10^{-3}$	$5,89 \times 10^{-4}$	$1,22 \times 10^{-2}$	$1,02 \times 10^{-3}$
Q3	$3,73 \times 10^{-2}$	$1,97 \times 10^{-3}$	0,172	$3,3 \times 10^{-3}$
Max	0,757	$3,05 \times 10^{-2}$	15,3	0,567
Nombre	155	106	86	179

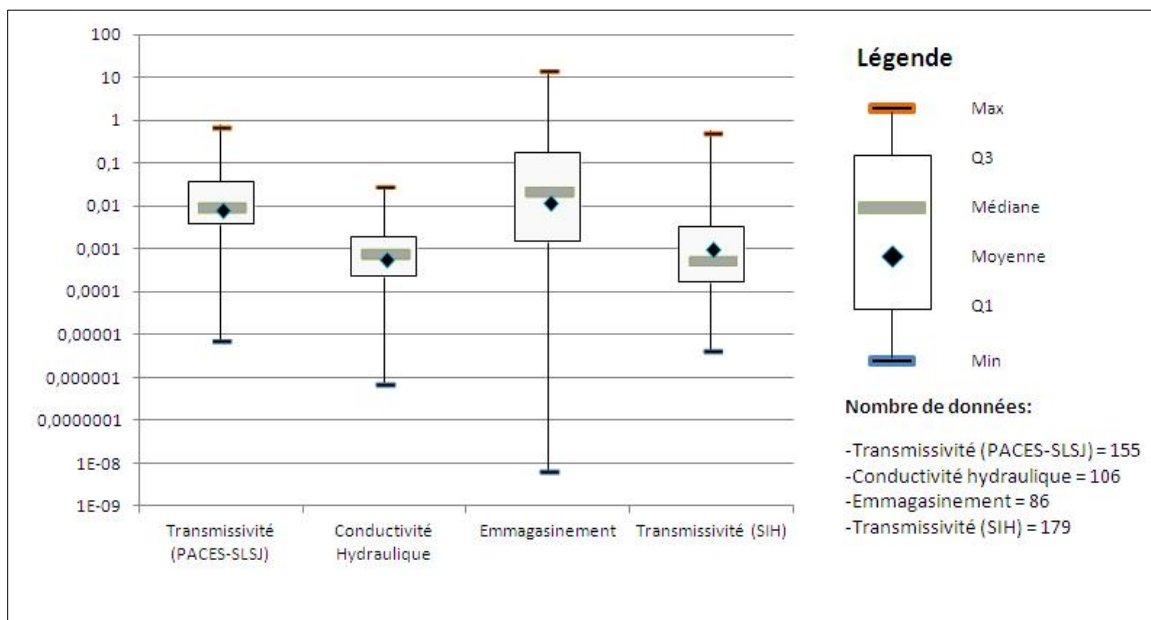


Figure 4-4 : Boîtes à moustaches illustrant les données statistiques des propriétés hydrauliques (transmissivité m^2/s , conductivité hydraulique m/s) des aquifères granulaires.

4.1.4 Synthèses des résultats et liens possibles avec les contextes géologiques

Les valeurs de transmissivité des aquifères fracturés ($\times 10^{-5} m^2/s$) présentées au Tableau 4—2 sont généralement inférieures de deux ordres de grandeur à celles caractérisant les aquifères granulaires ($\times 10^{-3} m^2/s$) présentées au Tableau 4—3. Le potentiel aquifère des milieux granulaires est de surcroît confirmé par leur exploitation à des fins d'alimentation en eau potable par la majorité des municipalités de la région. Aussi, les faibles valeurs moyennes de transmissivité du roc fracturé peuvent s'expliquer par le faible degré de fracturation de ces milieux. Plusieurs linéaments d'extension régionale ont été interprétés dans le cadre du PACES-SLSJ (chapitre 3). Toutefois, leur expression en profondeur et leur participation à l'écoulement de l'eau souterraine n'ont pas encore été démontrées. Dans cette section, les données ponctuelles de transmissivité sont localisées sur une carte présentant, respectivement, les milieux aquifères fracturés et les milieux aquifères granulaires tels que décrits au chapitre 3.

Données ponctuelles de transmissivité des aquifères fracturés

La Figure 4-5 montre la localisation et les valeurs de transmissivité disponibles à partir des essais de pompage (PACES-SLSJ et rapports de consultants) obtenues dans les milieux aquifères de roc fracturé. La répartition des valeurs est relativement homogène sur le territoire et la correspondance avec des éléments géologiques n'est pas claire au premier coup d'oeil. Quelques observations sont cependant possibles.

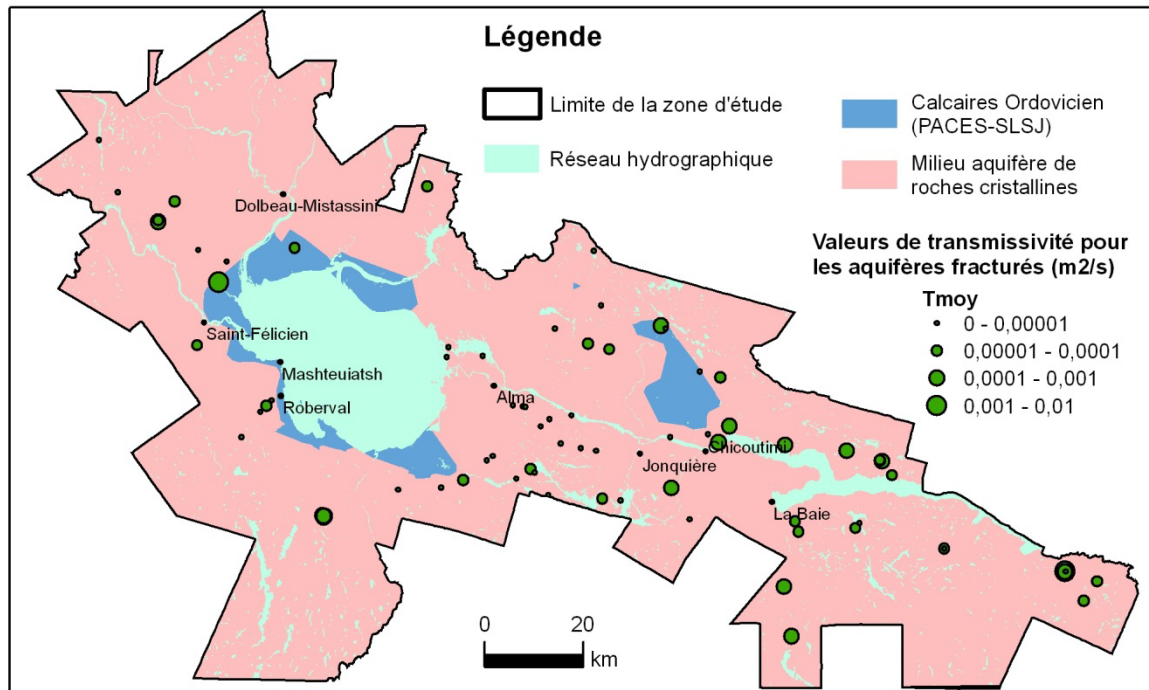


Figure 4-5 : Localisation des valeurs de transmissivité (provenant de l'analyse d'essais de pompage) par rapport aux limites des aquifères fracturés (carte #18A).

Malgré le peu de données disponibles, les valeurs de transmissivité des milieux fracturés de roc calcaire sont parmi les plus élevées (à Saint-Félicien et à Saint-David-de-Falardeau), à l'exception de celle du secteur de Vauvert. À cet endroit, le roc est enfoui sous plus de 50 m de sédiments ce qui peut l'avoir protégé des phénomènes de dissolution sous l'action de la pluie auquel le roc calcaire de la région est sujet lorsqu'il est exposé en surface (Chambord, Saint-Félicien, Val-Jalbert, Saint-Honoré, etc.).

La zone de déformation de Saint-Fulgence (ZDSF; présentée au chapitre 3) et le secteur des municipalités de Sainte-Rose-du-Nord, LaBaie et Ferland-Boilleau semblent présenter plusieurs valeurs élevées. Ces secteurs sont marqués par la présence de failles et de linéaments majeurs qui marquent, d'une part, un des plus vieux accidents ductiles de la région et d'autre part, la limite est du Graben du Saguenay. Cependant, cette observation ne peut pas être transposée à l'ensemble de la région, comme par exemple au seuil de Kénogami où semble être concentrée une majorité de faibles valeurs. Cette observation est appuyée des travaux de Pino (2012) et Chesnaux (2013), qui évoquent la faible perméabilité du massif fracturé à cet endroit.

Toujours sur le seuil de Kénogami, les valeurs les plus élevées sont localisées à proximité du lac Kénogami, ce qui suggère des connexions hydrauliques entre le milieu fracturé et l'eau de surface. Cette hypothèse reste à vérifier.

Données ponctuelles de transmissivité des aquifères granulaires

La Figure 4-6 présente la distribution des valeurs de transmissivité obtenues à partir des essais de pompage (PACES-SLSJ et rapports de consultants) pour les milieux aquifères granulaires tels que présentés au chapitre 3.

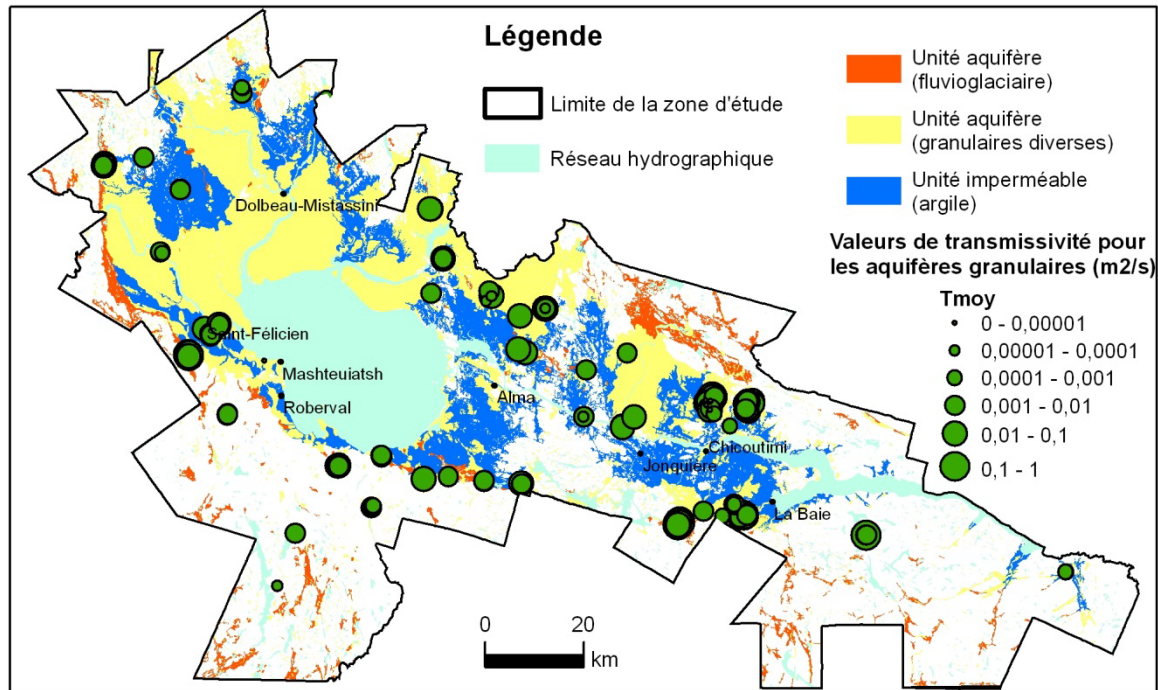


Figure 4-6 : Localisation par rapport aux limites des aquifères granulaires des valeurs de transmissivité obtenues par essais de pompage.

La présence de valeurs de l'ordre de 1×10^{-3} m²/s dans les environnements dominés par l'argile en surface (à l'ouest du lac Saint-Jean, dans le secteur de Saint-Félicien, dans le secteur de La Baie et dans le secteur de Sainte-Monique) suggère l'existence de dépôts granulaires confinés par l'argile. Cette observation renforce l'interprétation de leur existence (chapitre 3).

Aussi, les fortes accumulations de dépôts de surface, mises en évidence par la carte d'épaisseur des dépôts de surface (chapitre 3), semblent présenter des valeurs de transmissivité hétérogènes, notamment au sud de la rivière Péribonka dans le secteur de l'Ascension-de-Notre-Seigneur et de Labrecque. Les aquifères superficiels (sédiments deltaïques) dominent à ces endroits et cette observation confirme leur caractère hétérogène décrit au chapitre 3.

De plus, cette figure montre l'importance des dépôts fluvioglaciaux accumulés dans les vallées qui entaillent les hautes terres. En effet, aucune valeur faible n'est mesurée à ces endroits. Finalement, cette figure montre que pour l'ensemble de la région, les valeurs de transmissivité sont moyennes à élevées, ce qui suggère un fort potentiel aquifère dans les milieux granulaires.

Deux principales observations peuvent être déduites du calcul des propriétés hydrauliques. D'une part, la capacité du milieu à transmettre l'eau sous l'effet du pompage, et d'autre part, la présence ou l'existence d'eau dans la formation aquifère. Pour cette dernière, les concepts de piézométrie doivent être considérés.

4.2 Piézométrie régionale

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 iso-piézométriques, 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 iso-piézométriques et sur sa vitesse⁴³ (inversement proportionnelle à la distance horizontale entre 2 courbes iso-piézométriques).

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 du SLSJ 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.

Or, en l'état des connaissances, l'épaisseur propre à chaque milieu aquifère n'est pas estimée. Par conséquent, chaque mesure piézométrique compilée dans le cadre du PACES-SLSJ est attribuée de façon non différenciée tant au roc qu'aux dépôts granulaires.

L'approche adoptée dans le cadre du PACES-SLSJ présente donc 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 circonscrites à l'intérieur des limites des milieux aquifères présentées au chapitre 3. Les détails de la méthode sont décrits dans le protocole P7.

4.2.1 Sources des données

Deux jeux de données ont été utilisés pour la création de la carte de la piézométrie régionale :

- les données piézométriques ;
- les données d'élévation de l'hydrographie de surface.

⁴³ Plus rigoureusement, ceci est le flux, 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]

Données piézométriques

Une mesure de piézométrie est réalisée à l'aide d'un piézomètre, qui représente tout ouvrage artificiel (puits, forage, etc.) ou naturel (grotte, gouffre, etc.) permettant l'estimation du niveau de l'eau souterraine. Pour la région du SLSJ, les mesures de la piézométrie sont issues :

- des valeurs mesurées dans des puits ou forages compilés dans la base de données spatiales;
- des valeurs mesurées dans des forages réalisés lors des travaux de terrain du PACES-SLSJ;
- des valeurs mesurées dans les puits lors la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique du PACES-SLSJ.

Données d'élévation de l'hydrographie

Les eaux souterraines et les eaux de surface présentent des relations et une interdépendance étroite et complexe. Dans le cadre de cette étude, l'hydrographie est assimilée à « un affleurement » de la surface des nappes souterraines et, de ce fait, toute mesure de l'élévation de l'hydrographie est ici considérée comme une valeur de piézométrie. Les mesures d'élévation de l'hydrographie⁴⁴ de la base de données topographiques du Québec (BDTQ; présentées sous la forme de données linéaires ou surfaciques) sont alors converties en données ponctuelles à l'aide du logiciel *ArcMap* d'*ArcGIS*, et leur élévation est extraite du MNA.

4.2.2 Distribution spatiale

La représentation cartographique de la piézométrie est une interpolation des valeurs de mesure ponctuelle. La densité et la distribution spatiale de ces mesures sont des facteurs essentiels à la précision et à la validité du résultat obtenu. La Figure 4-7 illustre la variation de la précision en fonction de la densité et du semi du lot de points considérés. Cette figure montre que la précision de l'interpolation augmente lorsque les points tendent à être répartis régulièrement sur le territoire et que leur densité est élevée. Les données sont caractérisées d'après leur répartition dans la suite du texte.

⁴⁴ Dans cette section, les termes *hydrographie* ou *données hydrographiques* feront références à des points d'élévation de l'hydrographie de surface.

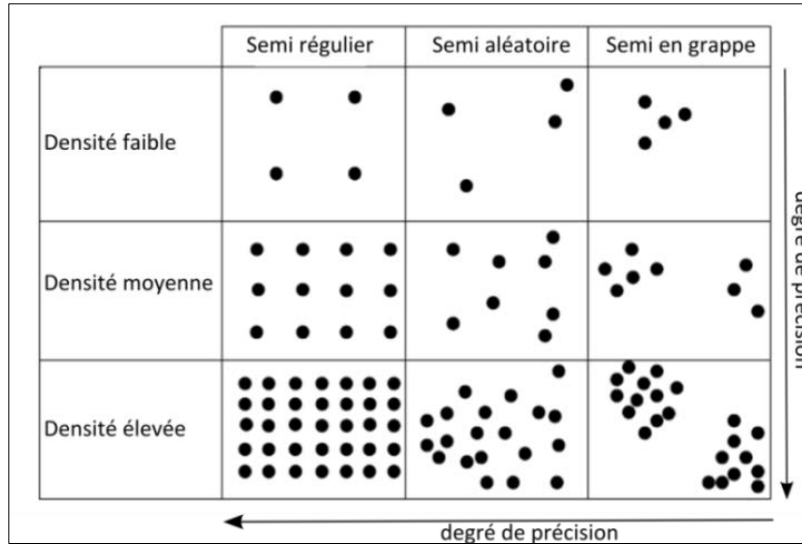


Figure 4-7 : Précision d'interpolation suivant la densité et le semi de points (modifié de Dugrain, 2011).

Répartition des données piézométriques

Au total, 2 634 mesures de piézométrie ont été compilées, dont 1 030 dans les milieux granulaires et 1 604 dans les milieux fracturés.

Pour une superficie de territoire de 13 200 km², cette quantité de données représente moins d'une mesure au km². La Figure 4-8 illustre la répartition et la densité des mesures piézométriques. Elle apparaît aléatoire et présente des effets de semi en grappe, notamment dans les secteurs plus densément peuplés (Ville de Saguenay, Roberval, Saint-Félicien, etc.). De plus, les données piézométriques sont absentes dans certains secteurs, comme dans les secteurs de Vauvert, de la municipalité de Bégin, de la Pointe-Taillon, ou encore dans les hautes terres en général.

L'interpolation d'un lot de données avec une telle répartition impliquerait une sur-représentation des valeurs dans l'interpolation dans les zones de forte densité de données et une sous-représentation des valeurs dans l'interpolation dans les zones de plus faibles densité. Cette densité est donc jugée trop faible pour établir un portrait régional satisfaisant des niveaux d'eau.

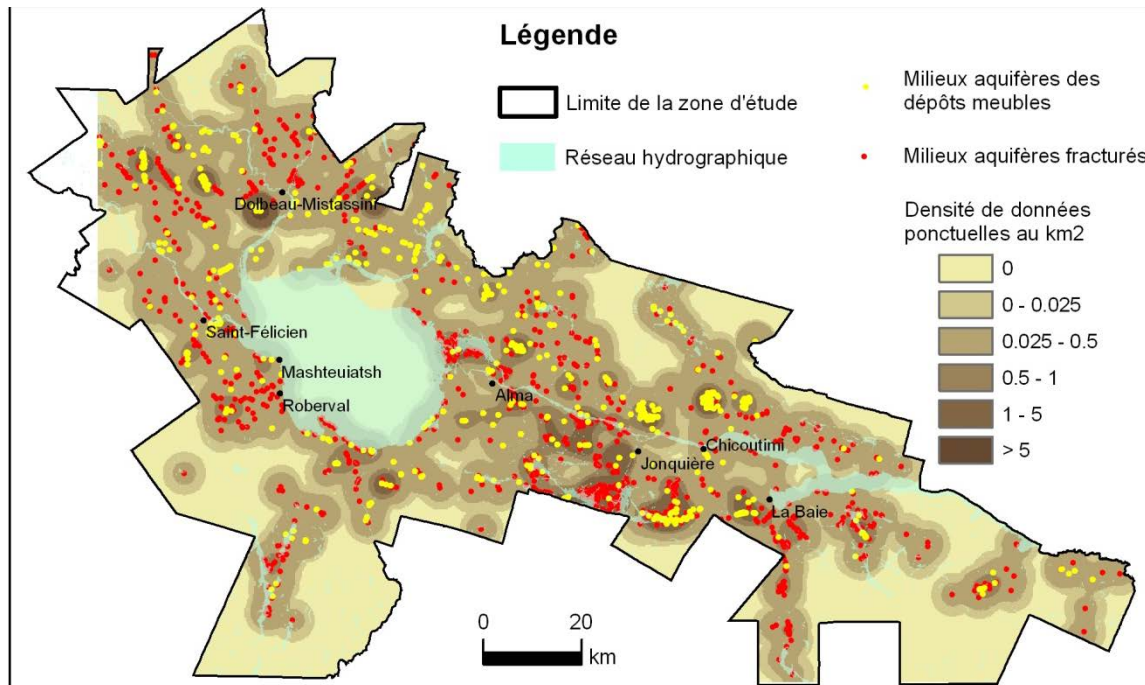


Figure 4-8 : Répartition des points de mesure de la piézométrie et contour de densité des données piézométriques de la base de données spatiales du PACES-SLSJ.

Répartition des données hydrographiques

La transformation des données de la BDTQ en données ponctuelles fournit un lot de 66 319 points de mesures d'élévation de l'hydrographie. La Figure 4-9 illustre la répartition et la densité des données ponctuelles tirées de l'hydrographie de surface. Pour une superficie de territoire de 13 200 km² cette quantité de données représente régionalement environ 5 mesures par km². La répartition des données d'élévation de l'hydrographie n'est pas parfaitement régulière, plutôt en grappe, et elle présente des zones de faible densité, par exemple dans le secteur de la plaine d'Hébertville.

En basant les observations sur le style de répartition et considérant les hypothèses présentées en début de section, le jeu de données hydrographiques semble tout de même plus approprié pour établir un premier portrait régional de la piézométrie. De plus, l'intervalle de temps entre les mesures dans les différents puits constitue un second facteur qui remet en question leur utilisation aux prochaines étapes, comme expliqué dans la section suivante.

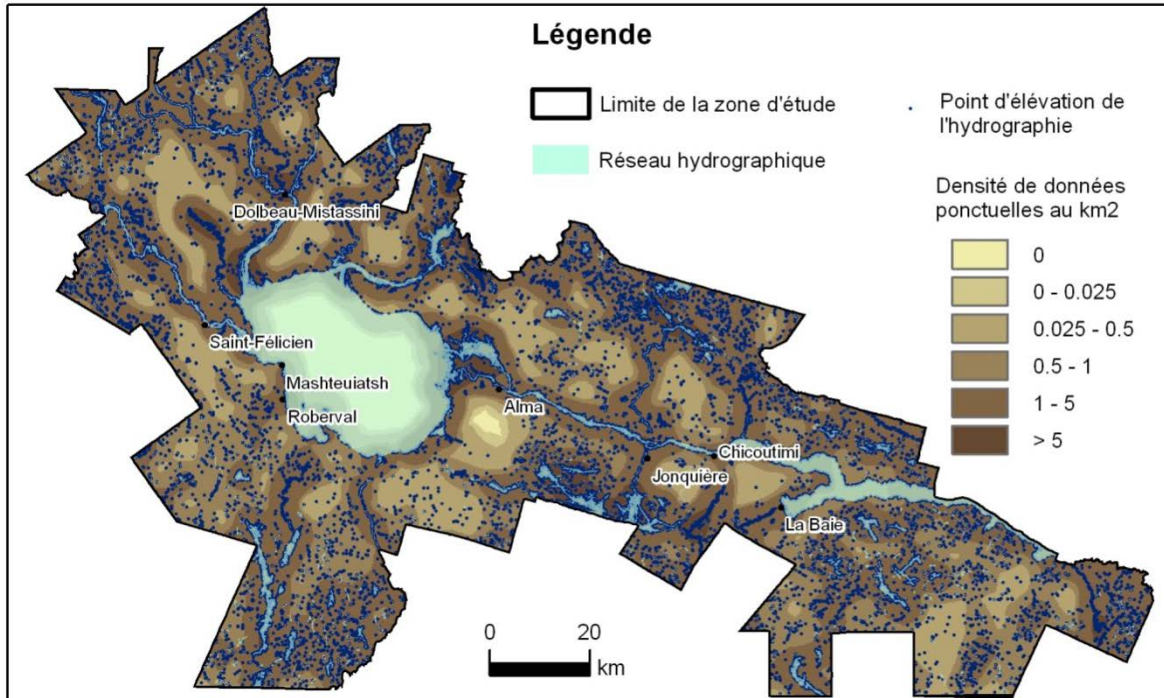


Figure 4-9 : Répartition des points de mesure d'élévation de l'hydrographie et contour de densité des données d'élévation hydrographique de la base de données spatiales du PACES-SLSJ.

4.2.3 Distribution temporelle des données piézométriques

La piézométrie n'est pas un paramètre fixe. La surface piézométrique d'une nappe subit en effet des fluctuations saisonnières ou annuelles. La représentation cartographique de la piézométrie devrait donc être réalisée à l'aide de données de niveau d'eau mesurées sur un très court laps de temps. La piézométrie régionale serait alors une image de la topographie du toit de la nappe à un instant donné.

Sur 2 634 données piézométriques compilées dans la base de données, on connaît l'année de mesure pour 2 221 d'entre elles. L'analyse de l'histogramme des quantités de mesures piézométriques disponibles par années (Figure 4-10) met ainsi en évidence l'étalement des mesures de piézométrie sur un demi-siècle et la fréquence variable de 2 à 185 mesures par années. La représentation rigoureuse de la piézométrie pourrait donc être réalisée au mieux pour l'année 2007, mais avec un nombre maximal de 185 mesures. De plus, à l'intérieur d'une même année, il conviendrait de considérer différentes périodes hydrologiques (crue et étiage) pour une interpolation rigoureuse des données piézométriques.

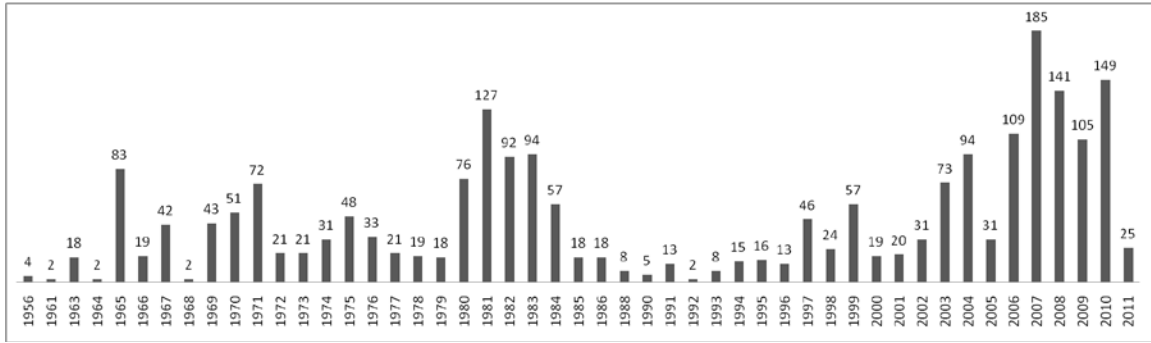


Figure 4-10 : Histogramme des quantités de mesures piézométriques disponibles par années.

Cette variabilité temporelle des prises de mesure de la piézométrie est un facteur limitant pour l'interpolation; ces mesures n'ont donc pas été utilisées.

4.2.4 Méthode d'interpolation

La représentation cartographique de la piézométrie peut s'apparenter à une carte topographique, c'est pourquoi l'outil d'ArcGIS «Topo vers Raster⁴⁵» a été utilisé. Cet outil fait appel à une méthode d'interpolation spécialement destinée à la création de modèles numériques d'altitude (MNA).

La détermination des contextes hydrogéologiques (chapitre 3) a montré que plusieurs nappes d'eau sont parfois superposées en divers endroits de la région (secteur de Saint-Méthode, secteur de Saint-Ludger-de-Milot, etc.). Cependant, l'étude de la piézométrie a été réalisée en postulant que toutes les mesures du niveau d'eau à l'échelle de la région sont représentatives d'une seule nappe d'eau. Ce postulat est ici validé par l'étude de la corrélation entre l'interpolation des données hydrographiques et les points de contrôle de mesure de la piézométrie.

Comme les valeurs mesurées de piézométrie n'ont pas servi à la cartographie régionale, elles constituent de bons points de contrôle du résultat de l'interpolation. Ainsi, trois tests ont été réalisés. Le premier a été effectué avec les données piézométriques provenant du socle rocheux, le second avec les données piézométriques provenant des dépôts de surface et le troisième a été exécuté à l'aide de l'ensemble des données piézométriques disponibles (provenant du roc et des dépôts).

La mise en graphique des valeurs réelles en fonction des valeurs interpolées correspondantes (Figure 4-11) illustre le bon degré de corrélation de l'interpolation pour les dépôts de surface, pour le roc, ainsi que pour la combinaison des deux. Les régressions linéaires indiquent des coefficients de détermination (R^2) de :

- 0,925 pour les 1 604 points de validation d'une profondeur d'eau dans le roc ;
- 0,923 pour les 1 030 points de validation d'une profondeur d'eau dans les dépôts;
- 0,924 pour les 2 634 points de validation cumulés.

⁴⁵ ArcGis resources : <http://resources.arcgis.com/fr/help/main/10.1/index.html#//009z0000007m000000>

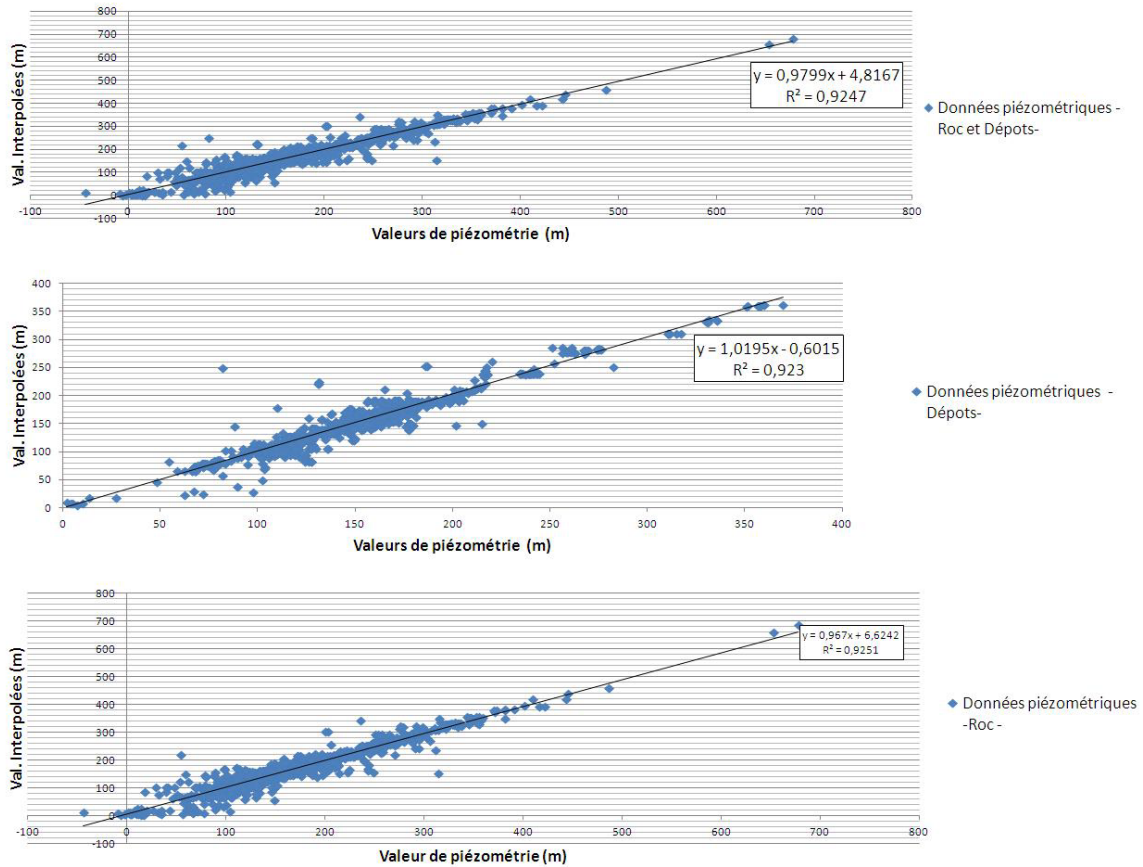


Figure 4-11: Comparaison de l'interpolation avec les valeurs de piézométries dans le roc (a) dans les dépôts (b) et cumulées (roc et dépôts) (c).

4.2.5 Résultats et discussion

Le résultat de l'interpolation régionale de la piézométrie est présenté sur la **carte #19 – Piézométrie régionale** (Annexe 1). Cette carte est présentée en format d'image matricielle d'où ont été extraites les courbes iso-piézométriques, aussi présentées sur cette carte. Ces courbes sont tracées avec une équidistance⁴⁶ de 10 m dans les basses terres et 20 m dans les hautes terres.

Attitude de la nappe d'eau

En terme de profondeur par rapport à la surface topographique les 2 634 mesures de piézométries varient de -2,2 m à 99,4 m pour une moyenne de 7,5 m. L'observation de la distribution de ces valeurs par intervalle de profondeur (Figure 4-12) indique que régionalement, 95 % des mesures de profondeur du niveau d'eau sont inférieures à 20 m.

⁴⁶Distance verticale séparant deux courbes iso-piézométriques

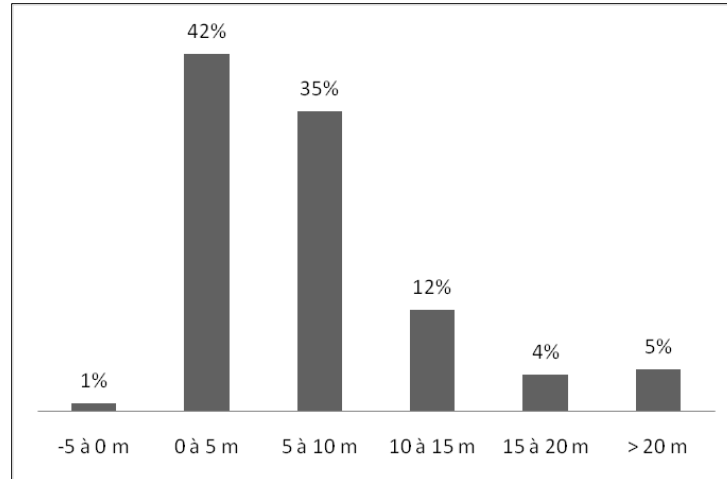


Figure 4-12 : Distribution des valeurs de piézométrie par gammes de profondeurs mesurées par rapport au niveau de la surface topographique.

Indépendamment du milieu aquifère concerné, il serait donc envisageable de réaliser une carte piézométrique régionale en soustrayant 20 m à la topographie. Cette méthode est d'ailleurs suggérée par les travaux de Haitjema et Mitchell-Bruker (2005), qui ont montré que dans le cas d'un aquifère superficiel, la nappe libre est souvent considérée comme une réplique atténuée de la topographie, lorsque celle-ci est plane ou vallonnée.

Direction de l'écoulement souterrain

La direction de l'écoulement s'effectue perpendiculairement aux courbes iso-piezométriques. Selon la méthode d'évaluation de la piézométrie préconisée ici, les écoulements régionaux de l'eau souterraine sont une réplique des écoulements de surface. Plusieurs hauts piézométriques sont observés, notamment dans le secteur du lac Kénogami, sur le territoire de la municipalité de Saint-David-de-Falardeau et sur le territoire de la municipalité de Lamarche par exemple. Ces hauts piézométriques correspondent principalement à des lacs de tête; dans l'éventualité où ces derniers présenterait des connexions hydrauliques avec la nappe souterraine, ce qui reste à déterminer, ils contribueraient à la recharge du milieu aquifère sous-jacent (section 4.3). À l'inverse, des bas piézométriques sont observés sur d'autres parties du territoire. Ils définissent les zones préférentielles de décharge vers lesquelles convergent les lignes d'écoulement. Comme l'illustre la Figure 4-13, les directions préférentielles de l'écoulement se font vers les exutoires majeurs de la région que sont le Lac-Saint-Jean et le Saguenay.

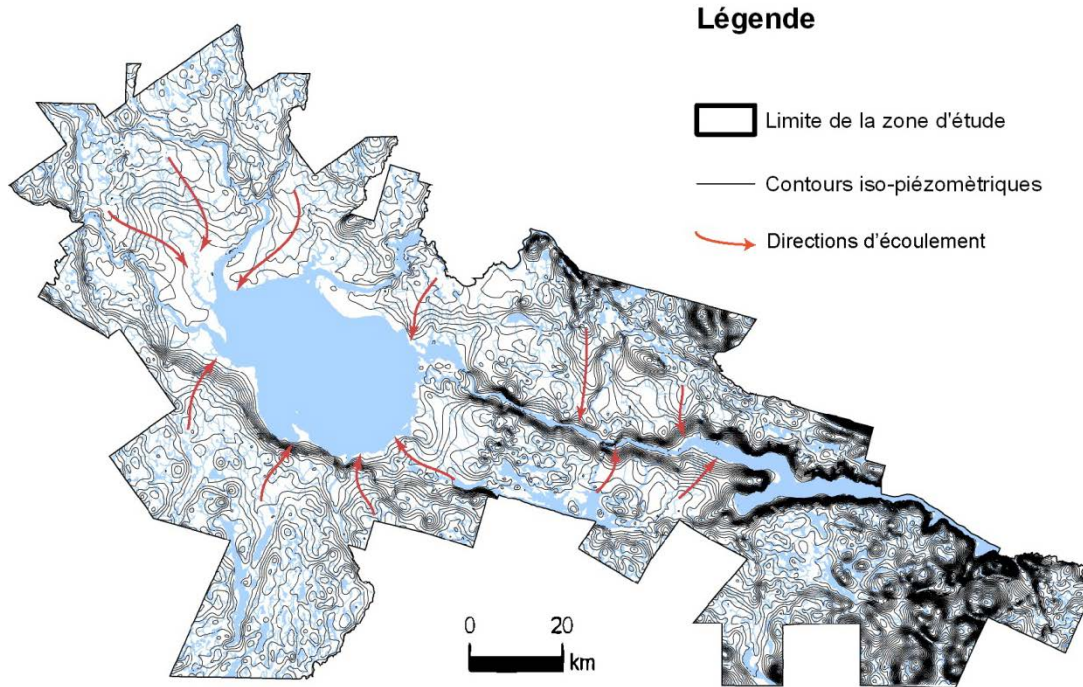


Figure 4-13 : Directions des écoulements régionaux de l'eau souterraine.

Pentes et vitesses de l'écoulement

La vitesse de l'écoulement⁴⁷ est inversement proportionnelle à la distance horizontale entre 2 courbes iso-piézométriques⁴⁸. De ce fait, les valeurs de vitesse régionale de l'écoulement de l'eau souterraine sont directement déduites de l'étude des pentes de la surface piézométrique interpolée. Dans les zones de très forte pente topographique, l'interpolation de la surface piézométrique aura tendance à présenter une élévation supérieure à la surface réelle du terrain, comme illustré graphiquement à la Figure 4-14. Si les connexions hydrauliques entre l'hydrographie de surface et la nappe d'eau souterraine sont démontrées sur le dessus du talus tel qu'illustré, la nappe d'eau présentera probablement un phénomène de résurgence dans les zones de rupture de pente (section 4.3). Les zones de fortes pentes ont donc été calculées, elles sont présentées sur la Figure 4-15. Cette figure met en évidence 3 zones où les vitesses d'écoulement sont relativement élevées :

- le Fjord du Saguenay (a);
- le seuil topographique de cap Éternité (b);
- les murs nord et sud du Graben du Saguenay (c).

À l'inverse, elle montre que les vitesses d'écoulement sont moyennes à faibles dans les basses terres du SLSJ, particulièrement autour du lac Saint-Jean.

⁴⁷ Plus rigoureusement, ceci est le flux, 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].

⁴⁸ Ou proportionnelles à la pente.

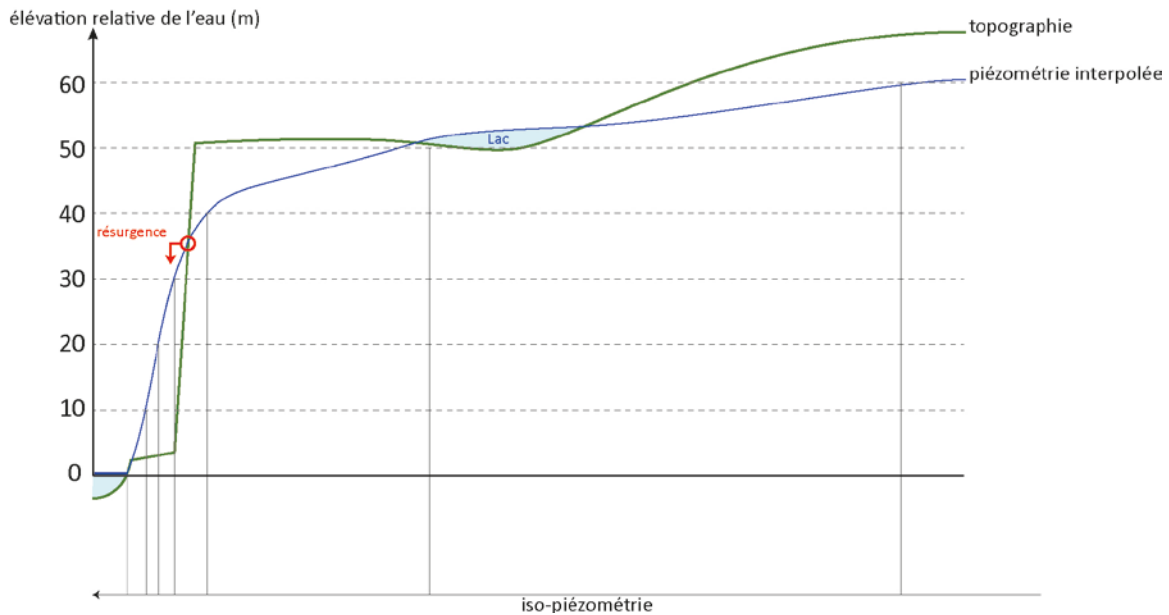


Figure 4-14 : Représentation schématique d'une zone de résurgence théorique obtenue par interpolation de la surface piézométrique dans une zone de rupture de pente.

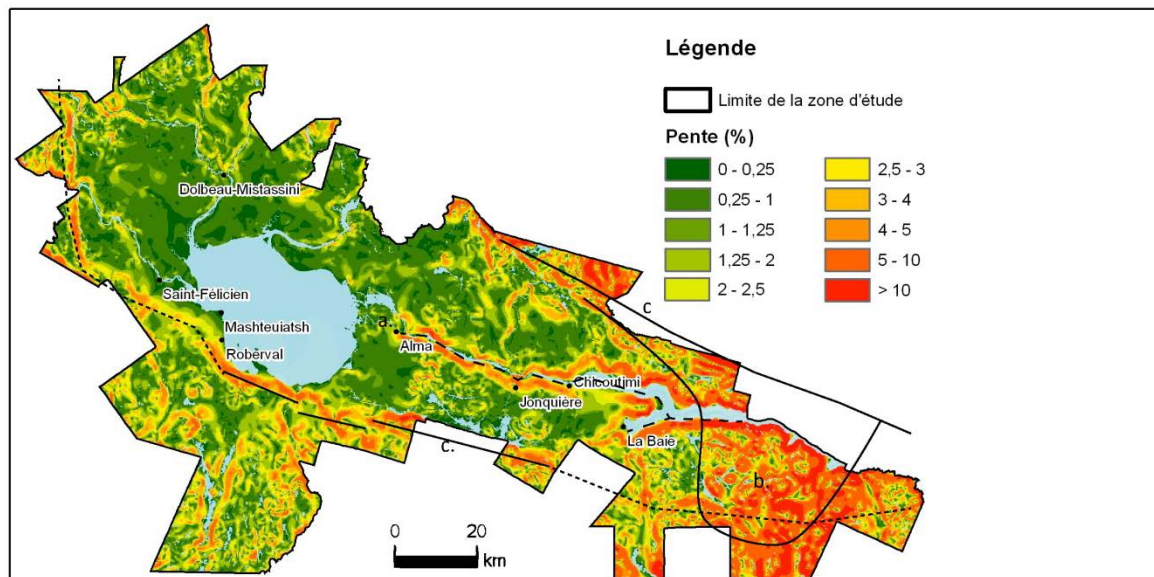


Figure 4-15 : Pentés de la surface piézométrique. Les zones de résurgence interprétées sont : (a) le Fjord du Saguenay, (b) le seuil topographique de Cap-Éternité et (c) les murs nord et sud du Graben du Saguenay.

Ces zones de résurgence correspondent aux principales limites entre les hautes terres et les basses terres. Cette observation met en lumière le comportement très distinct de la nappe d'eau entre ces deux environnements, les hautes terres étant dominées par le roc et les basses terres étant dominées par les dépôts meubles. Malgré des résultats de validation satisfaisants, et justifiant pleinement la technique d'interpolation, il ressort de la répartition quasi exclusive des points de contrôle dans les basses terres, que la méthode semble bien adaptée aux contextes présentant une topographie relativement plane et dominée par l'accumulation des dépôts meubles. Également, les travaux de terrain réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ ont aussi montré que les zones de forte pente, identifiées par la méthode présentée dans cette section,

présentent effectivement, à certains endroits dans la région, des phénomènes de suintement dues à des résurgences.

4.3 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 ou indirect par l'intermédiaire d'un milieu aquifère susjacent.

Une résurgence est un terme hydrologique qui caractérise la réapparition en surface d'un cours d'eau suite à 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 comme décrit ci-après.

- 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. L'aquifère est alors nommé artésien⁴⁹.
- 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 vallées.

La section suivante présente les méthodes et les outils utilisés pour quantifier et spatialiser régionalement la recharge et identifier les zones de résurgence. Elles sont présentées en détails dans le protocole P8. Les résultats de ces travaux sont compilés sur la **carte #28 – Zones de recharge préférentielle et de résurgences** (Annexe 1)

4.3.1 Méthode du bilan hydrique pour l'estimation de la recharge

La recharge est un des paramètres qui composent le cycle de l'eau. Comme l'illustre la Figure 4-16, la quantité d'eau disponible pour l'infiltration et la recharge des milieux aquifère est régie par les quantités de précipitation ou les apports verticaux (Av), l'évaporation et la transpiration du couvert végétal (ETP) et par le ruissèlement (Ru).

Dans le cadre du PACES SLSJ, l'estimation de la recharge a donc été effectuée par le calcul du bilan hydrique nécessitant l'estimation (en mm/jour):

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

⁴⁹ Ce terme est souvent utilisé à tort comme synonyme d'aquifère captif. Un aquifère artésien se doit de posséder un certain confinement pour que la charge de l'eau qu'il contient soit plus élevée que la surface du sol, mais tout aquifère captif ne présente pas nécessairement ces propriétés.

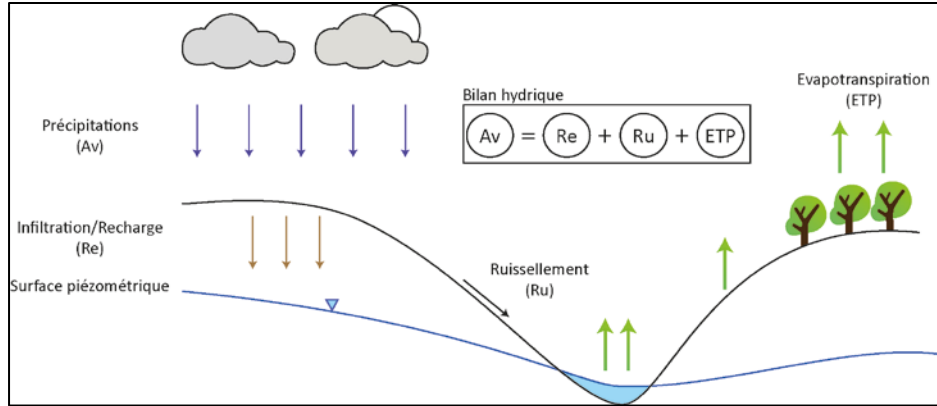


Figure 4-16 : Composantes du bilan hydrique (modifiée de Baudement, 2012).

Estimation des apports verticaux

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 disponibles 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 par le CEHQ (Poirier et al. 2012) par interpolation (krigeage simple) des données météorologiques.

Estimation de l'évapotranspiration

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

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

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

Estimation du ruissellement

L'estimation du ruissellement est réalisée suivant une méthode développée par le *US Soil Conservation Service* (US_SCS, 1972). Cette méthode met en relation les précipitations et le ruissellement à l'aide d'une classification des sols (conductivité hydraulique, potentiel d'infiltration, etc.) et de l'occupation du sol (zone forestière, commerciale, agricole, etc.) (Ancil et al., 2005). Cette méthode 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 ruissellement et la hauteur de précipitation totale est exprimée par l'équation suivante :

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

Dans laquelle, pour $h_p > h_{ia}$:

- h_{Ru} est la hauteur de ruissellement (mm);
- h_p la hauteur de précipitation totale (mm);
- h_s la capacité d'emmagasinement du sol pour l'infiltration;
- h_{ia} la hauteur d'infiltration initiale.

h_{ia} dépend de la teneur en eau initiale du sol, toutefois il est fréquemment admis que :

$$h_{ia} = 0.2 \times h_s \quad \text{équation (3)}$$

Pour la région du SLSJ, la hauteur de précipitation totale (h_p) correspond à la valeur journalière des apports verticaux ($h_p=Av$) et la variable h_s est définie en fonction du paramètre *Curve Number* (CN) tel que :

$$CN = \frac{25\,400}{h_s + 254} \quad \text{équation (4)}$$

Des équations (2),(3)et (4), en posant $h_p=Av$, et $0 < CN^{50} < 100$ on obtient :

$$h_{Ru} = \frac{(Av - h_{ia})^2}{Av - h_{ia} + \frac{h_{ia}}{0.2}} \frac{(Av - h_{ia})^2}{Av - h_{ia} + \frac{h_{ia}}{0.2}} \quad \text{équation (5)}$$

Estimation du paramètre CN

La méthode de l'US_SCS attribue des valeurs de CN en tenant compte de beaucoup d'informations sur l'occupation du sol. Les mêmes informations n'ont pas été obtenues dans le cadre du PACES-SLSJ; les valeurs de CN ont donc été attribuées aux sols contenus dans la banque de données pédologiques de l'IRDA (chapitre 2) qui présente une classification des types de sol, ainsi que des données sur leurs granulométries dominantes et secondaires. La distribution des valeurs de CN est présentée à l'Annexe 4.

Diagramme conceptuel des étapes d'estimation de la recharge journalière

La Figure 4-17 résume les étapes de la méthode de calcul pour l'estimation de la recharge basées sur la méthode du bilan hydrique. En résumé, l'estimation de la recharge journalière 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 pédologique (IRDA).

L'estimation de la recharge a d'abord été quantifiée pour chaque jour de l'année, puis additionnée de manière à obtenir une valeur annuelle.

⁵⁰ La hauteur de ruissellement étant strictement inférieure à la hauteur de précipitation totale (Av) on peut déduire que le paramètre CN est exclusivement inférieur à 100 .En effet, si CN = 100 alors $h_{Ru} = Av$.

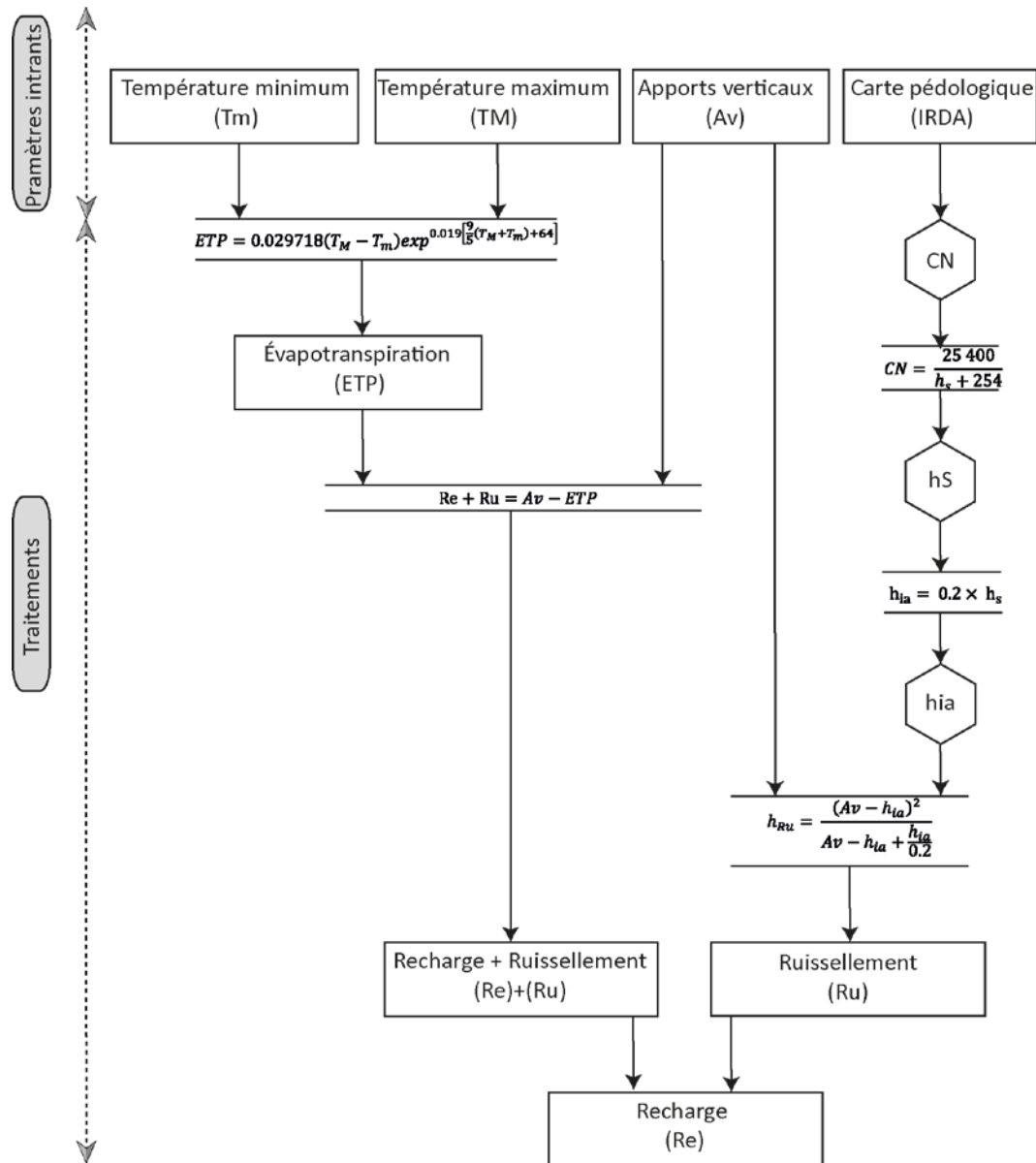


Figure 4-17 : Méthode de calcul de la recharge journalière par bilan hydrique.

4.3.2 Quantification de la recharge moyenne régionale

Les données de température (T_m et T_M) et d'apports verticaux (Av) sont fournies par le CEHQ⁵¹ 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), donc 365 valeurs pour chacune des 110 années, soit environ 40 150 données par paramètres et pour un point⁵². La répartition des points est montrée à la Figure 4-18.

⁵¹ Données d'avril 2012.

⁵² Sur l'ensemble de la région (165 points), les données disponibles pour un seul paramètre représente donc plus de 6.5 millions de valeurs.

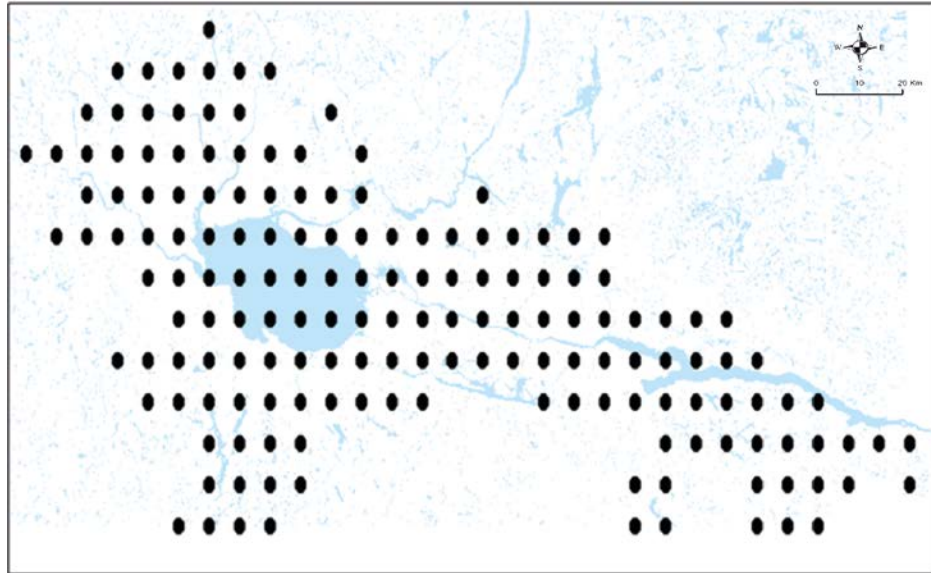


Figure 4-18 : Répartition des valeurs ponctuelles des apports verticaux estimés par le CEHQ.

Le traitement de ces données a donc nécessité l'emploi d'outils du logiciel *ArcGIS* et de routines *VBA*⁵³ (Gautier, 2012). L'information journalière de T_m , TM et $d'Av$ en chaque point couplée à l'estimation du ruissellement par la méthode des *Curve number* a donc permis l'estimation des valeurs de recharge journalière compilées en 110 cartes de recharge annuelle (annexe numérique AN5), couvrant les années 1900 à 2010.

En calculant la moyenne mobile sur dix ans des recharges annuelles estimées, Gautier (2012) a établi qu'il n'existait pas de récurrence temporelle, sinon une légère tendance à l'augmentation sur la période disponible (110 ans) (Figure 4-19). Il semble toutefois que la recharge réponde à des cycles de 30 ans, mais des travaux additionnels devraient être menés afin de confirmer cette observation. Pour les fins du projet, la moyenne des recharges annuelles des 10 dernières années (2000 à 2009) a été considérée pour la présentation de la recharge régionale. Ces valeurs de recharge ont aussi été utilisées pour l'estimation de la vulnérabilité selon *DRASTIC* (section 4.4).

⁵³Visual basic application

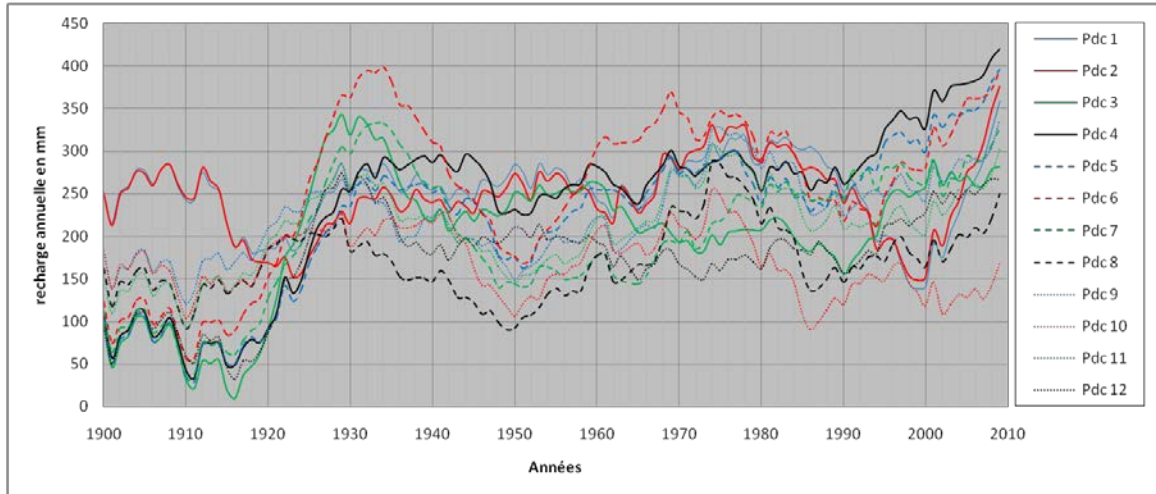


Figure 4-19: Moyennes mobiles sur 10ans des valeurs estimées de la recharge annuelle (Pdc = point de contrôle).

4.3.3 Zones de recharges préférentielles et de résurgence

Comme illustré sur la Figure 4-20, les plus fortes valeurs de recharge sont généralement localisées au droit des milieux aquifères superficiels sablonneux, constitués soit de sables hétérogènes ou de dépôts d'origine fluvioglaciale lorsqu'ils affleurent. Ces deux types de milieu aquifère définissent en général les zones de recharge préférentielle de la région et leurs limites sont donc utilisées pour présenter les valeurs de recharge moyenne de la région. Toutefois, il est faux de considérer que le roc et l'argile ne reçoivent aucune recharge, elle est simplement beaucoup plus faible que celle des milieux aquifères granulaires.

La représentation cartographique des zones de recharge et de résurgence est présentée à la **carte #28 – Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1). Cette cartographie compile les éléments suivants :

1. la localisation surfacique des zones de recharge préférentielle et l'estimation de la recharge (mm/j) correspondante;
2. la localisation ponctuelle de quelques sources recensées;
3. la localisation linéaire des zones probables de suintement.

Recharge en mm/an

La **carte #28 - Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1) met en évidence les zones de recharge très élevées de l'ordre de 400 à 500 mm/an dans des secteurs au nord du Saguenay (municipalités de Saint-David-de-Falardeau, de Saint-Honoré, de Labrecque et de l'Ascension-de-Notre-Seigneur). Les secteurs situés à l'ouest du Lac-Saint-Jean, dominés par les grandes plaines deltaïques de la région, présentent généralement une recharge préférentielle plus faible, de l'ordre de 100 à 300 mm/an. Au sud du Saguenay, les secteurs de La Baie et de la municipalité d'Hébertville présentent des valeurs de recharge intermédiaires à élevées de l'ordre de 200 à 400 mm/an.

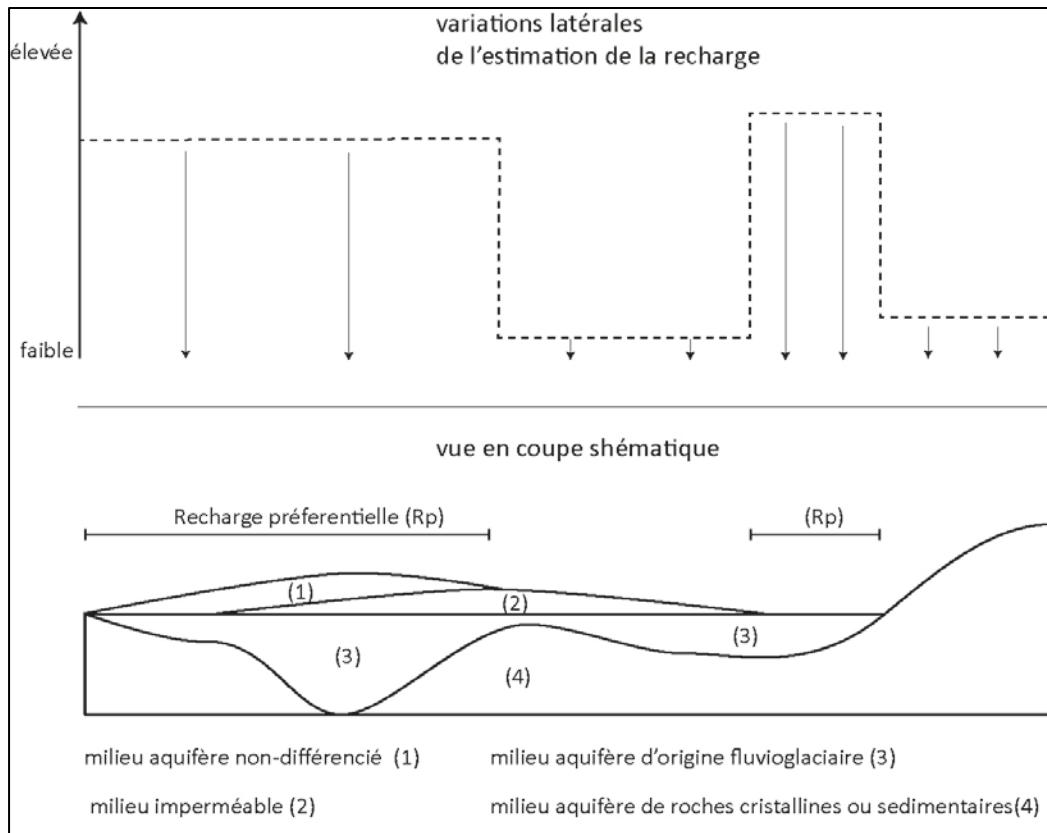


Figure 4-20 : Délimitation des zones de recharge préférentielle.

Sources

Aucun recensement des sources n'a été réalisé à ce jour pour la région du SLSJ. Toutefois lors des campagnes hydrogéochimiques, quelques-unes d'entre elles ont été localisées. Elles sont présentées sur la **carte 28 - Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1) mais ne représentent pas de façon exhaustive les zones où sont préférentiellement localisées les nappes artésiennes. Des travaux additionnels sont requis pour obtenir un portrait juste de leur localisation.

Suintements

Les zones de suintement potentiel ont été mises en évidence par l'étude de la piézométrie régionale (section 4.2). Lors des travaux de terrain réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ, des suintements ont été observés sur des falaises près du Saguenay, près des murs nord et sud du Graben du Saguenay, sur le seuil topographique de Kénogami (le long de la route 170) et le seuil du Cap Éternité, ainsi que sur les talus bordant les rivières Shipshaw et Péribonka. Leur localisation sur la **carte 28 - Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1) demeure approximative, et d'autres endroits méconnus pour l'instant sont susceptibles de présenter des surfaces de suintement de la nappe. À nouveau, des travaux de reconnaissance sur le terrain permettraient de définir plus précisément ces zones de grande importance dans la compréhension de l'écoulement de l'eau souterraine.

4.3.4 Limites d'utilisation de la carte

La carte de recharge présente certaines lacunes. Des parties de la carte ne contiennent aucune valeur de recharge. Parmi les données pédologiques utilisées pour la définition des CN, figure l'expression « mares ». Dans ce cas, il n'est pas possible de discrétiser le type de sol et donc, de lui attribuer une valeur de CN. Ces mares sont en réalité, des zones humides ou des tourbières. Pour ces milieux, il convient de mentionner que l'absence de valeurs de recharge n'exprime pas une recharge nulle, mais une lacune inhérente à la méthode de calcul. Une étude approfondie serait donc nécessaire afin de pouvoir préciser les connexions hydrauliques qui peuvent exister entre ces milieux humides et la nappe d'eau souterraine, ce qui détermine leur influence sur la recharge des nappes d'eau souterraine.

La résolution du résultat cartographique de l'estimation de la recharge est dépendante en grande partie des données d'Av et de températures fournies par le CEHQ. Ces données présentent une résolution approximative de 10 x 10 km qui se reporte sous forme d'artefacts visibles sur la carte de la recharge. C'est le cas par exemple à environ 5 km au sud de Chicoutimi, le long de la rivière Shipshaw, ainsi qu'à quelques kilomètres au sud de Dolbeau-Mistassini. Gautier (2012) suggère quelques pistes de solutions afin d'atténuer ces artefacts, lesquelles seraient à tester dans la cadre de travaux futurs.

Aussi, la méthode de calcul dont le résultat est présenté sur la **carte 28 - Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1) néglige l'effet de la topographie (*i.e.* des pentes) et donc de l'apport du ruissellement à la recharge d'un aquifère à proximité, notamment au pied d'affleurement rocheux. En effet, le roc qui affleure permet généralement une recharge très faible voire négligeable dans la plupart des cas, et pour lequel la quantité d'eau qui ruisselle est quasiment équivalente à la quantité d'eau des précipitations météoritiques. Ainsi, le ruissellement sur les milieux relativement imperméables peut aboutir par endroit sur des milieux plus perméables où l'eau peut alors s'infiltrer, en pied de colline par exemple ; ce dernier facteur n'est pas considéré dans la plupart des méthodes d'estimation de la recharge incluant celle utilisée ici. D'autres méthodes d'estimation de la recharge existent, les plus robustes étant sans doute celles qui sont basées sur des modèles mathématiques utilisés en hydrologie (*HELP, SWAT, etc.*). De façon générale, pour utiliser ces méthodes, le territoire à l'étude doit correspondre à l'ensemble d'un bassin versant. Or, le territoire municipalisé du SLSJ touche à plusieurs bassins versants, mais seulement à la partie aval du bassin des rivières les plus importantes. Pour ces raisons, les méthodes développées pour un bassin versant entier ne sont pas applicables sur la majeure partie du territoire de ce projet. Un projet qui comparerait des résultats de calculs de recharge obtenus avec des méthodes différentes permettrait de mieux juger des résultats présentés sur la **carte 28 - Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1).

Finalement, la recharge réelle des milieux aquifères confinés (chapitre 3) n'a pas été considérée ici. Elle devra faire l'objet d'études locales complémentaires avant de pouvoir être présentée régionalement.

4.4 Vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination de surface

Diverses méthodes d'estimation de la vulnérabilité sont reconnues et utilisées de par le monde. Murat (2000) distingue ainsi :

- 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).
- Les méthodes des systèmes paramétriques qui assignent une valeur numérique ou un poids aux paramètres caractéristiques du milieu (DRASTIC, GOD).
- 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 la région SLSJ est définie d'après la méthode DRASTIC. Cette méthode paramétrique pondérée a été développée par la *U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA)*.

Comme l'illustre la Figure 4-21, cette méthode est basée sur la pondération de sept paramètres dont la première lettre définit l'acronyme « DRASTIC ». Les valeurs obtenues pour chaque paramètre sont additionnées et leur somme donne une valeur caractéristique de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination (Aller et al., 1987). La suite du texte reprend sommairement le contenu du protocole d'estimation de la vulnérabilité (protocole P9).

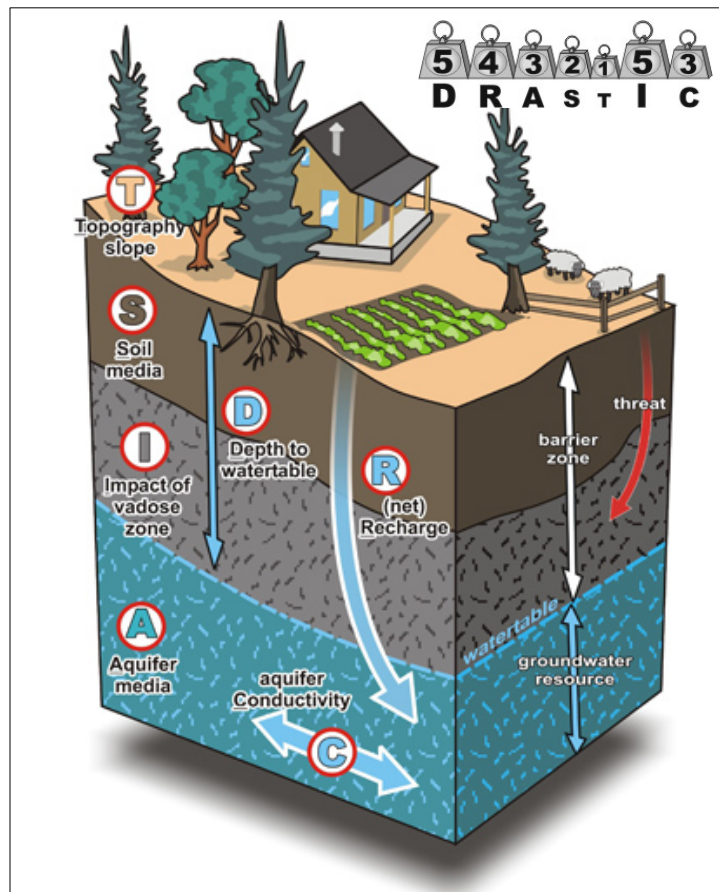


Figure 4-21 : Représentation schématique de la méthode DRASTIC et de la pondération des paramètres à la base de son évaluation (modifié de Franklin et Turner, 2009).

Chaque paramètre est défini par :

1. Sa cote⁵⁴ qui correspond à un intervalle de valeurs (variables quantitatives) attribué à un type de milieu (variables qualitatives et qui sont croissantes 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)

$$\text{Indice DRASTIC} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad \text{équation (1)}$$

Dans le cadre du PACES-SLSL, chaque paramètre de l'indice est déterminé sur toute la région sous la forme d'une carte matricielle dont la maille fait 250 m X 250 m, le calcul de l'indice est ensuite réalisé à l'aide de l'extension *Spatial Analyst* du logiciel *ArcMap* d'*ArcGIS* par des opérations géomatiques basées sur l'équation (1).

4.4.1 Intrants du modèle DRASTIC et pondération

Cette section présente l'ensemble des paramètres intrants du modèle DRASTIC. Les éléments suivants sont présentés pour chacun des paramètres:

- 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. L'importance de son poids (5) est relative à 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.

Données sources

Dans le cadre du PACES-SLSJ, la profondeur de l'eau est déduite de la carte régionale de la piézométrie⁵⁵ (section 4.2). La Figure 4-22 présente la carte matricielle de la profondeur de l'eau utilisée. Par la suite les différentes gammes de profondeur de l'eau sont pondérées suivant les cotes proposées par la méthodologie DRASTIC présentées au Tableau 4—4. La Figure 4-23 illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes du Tableau 4—4.

⁵⁴ 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)*.

⁵⁵ Profondeur de l'eau = DEM – Interpolation régionale de la piézométrie.

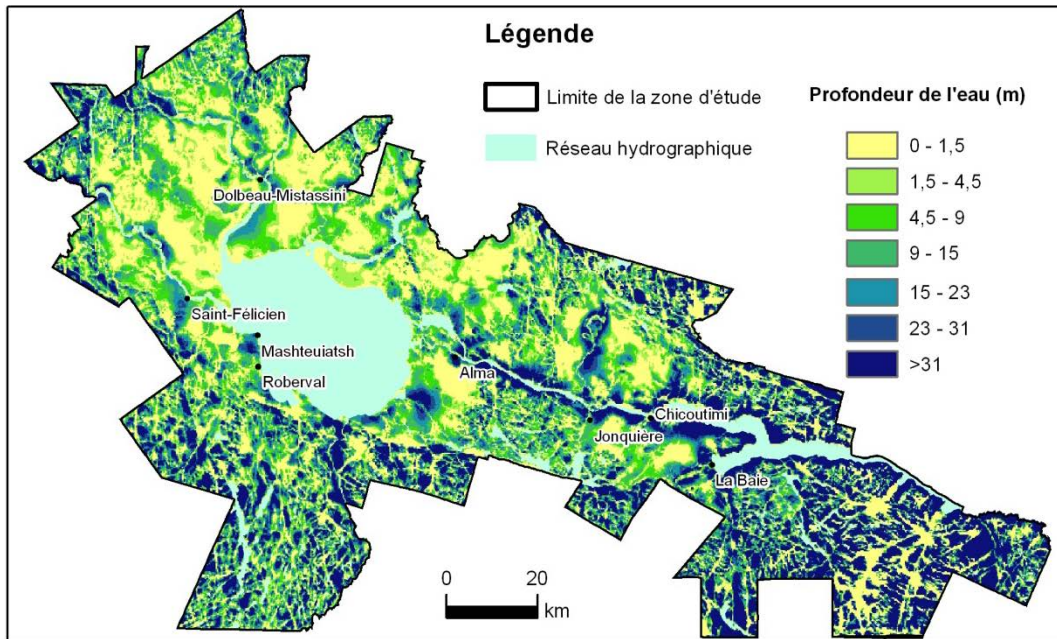


Figure 4-22 : Carte de la profondeur de l'eau.

Tableau 4—4: Cote DRASTIC pour chaque classe de profondeur d'eau.

Profondeur de l'eau (m)	Cote
0 à 1.5	10
1.5 à 4.5	9
4.5 à 9	7
9 à 15	5
15 à 23	3
23 à 31	2
31 et plus	1

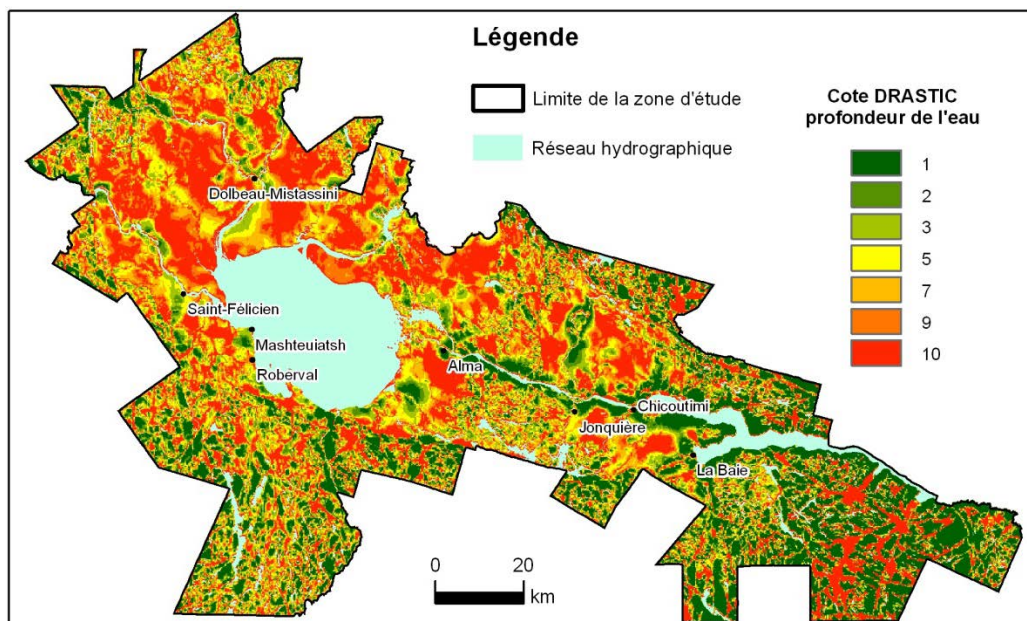


Figure 4-23 : Cote D déterminée en fonction de la carte de la profondeur de la nappe.

Paramètre R - Recharge (4)

Ce paramètre fournit le taux de recharge annuelle qui percole à travers la zone non saturée pour atteindre la nappe. Son poids (4) est important 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 Figure 4-24 illustre la carte matricielle initiale utilisée pour le paramètre de la recharge. Dans le cadre du PACES-SLSJ, la carte matricielle correspond à la recharge moyenne sur une période de 10 ans (section 4.3). Par la suite, une cote est attribuée en fonction des différentes gammes de recharge présentées au Tableau 4—5. En l'absence de données tangibles sur l'existence de connexions hydrauliques entre les milieux humides et la nappe d'eau souterraines, la cote maximale (9) a été attribuée aux zones de lacune de la carte de recharge (section 4.3.4). La Figure 4-25, illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes présentées au Tableau 4—5.

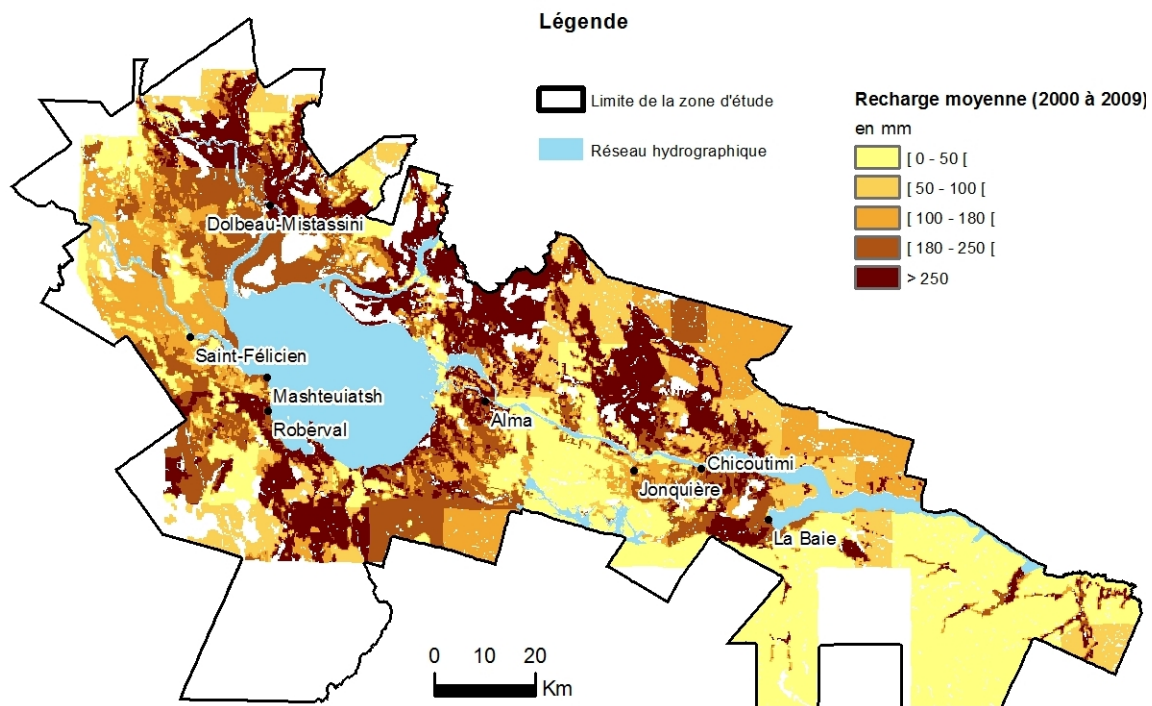


Figure 4-24 : Image matricielle présentant la recharge moyenne sur une période de 10 ans.

Tableau 4—5 : Cote DRASTIC pour chaque classe de recharge efficace.

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

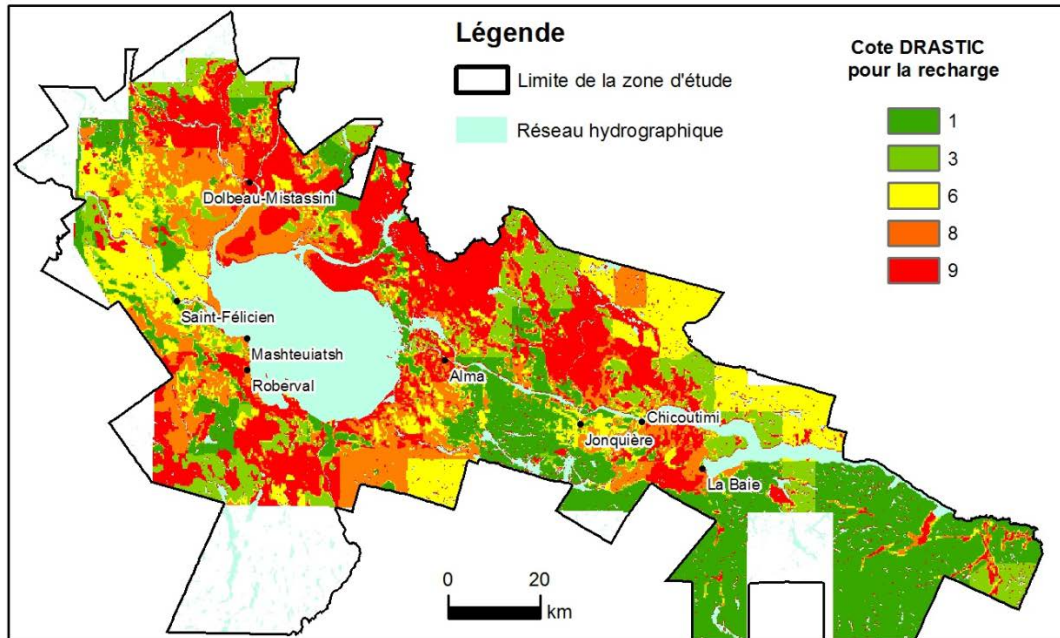


Figure 4-25 : Cote R déterminée en fonction de la quantité de recharge efficace.

Paramètre A – Milieu aquifère (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 le milieu est poreux, plus les circulations d'eau sont rapides et plus la vulnérabilité sera élevée. Le milieu aquifère est un paramètre qualitatif et subjectif. Dans le cadre du PACES-SLSJ, le paramètre A (milieu aquifère) représente le premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface du terrain. La Figure 4-26 illustre l'image matricielle initiale du premier aquifère rencontré, basé sur la carte d'interprétation des limites régionales de milieux aquifères (chapitre 3). Les Tableaux 4-6 et 4-7 illustrent les cotes d'après la méthode DRASTIC et correspondant aux différentes unités géologiques. La Figure 4-27 illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes des Tableaux 4-6 et 4-7.

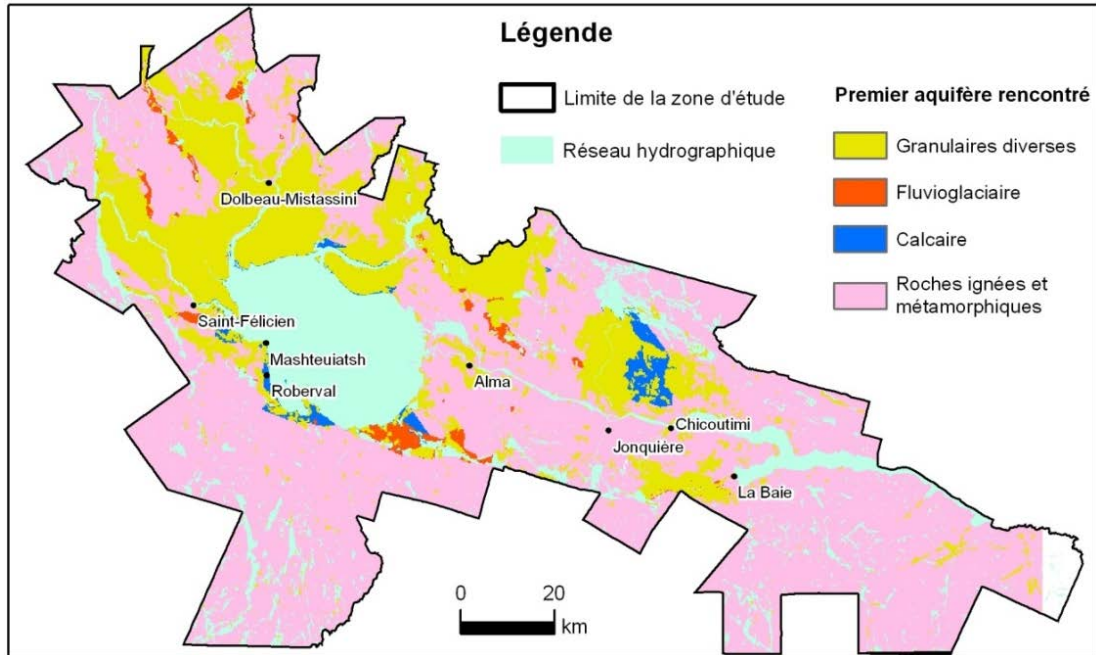


Figure 4-26 : image matricielle présentant le premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface.

Tableau 4—6 : Cote DRASTIC pour chaque classe de type d'aquifère en milieu fracturé.

Milieu aquifère	Cote
Shale massif	2
Roches ignées/métamorphiques	3
Roches ignées/métamorphiques altérées	4
Till	5
Lits de grès, calcaire et shale	6
Grès massif	6
Calcaire massif	6
Sable et gravier	8
Basalte	9
Calcaire karstique	10

Tableau 4—7 : Cote DRASTIC pour chaque classe de type d'aquifère granulaire du SLSJ.

Milieu aquifère	Cote
Fluvioglacière	8
Granulaires diverses	8

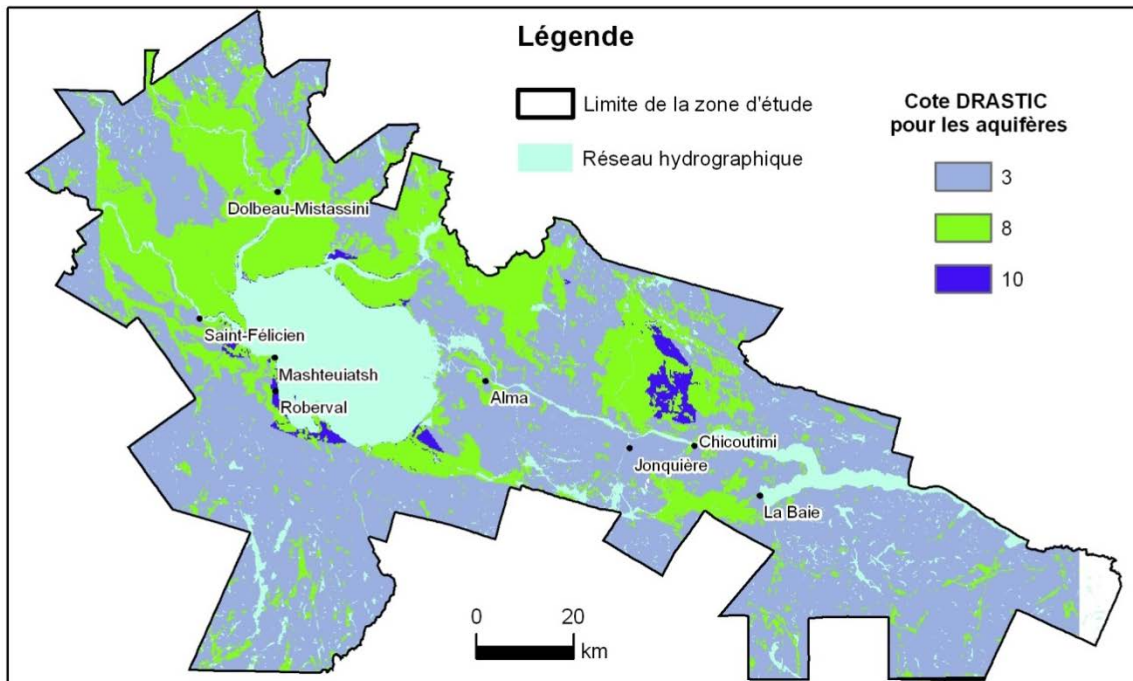


Figure 4-27 : Cote A déterminée en fonction du premier milieu aquifère intercepté.

Paramètre S – Type de sol (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 Figure 4-28 illustre l’image matricielle initiale utilisée dans le cadre du PACES-SLSJ. Elle présente les différents types de sols issus de la carte pédologique fournie par l’IRDA (chapitre 2). Le Tableau 4—8 illustre les cotes proposées par la méthodologie DRASTIC correspondant à différentes unités pédologiques. Le Tableau 4—9 présente les cotes d’après la classification proposée par la méthode DRASTIC. Elles ont été attribuées à chacune des unités présentes dans la région. La Figure 4-29, illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes du Tableau 4—9.

Tableau 4—8: Cote DRASTIC pour chaque type de sol.

NATURE DU SOL*	COTE
Sol mince ou roc	10
Gravier	10
Sable	9
Tourbe	8
Argile fissuré	7
Loam sableux	6
Loam	5
Loam silteux	4
Loam argileux	3
Terre noire	2
Argile	1

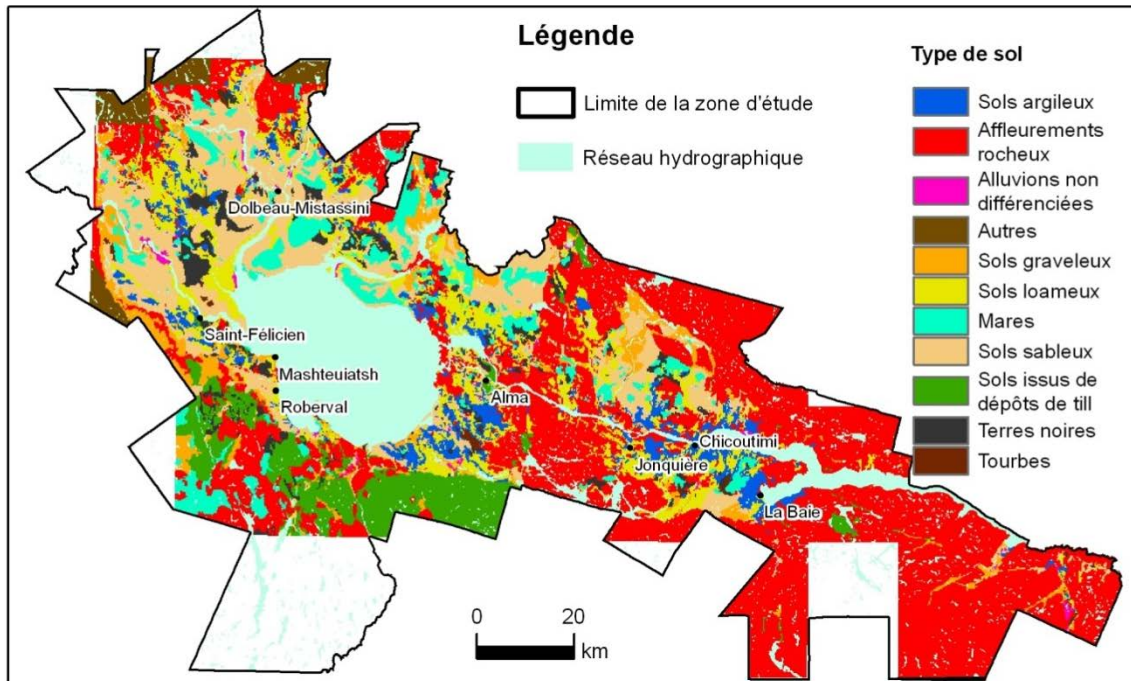


Figure 4-28 : Image matricielle des types de sol issus de la carte pédologique.

Tableau 4—9: Cote DRASTIC pour chaque type de sol du SLSJ.

TYPE DE SOL	Code IRDA	Cote
SOLS SABLEUX	S1	9
	S2	9
	S3	9
	S4	9
	S5	9
SOLS GRAVELEUX	G2	10
	G4	10
SOLS LOAMEUX	L2	5
	L3	5
	L4	5
	L5	5
SOLS ARGILEUX	A2	7
	A4	1
	A5	1
SOLS ISSUS DE DÉPÔTS DE TILL	T2	10
	T3	10
	T4	10
SOLS ORGANIQUES	Terres noires	2
	Tourbes	8
	Mares	8
SOLS DIVERS	Alluvions non différenciées	9
	Affleurements rocheux	10

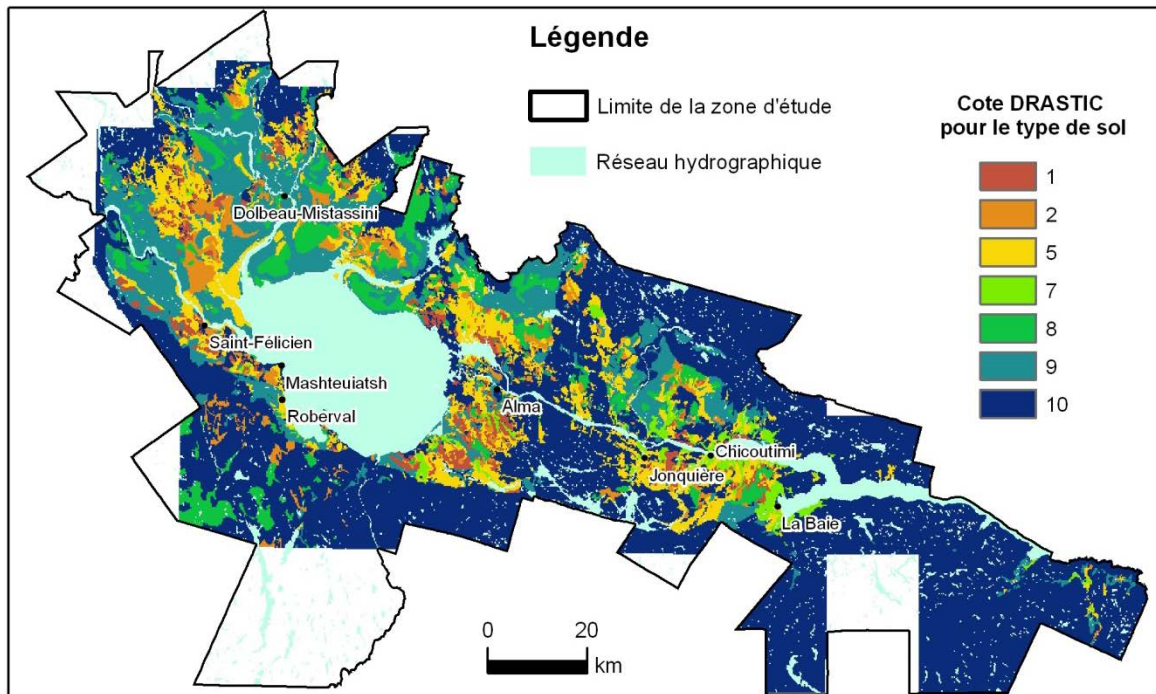


Figure 4-29 : Cote S déterminée en fonction de la nature du sol.

Paramètre T – Pente du sol (1)

La pente du sol est un élément contrôlant le ruissellement et donc de recharge de l'aquifère (section 4.3). Le faible poids 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 Figure 4-30 illustre l'image matricielle initiale de la pente du sol en pourcentage utilisée dans le cadre du PACES-SLSJ. Elle présente le pourcentage d'inclinaison du terrain sur l'ensemble du territoire. Le Tableau 4—10 donne les cotes d'après la méthodologie DRASTIC. La Figure 4-31, illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes du Tableau 4—10 :

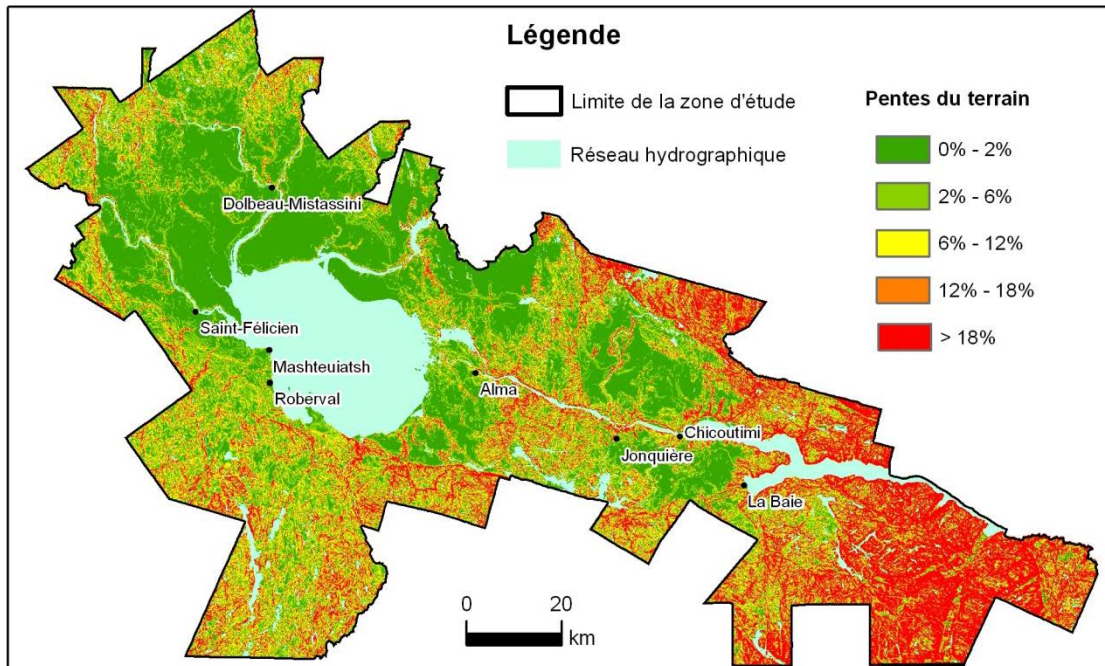


Figure 4-30 : Image matricielle de la pente (%) du sol.

Tableau 4—10 : Cote T de DRASTIC pour chaque classe de pente.

PENTE DU TERRAIN (%)	COTE
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

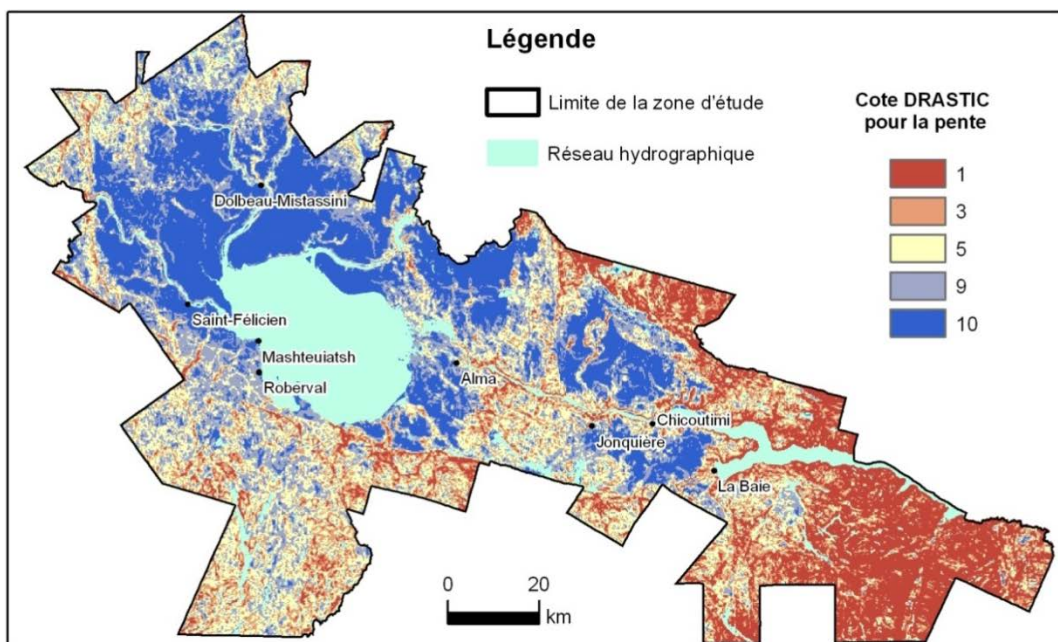


Figure 4-31 : Cote T déterminée en fonction du pourcentage de la pente.

Paramètre I – Impact de la zone vadose (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 présente une stratigraphie 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. La Figure 4-32 illustre l’image matricielle initiale des unités géologiques correspondant à la zone vadose utilisée dans le cadre du PACES-SLSJ. Elle est issue d’une reclassification des unités géologiques groupées en unités d’argile, de till, de sable et gravier, de sable et gravier fluvioglacière, de sols organiques, de silt, de roche calcaire, de roche ignée et de roche métamorphique. Le Tableau 4—11 donne les valeurs de la cote I d’après la méthode DRASTIC. Comme l’illustre le Tableau 4—12, les cotes ont été adaptées à chacune des unités présentes dans la région. La Figure 4-33, illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes du Tableau 4—12.

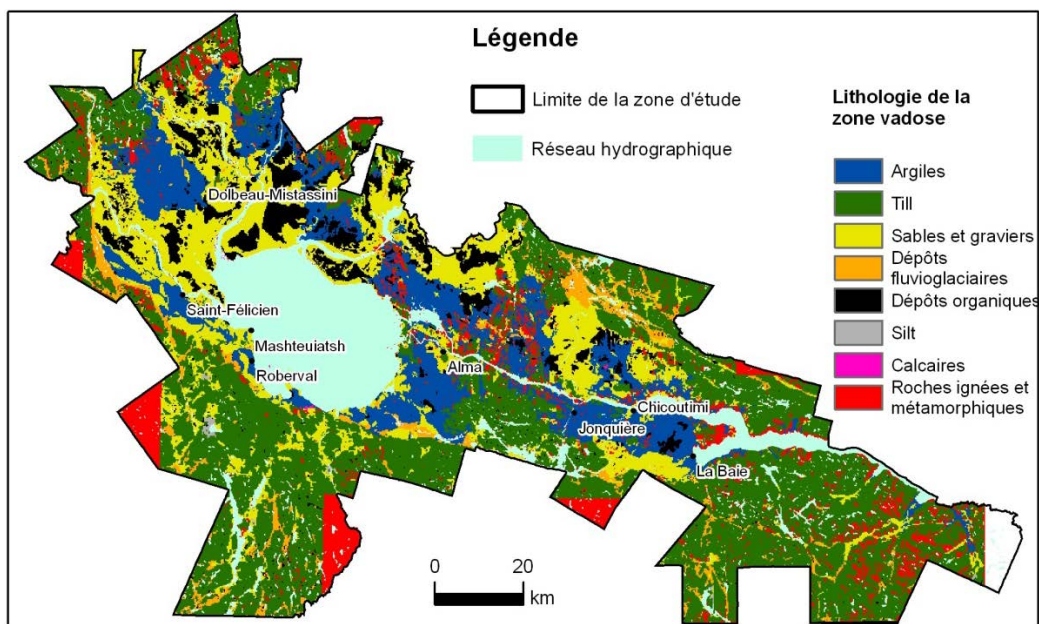


Figure 4-32 : Image matricielle des unités géologiques (roc et dépôts meubles) correspondant à la zone vadose.

Tableau 4—11: Cote DRASTIC conventionnelle selon la nature de la zone vadose.

NATURE DE LA ZONE VADOSE*	COTE
Couche imperméable	1
Silt/argile	3
Shale	3
Calcaire	6
Grès	6
Lits de calcaire, grès et shale	6
Sable et gravier avec silt et argile	6
Roches ignées/métamorphiques	4
Sable et gravier	8
Basalte	9
Calcaire karstique	10

Tableau 4—12: Cote DRASTIC adaptée selon les milieux rencontrés dans la zone vadose du SLSJ.

NATURE DE LA ZONE VADOSE*	COTE
Sable	3
Sable et gravier	6
Fluvioglacière	8
Sédiments glaciaires	8
Sédiments éoliens	6
Sédiments marins	3
Calcaire	10
Granite	4
Roche métamorphique	4

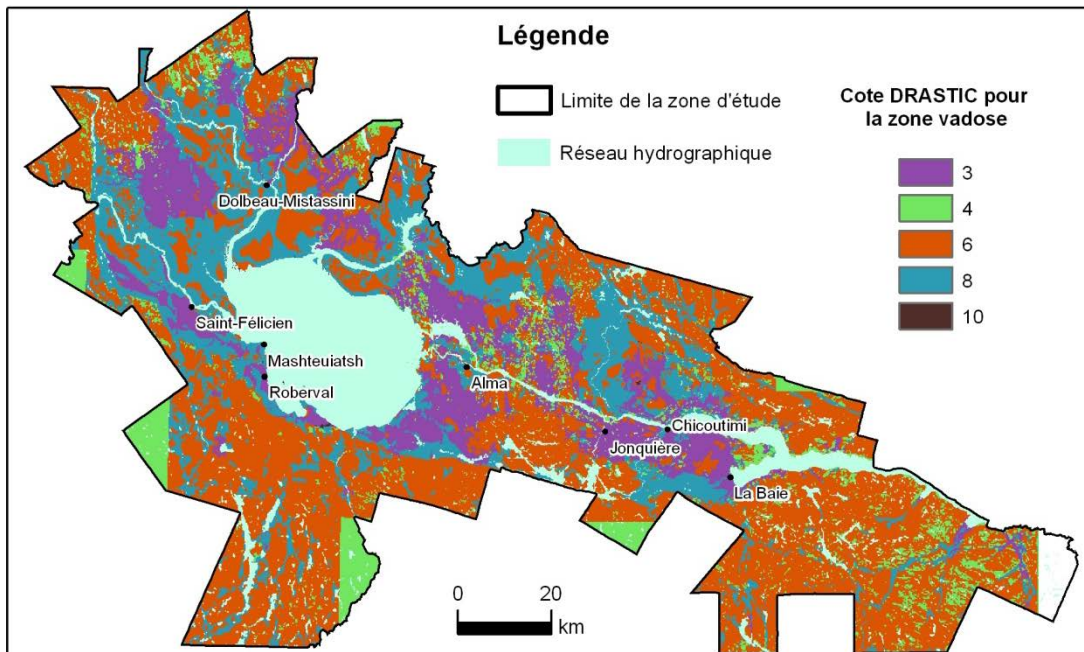


Figure 4-33 : Cote I déterminée en fonction du milieu géologique (roc ou dépôts meubles) correspondant à la zone vadose.

Paramètre C—Conductivité hydraulique (3)

La conductivité hydraulique (K) contrôle l'écoulement souterrain. Ce paramètre intrinsèque permet de quantifier l'aptitude d'un milieu aquifère à laisser circuler l'eau qu'il contient. De façon générale, plus K est élevée, plus un contaminant peut migrer rapidement, et plus la vulnérabilité sera considérée élevée. L'image matricielle initiale utilisée dans le cadre du PACES-SLSJ pour le paramètre (C) correspond à l'image matricielle du paramètre (A) mais présentant des valeurs évidemment différentes. Le Tableau 4—13 illustre les valeurs de la conductivité associées à chacun des milieux aquifères identifiés. Cette quantification de la conductivité s'inspire de l'analyse des propriétés hydrauliques réalisée dans le cadre du PACES-SLSJ (section 4.1). Les différentes valeurs de conductivité sont ensuite cotées suivant les gammes d'après la méthode DRASTIC et sont présentées au Tableau 4—14. Les milieux aquifères de type fluvioglaciers n'ont pas fait l'objet d'une caractérisation particulière de la conductivité hydraulique dans le cadre du PACES-SLSJ. Toutefois, selon la littérature, ce type de dépôts

présente des valeurs de conductivité très élevées correspondant à la cote maximale. Une cote de 10 sera donc utilisée pour le paramètre C des milieux aquifères de type fluvioglaciaire. La Figure 4-34 illustre le résultat de la reclassification suivant les cotes du Tableau 4—14.

Tableau 4—13 : Valeurs de conductivités obtenues dans le cadres du PACES-SLSJ.

Milieu aquifère	moy_K (m/s)	moy_K (m/j)
Granulaires diverses	5.89E-04	50.89
Roc fracturé	5.77E-06	0.5

Tableau 4—14 : Cote DRASTIC pour chaque classe de conductivité.

CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (m/j)	COTE
0,04-4	1
4-12	2
12-29	4
29-41	6
41-82	8
82+	10

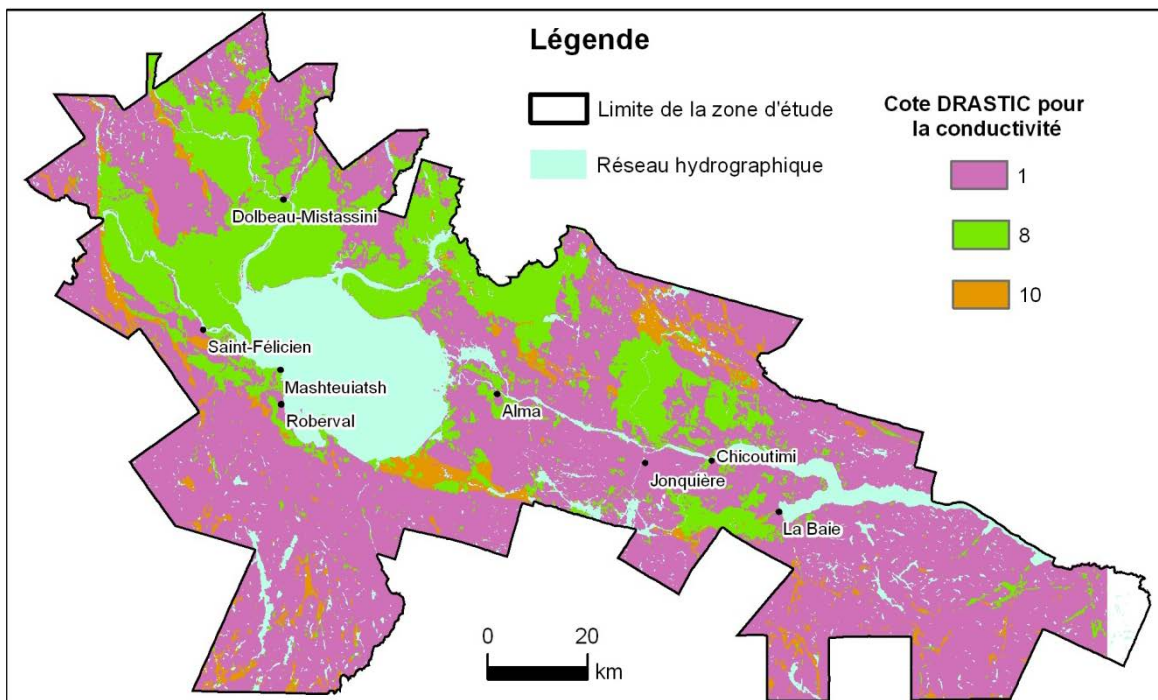


Figure 4-34 : Cote C déterminée en fonction de la conductivité hydraulique du premier milieu aquifère intercepté à partir de la surface.

4.4.2 Carte DRASTIC

Dans le cadre du PACES-SLSL, le calcul de l'indice DRASTIC a été réalisé à partir d'opérations géomatiques. Ainsi, les images 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'extension *Spatial Analyst* du logiciel *ArcMap* d'*ArcGIS*. Le résultat de ces opérations est une image matricielle dont chaque pixel représente une surface de 250 x 250 m. Il est

présenté à la **carte #22 – Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface selon la méthode DRASTIC** (Annexe 1).

Sur la **carte #22 – Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface selon la méthode DRASTIC** (Annexe 1), les grandes plaines deltaïques et les dépôts d'origine fluvioglaciale apparaissent comme les plus vulnérables (au nord-ouest du lac Saint-Jean, au sud de la rivière Péribonka, sur les rives de la rivière Shipshaw, sur le territoire de Ville de Saguenay et à l'ouest du lac Kénogami). Ces secteurs présentent une vulnérabilité largement supérieure à la limite imposée (indice DRASTIC de 100) par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP) au-dessus de laquelle les activités anthropiques pouvant altérer la qualité de l'eau doivent être suivies de façon rigoureuse.

Les milieux humides de la région présentent la cote maximale (180 – 210), ce qui est en partie attribué aux valeurs imposées de la recharge (R; cote maximale). Toutefois, ce paramètre n'est pas le seul à tirer l'indice de vulnérabilité vers le haut. La profondeur de la nappe d'eau est, par définition, nulle (D; cote maximale), ces milieux étant considérés saturés. De plus, ils sont situés sur des terrains présentant généralement de très faibles pentes, parmi les plus faibles de la région (T; cote maximale). De plus, les milieux humides sont associés aux grandes plaines deltaïques composés principalement de sédiments granulaires (sables hétérogènes) qui sont considérés des milieux aquifères perméables (A; cote maximale). Pour finir, lorsque leur sol se compose de tourbe, la vulnérabilité de ces environnements augmente (S; cote 8/10). Cependant, en l'absence de donnée spécifique sur le type de sol, sur le type de milieu aquifère sous-jacent et sur la dynamique des liens entre ces milieux et leur environnement, notamment avec les eaux souterraines, on ne peut que présumer d'une vulnérabilité élevée des eaux souterraines sous ces terrains.

De façon générale, les zones les plus vulnérables régionalement coïncident avec les zones où des dépôts granulaires se retrouvent à la surface du terrain. À l'inverse, les dépôts de surface plus fins (argile et silt) et les affleurements rocheux présentent une vulnérabilité faible à très faible. De façon générale, la cartographie de la vulnérabilité des aquifères de la région du SLSJ est donc fortement représentative du type de sol, et 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. Pour ce faire, des travaux de terrain spécifiques à cette thématique sont nécessaires.

4.4.3 Limites d'utilisation de la carte

L'estimation des cotes pour chacun des paramètres de l'indice DRASTIC est effectuée à partir des données de cartographie existantes (carte pédologique, cartes géologiques, carte de la piézométrie régionale et carte d'estimation de la recharge). Par conséquent, les limites d'utilisation de ces cartes sont aussi celles de la carte de vulnérabilité selon DRASTIC. Pour les cartes produites dans le cadre du PACES-SLSJ (cartes piézométrique et de la recharge), les limites d'utilisation sont précisées aux sections précédentes (respectivement sections 4.2 et 4.3).

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 exacte 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 du PACES-SLSJ, est liée en grande partie aux données de surface, notamment par l'utilisation de la carte pédologique pour l'estimation des paramètres de la recharge (R) et du type de sol (S). Ainsi, l'approche développée dans le cadre du PACES-SLSJ, pour le calcul de l'indice de vulnérabilité DRASTIC à l'échelle régionale, ne tient pas compte des divers contextes hydrogéologiques présents dans la région (chapitre 3) et n'intègre pas la notion de superposition des dépôts. La Figure 4-35 illustre un aspect des simplifications adoptées pour cette cartographie régionale. Sur cette figure, la partie droite (a) présente la vulnérabilité estimée d'après la méthode élaborée dans le cadre du PACES-SLSJ, et la partie gauche (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, l'indice DRASTIC représente donc la vulnérabilité du premier milieu aquifère rencontré (dépôts granulaire 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.

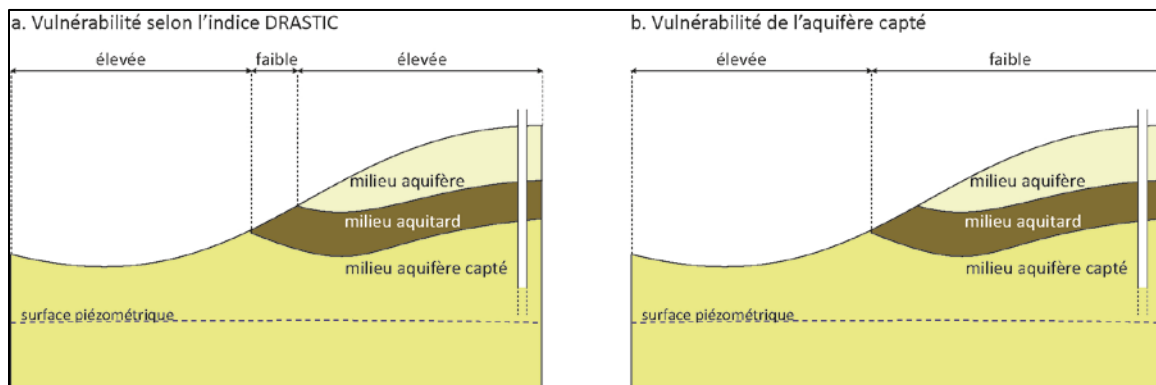


Figure 4-35 : Relativité de la vulnérabilité DRASTIC.

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, les paramètres de la zone vadose (I), du type de sol (S) et de la recharge de l'aquifère (R) sont issus de la même donnée de surface, à savoir la carte pédologique fournie par l'IRDA. La relation étroite de ces 3 paramètres avec les données pédologiques introduit une redondance dans le paramétrage de l'indice DRASTIC, ce qui soulève un questionnement majeur sur l'influence relative des données pédologiques sur le résultat obtenu.

Comme pour l'estimation de la recharge (section 4.3), plusieurs méthodes d'estimation de la vulnérabilité peuvent être adoptées. Certaines d'entre elles sont présentées en introduction à cette section. Un projet qui comparerait les résultats de l'estimation de la vulnérabilité obtenues avec les différentes méthodes permettrait de mieux juger des résultats présentés sur

la **carte #22 – Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface selon la méthode DRASTIC** (Annexe 1).

Vulnérabilité versus risque

L'indice de vulnérabilité DRASTIC tient compte exclusivement des données du sol et du sous-sol. Par définition, il 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. Toutefois, dans l'état actuel des connaissances, très peu de ces données sont disponibles à l'échelle régionale et les liens entre les aléas de présence d'un contaminant et la vulnérabilité demeurent difficiles à établir (section suivante).

4.5 Activités anthropiques

Les activités anthropiques réfèrent aux activités humaines ayant lieu sur le territoire d'étude. Elles peuvent être de nature industrielle, agricole, domestique ou récréative. Elles sont considérées ici dans le sens de l'impact qu'une activité peut avoir sur la qualité ou, dans une moindre mesure, sur la quantité d'eau souterraine. Il est tentant d'évoquer des notions de *risque* pour discuter de ces activités, toutefois, dans le cadre du PACES-SLSJ, la notion d'*aléa* est la seule qui convienne. En effet, les activités anthropiques constituent un aléa possible qui ne doit pas être confondu avec le risque.

4.5.1 Aléa versus risque

L'aléa doit faire l'objet d'une évaluation précise qui lui est propre. Alors seulement la combinaison de l'aléa avec d'autres informations, comme la vulnérabilité, permet d'introduire la notion de risque. Tel que présenté à la section précédente, les eaux souterraines constitue l'élément vulnérable. Avec une très bonne connaissance de la vulnérabilité et de l'aléa des activités anthropiques vis-à-vis de la contamination de l'eau souterraine, le risque peut donc être déterminé, et les mesures nécessaires pour protéger la ressource peuvent être mises en œuvre (prévention, réglementation, correction, surveillance, etc.) afin de limiter les impacts négatifs comme la contamination de la ressource en eau souterraine.

À l'échelle de la région, il n'existe pas d'évaluation précise de l'aléa des activités anthropiques à l'égard de la contamination de la nappe d'eau souterraine. Bien que les diverses activités ayant cours sur le territoire puissent être localisées, les normes et autres pratiques internes pouvant réduire significativement l'impact d'une activité présentant *a priori* un aléa important à la contamination de l'eau souterraine, ne sont connues qu'à la faveur d'un recensement exhaustif impliquant une prise de donnée sur le terrain. En l'absence de cette connaissance essentielle permettant de quantifier justement l'aléa, toute autre tentative d'interprétation de l'aléa est accompagnée d'un biais méthodologique pouvant entraîner des interprétations erronées (sous-estimation ou surestimation) et pouvant avoir des impacts négatifs sur le milieu, tels des incompréhensions, des actions inappropriées, des impacts économiques, par exemples.

De plus, la valeur attribuée à la ressource par les décideurs régionaux doit aussi être considérée. Ainsi, la combinaison géographique de la vulnérabilité et de la valeur de la ressource permet de déterminer des zones prioritaires d'encadrement (cartographique et règlementaire). Les zones ainsi définies, lorsqu'elles supportent des activités anthropiques, pourront être ciblées pour faire l'objet d'un inventaire précis de l'aléa.

4.5.2 Données disponibles

Dans le cadre du PACES-SLSJ, la **carte #7 – Occupation du sol** (Annexe 1) présentée en introduction à ce rapport représente en sept classes les différents types d'activité sur le territoire. Parmi ces types d'activité, les zones urbaines et les zones agricoles sont les plus susceptibles d'inclure des activités anthropiques présentant un aléa vis-à-vis de la contamination de l'eau souterraine.

4.5.3 Représentation des données et discussion

La Figure 4-36 montre les surfaces couvertes par les zones agricoles et les zones urbaines de la **carte #7 – Occupation du sol** (Annexe 1) regroupées en une seule classe. Les activités anthropiques ainsi définies couvrent 17% du territoire municipalisé, dont 16% se rapporte aux zones agricoles et 1% aux zones urbaines. Toutefois, elles couvrent la majeure partie de la surface des basses terres, aux endroits où se trouvent les accumulations de dépôts meubles, et où la nappe souterraine libre présente les valeurs de vulnérabilité les plus élevées.

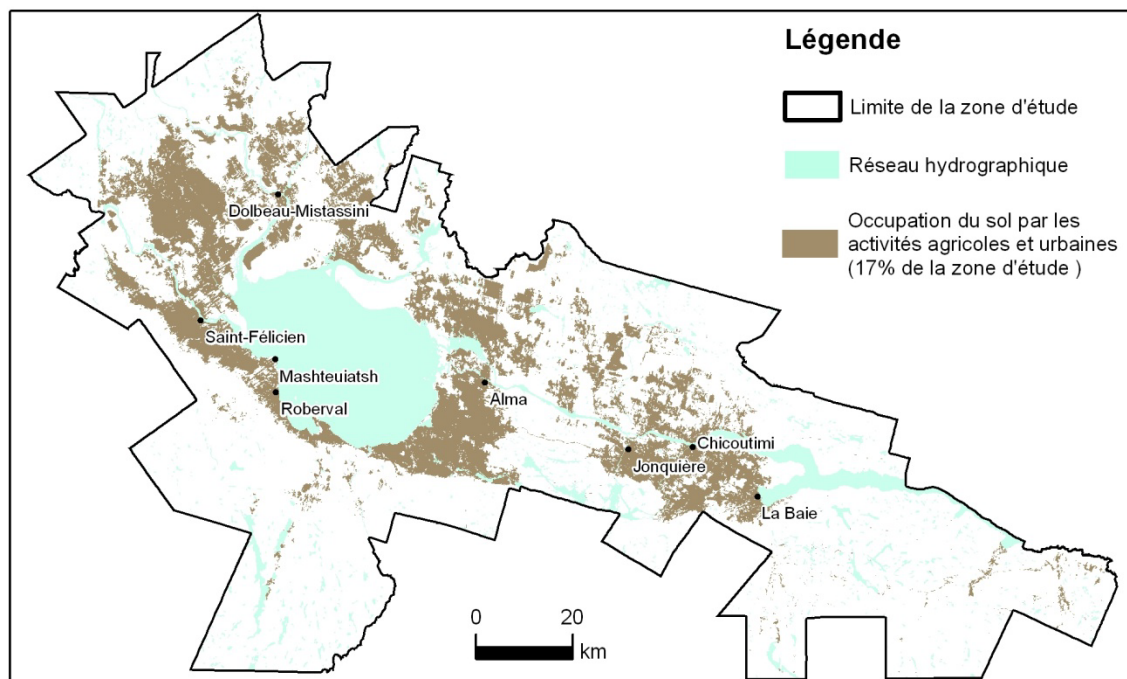


Figure 4-36 : Activités anthropiques (regroupement des zones agricoles et des zones urbaines) extraites de la carte #7 – Occupation du sol

Les surfaces couvertes par les activités anthropiques sont présentées à la Figure 4-37 superposées à la carte de vulnérabilité décrite à la section précédente. Cette superposition fait

ressortir plusieurs secteurs présentant un indice DRASTIC élevé et couverts par une activité anthropique significative ; ces secteurs devraient être soumis à des analyses supplémentaires visant à déterminer le risque de contamination de l'eau souterraine.

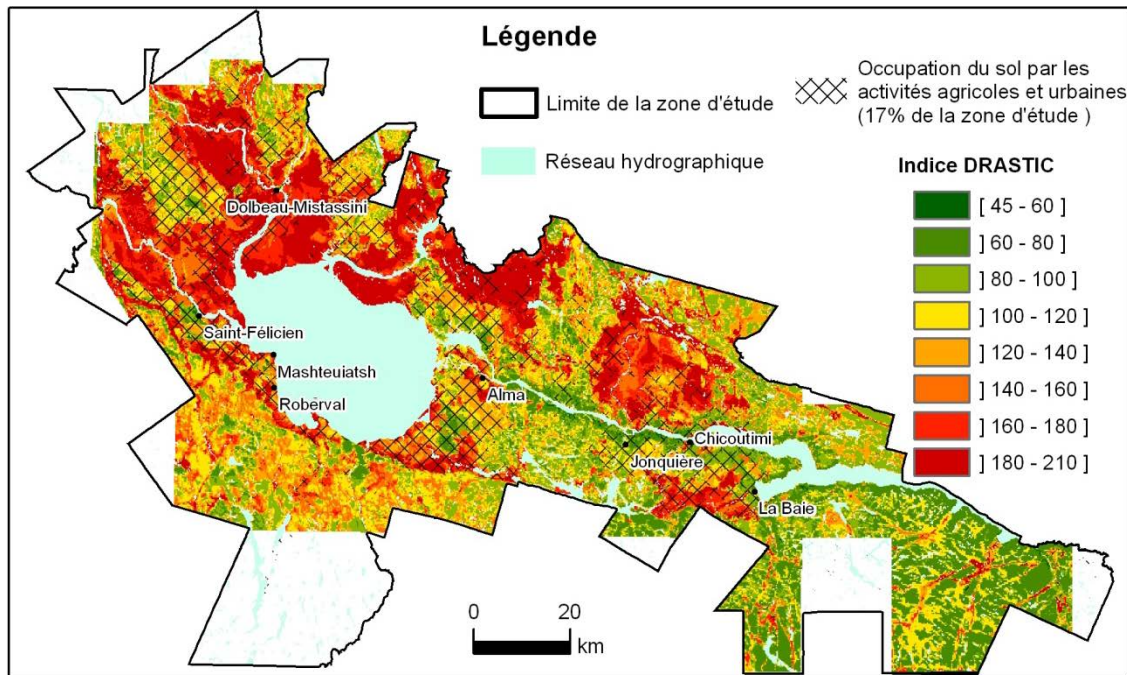


Figure 4-37 : Combinaison des activités anthropiques (zones agricoles et urbaines) extraites de la carte #7 – Occupation du sol) et de la carte de vulnérabilité selon l'indice DRASTIC élaborée dans le cadre du PACES-SLSJ.

Comme il est mentionné en introduction à cette section, la vulnérabilité n'est qu'un paramètre d'évaluation des risques. L'analyse d'un risque de pollution nécessite des éléments complémentaires, notamment :

1- Une identification rigoureuse de l'aléa des sources de pollution par :

- leur localisation;
- le type de polluant;
- leur toxicité;
- leur quantité et leur concentration;
- leur mode de diffusion (air, sol et sous-sol).

2- La détermination des enjeux en fonction d'une zone pour laquelle la vulnérabilité est déterminée. Les enjeux sont fonction d'une valeur locale attribuée à la ressource en eau souterraine. La valeur conditionne alors le risque. Par exemple, dans le cas d'une nappe non exploitée en raison de sa petite quantité ou de sa piètre qualité, l'enjeu sera moindre que dans le cas d'un grand aquifère capté pour son eau d'excellente qualité. Par contre, la vulnérabilité de l'eau souterraine pourrait être la même dans les deux cas.

Une fois que sont déterminés l'aléa de contamination, ainsi que l'enjeu et la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine, le risque peut être évalué. Selon le degré de risque, un

programme comportant un ensemble de moyens (sensibilisation, surveillance, mesures de protection, intervention corrective directe, etc.) pourra être élaboré dépendant de la gravité de la situation. La mise en œuvre des moyens peut être très complexe et très coûteuse. Dans la région du SLSL, les principaux enjeux sont la protection et la valorisation de la ressource en eau souterraine. Pour être en mesure d'intégrer durablement ces notions dans les préoccupations du milieu, il demeure de nouvelles connaissances à acquérir.

Données agricoles incomplètes

D'une part, des données supplémentaires doivent être intégrées dans l'analyse du territoire. Par exemple, les zones agricoles extraites de la **carte #7 – Occupation du sol** (Annexe 1) n'incluent pas les surfaces couvertes par les terres publiques intra-municipales qui servent à plusieurs endroits à la culture des petits fruits (bleuets, canneberges) ou à l'exploitation de matières tourbeuses. Ces activités peuvent présenter des aléas non négligeables pour la contamination de l'eau souterraine (épandage de pesticide, mise en solution du fer, etc.). Une autre source de données, ou la combinaison de plusieurs sources pourraient être envisagées pour pallier cette lacune d'information.

Caractérisation précise de l'aléa

Pour une caractérisation adéquate de l'aléa tel que mentionné précédemment, l'inventaire des sources et des types de pollution doit être réalisé de façon rigoureuse. Cette étape cruciale implique un travail de longue haleine visant à caractériser chaque activité ayant cours sur le territoire en termes de potentiel de contamination de la ressource en eau souterraine.

Données manquantes : volumes d'eau souterraine disponibles

En l'absence de la délimitation tridimensionnelle des principaux aquifères régionaux, les volumes d'eau souterraine disponibles ne peuvent être précisément évalués et il devient difficile de tirer des conclusions sur l'importance des nappes d'eau souterraine en termes de quantité, donc de pérennité et de potentiel économique de la ressource. À cet effet, les coupes stratigraphiques réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ et présentées au chapitre 3, sont une première étape vers la délimitation tridimensionnelle des aquifères de la zone d'étude.

Pour finir, parmi les enjeux régionaux, l'utilisation de l'eau souterraine à des fins d'alimentation en eau potable, en termes de quantité et de qualité, est de grande importance. À nouveau, la détermination des limites physiques des entités aquifères régionales est indispensable à la mise en contexte de l'utilisation de l'eau souterraine dans une perspective de développement durable (protection et mise en valeur). Cependant, les données d'exploitation disponibles et les travaux réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ permettent de dresser un premier portrait de la région du point de vue de la qualité naturelle et de l'utilisation de l'eau souterraine pour répondre aux divers usages des communautés du SLSJ. Ces éléments sont traités au chapitre suivant.

5 L'EAU SOUTERRAINE COMME SOURCE D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Les précédents chapitres ont traité des milieux aquifères et de leurs propriétés physiques, incluant des notions se rapportant à l'eau souterraine. Dans ce chapitre, il est question de l'eau souterraine exclusivement, discutée principalement comme source d'alimentation en eau potable. Elle est alors décrite en termes de contenu en éléments chimiques dissous (section 5.1) et de dépassements des normes et recommandations des critères de potabilité (section 5.2). De plus, les divers usages de l'eau souterraine et le lien entre l'exploitation de l'eau souterraine à des fins d'alimentation en eau potable et les principaux milieux aquifères déterminés dans le cadre du PACES-SLSJ sont aussi présentés (section 5.3).

5.1 Qualité de l'eau souterraine

Les données de qualité d'eau se rapportent à l'hydrogéochimie de l'eau souterraine caractérisée par les éléments organiques et inorganiques en solution. Ces données renseignent notamment sur les milieux géologiques traversés par cette eau et sur d'éventuelles concentrations supérieures aux normes de potabilité, lesquels dépassements peuvent être d'origines anthropique ou naturelle. Très peu d'informations sont disponibles à l'échelle du territoire du SLSJ sur ce sujet, bien que de nombreux cas de mauvaise qualité de l'eau souterraine soient identifiés. Par exemple, sur le territoire de la MRC Maria-Chapdelaine, dans la partie nord de la région, les municipalités ainsi que certains utilisateurs privés se plaignent d'une eau souterraine saumâtre. Des discussions avec les intervenants régionaux ont montré que des cas isolés d'eau à salinité élevée sont aussi observés ailleurs sur le territoire. Une étude menée à l'UQAC (Walter, 2010) a identifié un certain nombre de dépassements des limites prescrites pour les fluorures, l'aluminium, le baryum et le plomb. Plusieurs activités anthropiques (agriculture, élevage, industrie lourde, métallurgie, mine, etc.) représentent des sources possibles de contamination des eaux souterraines de la région.

5.1.1 Données hydrogéochimiques

Plusieurs documents collectés lors de la première phase du projet (chapitre 2) sont accompagnés de certificats d'analyses hydrogéochimiques. Ces derniers sont produits par divers laboratoires d'analyses et sont datés de 1969 à 2010. Les paramètres analysés varient d'un rapport à l'autre, et pour certains points de captage plusieurs analyses sont disponibles lorsqu'elles sont exécutées au moment des essais de pompage (24h, 48h et/ou 72h). L'hétérogénéité des données chimiques existantes limite considérablement l'interprétation qui peut en être faite. D'une part, la méthode d'échantillonnage et les méthodes d'analyse doivent être uniformes pour que les résultats puissent être comparés entre eux, et d'autre part, les échantillons doivent être collectés à des périodes de temps suffisamment rapprochées et analysés pour les mêmes paramètres. Ces exigences ne sont pas respectées avec les données antérieures compilées lors de la première phase du PACES-SLSJ. C'est pourquoi l'examen de la géochimie des eaux souterraines de la région qui suit se base exclusivement sur les résultats des deux campagnes hydrogéochimiques réalisées lors de la seconde phase du PACES-SLSJ. Au total, 354 échantillons ont été collectés en deux périodes d'échantillonnage (2010 et 2011 ; chapitre 2). Parmi ces échantillons, 161 ont été collectés dans les milieux aquifères granulaires et 193 l'ont été dans les milieux aquifères de roc fracturé. La répartition géographique de ces échantillons, ainsi que le type de milieu aquifère de provenance, sont présentés à la Figure 5-1.

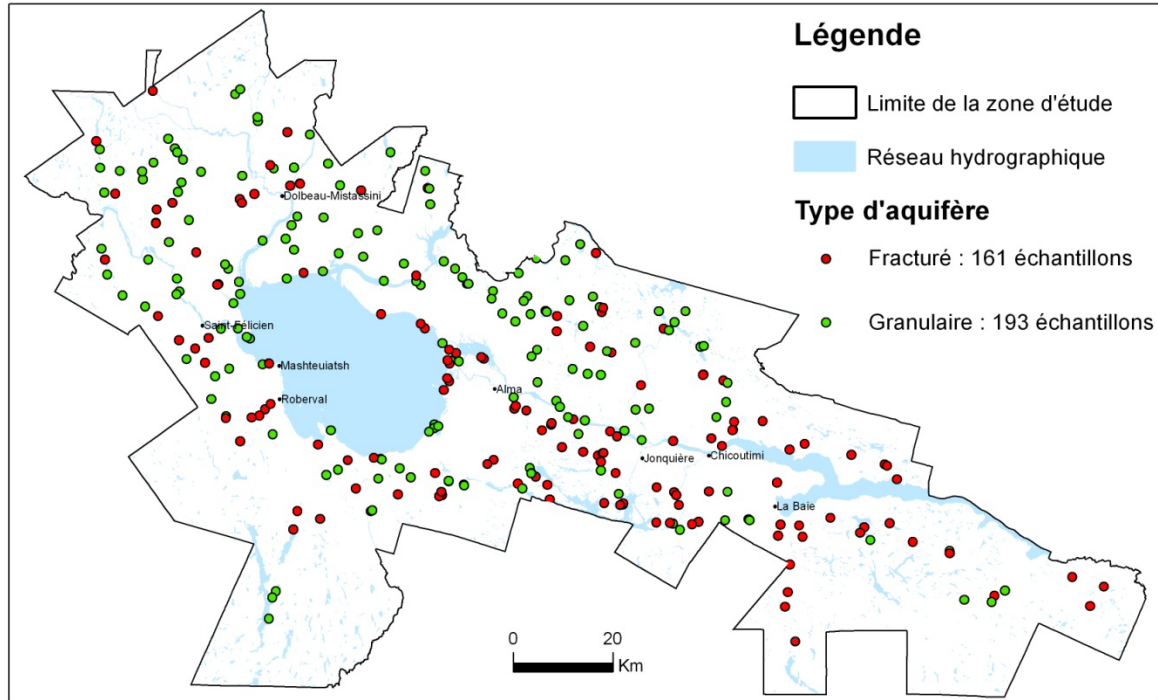


Figure 5-1 : Répartition des échantillons d'eau souterraine en fonction du type de milieu aquifère échantillonné.

Biais d'échantillonnage

La figure 5-1 montre que des milieux aquifères n'ont pu être échantillonnés selon une maille régulière dans certains secteurs de la région. C'est le cas notamment au nord du lac Saint-Jean où peu d'échantillons proviennent du milieu fracturé. Cet endroit est dominé par d'importantes accumulations de dépôts meubles (*carte #15 – Épaisseur des dépôts meubles*; Annexe 1), ce qui dissuade probablement les particuliers à payer de lourdes sommes pour s'alimenter en eau potable à partir de puits tubulaires installés dans le roc. À l'inverse, les secteurs des municipalités de Saint-Rose-du-Nord, de Ferland-Boilleau et de Petit-Saguenay, situés dans les hautes terres, ne présentent aucun échantillon provenant des milieux granulaires. Dans d'autres cas, aucun puits ne s'est avéré disponible à l'échantillonnage. Ces secteurs sont communément situés à proximité d'un centre urbain pour lequel l'eau potable est acheminée par un réseau d'aqueduc étendu (comme par exemple à Roberval et à Saguenay, dans les agglomérations de Chicoutimi et de Jonquière), ou dans un environnement peu urbanisé, comme dans les hautes terres du Graben du Saguenay et dans la plaine entre les municipalités d'Hébertville et d'Alma. Ce biais d'échantillonnage affecte les interprétations qui peuvent être tirées de l'examen des résultats d'analyses hydrogéochimiques. Toutefois, quelques observations méritent d'être présentées, notamment en termes de dépassements de la norme québécoise et des recommandations concernant la potabilité. Préalablement à l'analyse des résultats, la balance ionique est calculée pour évaluer la qualité des analyses chimiques.

5.1.2 Contrôle de la qualité des données (balance ionique)

Le contrôle de la qualité des résultats d'analyse se résume ici à l'examen de la balance ionique (BI) des échantillons calculée sur la base des constituants majeurs (cations : Ca, Mg, Na, K ;

anions HCO_3 , Cl , SO_4). Cette dernière s'exprime en pourcentage d'erreur et se calcule par le rapport de la différence des anions et des cations majeurs sur leur somme, le tout est multiplié par 100. L'intervalle de fiabilité de l'erreur sur la balance ionique a été fixé à $\pm 10\%$ par le GRIES. La Figure 5-2 présente l'histogramme des fréquences (exprimée en nombre d'échantillons) de l'erreur sur la balance ionique. Le nombre initial d'échantillons est de 354.

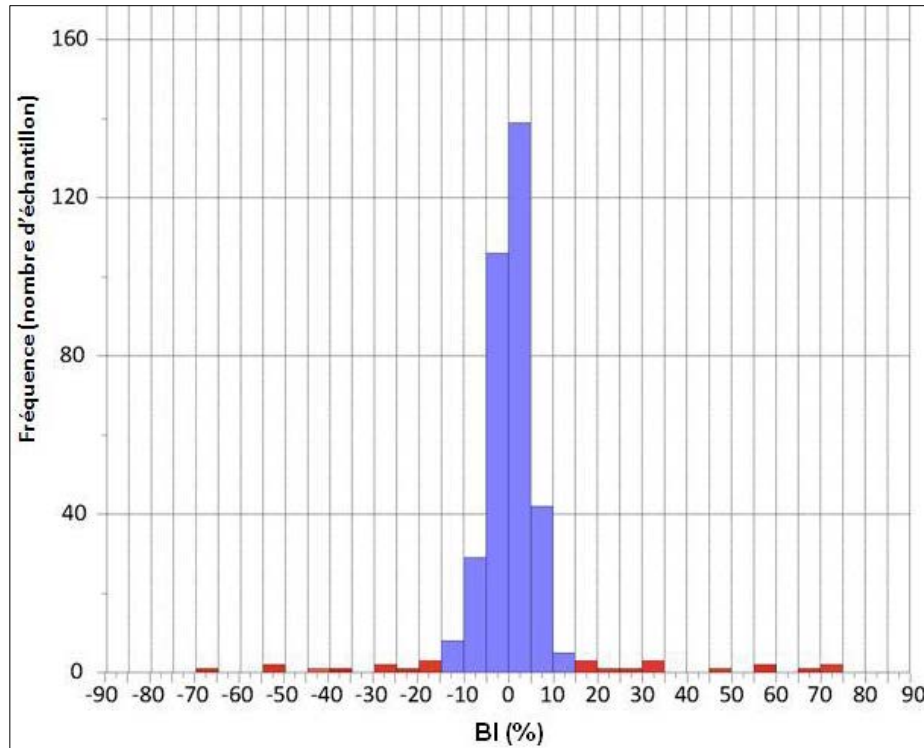


Figure 5-2 : Histogramme des fréquences (nombre d'échantillons) de l'erreur sur la balance ionique.

Cette figure montre que plusieurs échantillons (38) possèdent une balance ionique comprise entre 5 et 10% (\pm), certains présentant parfois des erreurs sur la balance ionique de l'ordre de 70% (\pm). Les autres échantillons (316) présentent une balance ionique comprise entre 0 et 10% (\pm) et sont conservés pour la suite du traitement.

Variabilité de la balance ionique

Dans le cadre du PACES-SLSJ, certaines stations (44) ont été échantillonnées à deux reprises (C1 pour campagne 1; C2 pour campagne 2). Parmi les 88 analyses, 19 présentaient une erreur sur la balance ionique supérieure à 10% (\pm). Une analyse plus poussée réalisée par Chabot (2013), a montré que ces échantillons sont répartis en 3 populations distinctes. La première comprend les échantillons (56) pour lesquels la balance ionique des deux analyses d'un même puits est acceptable, la seconde comprend les échantillons (6) qui présentent une balance ionique inadéquate pour les deux analyses d'un même puits, et finalement, la troisième population se rapporte aux puits (26) pour lesquels la balance ionique est acceptable pour une analyse, mais inadéquate pour l'autre analyse. Ces observations sont résumées au Tableau 5—1.

Pour Chabot (2013), la variation de la balance ionique d'une campagne à l'autre des échantillons de la troisième population est liée à la nature de leur milieu aquifère, à leur type d'eau ainsi qu'à

leur contenu en ions dissous. En effet, les échantillons de cette population sont majoritairement extraits des milieux granulaires et présentent une balance ionique plus variable que les autres. Ces échantillons sont généralement du type bicarbonaté (anion dominant HCO_3^-) et généralement calciques (cation dominant Ca^{2+}).

Tableau 5—1 : Description des populations d'échantillons définies d'après les valeurs de balance ionique calculées à partir de deux analyses d'une même station.

Population	Nombre d'échantillons	Aquifère	Nombre d'échantillons
1 C1 et C2 (B.I < +/- 10%)	56	Socle	30
		Granulaire	26
2 C1 et C2 (B.I > +/- 10%)	6	Socle	4
		Granulaire	2
3 C1 ou C2 (B.I > +/- 10%)	26	Socle	10
		Granulaire	16

Dans la suite du texte, les échantillons dont la balance ionique a été jugée adéquate (316) seront groupés d'après leur type d'eau et leur milieu aquifère, et leurs résultats d'analyses chimiques sont présentés sous la forme de statistiques descriptives.

5.1.3 Statistiques descriptives des analyses d'eau souterraine

L'échantillonnage a été réalisé dans des puits tubulaires alimentant une résidence privée et, dans de rares cas, dans des puits d'alimentation en eau potable d'une municipalité. Il a été effectué selon un protocole rigoureux et uniforme à tous les projets PACES du Québec (protocole P1). Six paramètres physico-chimiques ont été mesurés sur le terrain et quarante paramètres inorganiques de l'eau ont été analysés en laboratoire. Les résultats des mesures de la chimie de l'eau, *in situ* et en laboratoire, ont été intégrés à la base de données spatiales⁵⁶. Pour chaque paramètre, les valeurs données sont décrites ci-après.

- **Limite de détection (LD):** teneur (mg/L) en-dessous de laquelle la mesure analytique d'un élément n'est plus possible. Elle varie d'un ion à l'autre, et pour un même ion, elle fluctue parfois d'une analyse à l'autre. Elle est en grande partie fonction de la qualité de la matrice aqueuse, notamment de la quantité de matière en suspension après filtration. Elle est fournie par le laboratoire avec chaque certificat d'analyse.
- **Nombre de détection (N):** nombre de fois que la teneur (mg/L) d'un élément a été supérieure à la limite de détection pour cet élément. Il représente le nombre d'individus de la population statistique.
- **Minimum (Min):** valeur mesurée la plus faible de l'ensemble des données disponibles. Elle correspond généralement à la limite de détection d'un élément.
- **Premier quartile (Q1):** 25% des valeurs mesurées sont inférieures à cette valeur.
- **Médiane (Médiane):** 50% des valeurs mesurées sont inférieures à cette valeur.
- **Troisième quartile (Q3):** 75% des valeurs mesurées sont inférieures à cette valeur.
- **Maximum (Max):** valeur mesurée la plus élevée de l'ensemble des données disponibles.

⁵⁶ Les données intégrées à la base de données spatiales incluent les analyses qui présentent une erreur sur la balance ionique supérieure à 10% (\pm).

Le Tableau 5—2 présente les résultats statistiques de l'ensemble des données hydrogéochimiques obtenues dans le cadre du PACES-SLSJ. Dans ce tableau, les premières lignes correspondent aux paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain, suivis des résultats d'analyses réalisées en laboratoire. Ces analyses sont classées par ordre décroissant du nombre de détection (N). Généralement, ce classement permet de repérer facilement les éléments majeurs, mineurs et traces. Ce tableau montre notamment que l'alcalinité totale ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$) représente le paramètre le plus communément mesuré dans les analyses d'eau. Les métaux mineurs, malgré des limites de détection très basses (de l'ordre du $\mu\text{g/l}$) sont beaucoup moins fréquents, et lorsqu'ils sont mesurés, leurs teneurs demeurent très faibles.

Toujours dans ce tableau, les valeurs de la médiane attestent de la bonne qualité de l'eau en général. En effet, ces dernières montrent qu'au moins 50% des échantillons présentent des teneurs satisfaisantes pour l'ensemble des paramètres, notamment pour le pH, proche de la neutralité (7.6), et pour la quantité de matière dissoute totale (MDT) qui atteste de l'échantillonnage d'eaux majoritairement douces (250 mg/L). Cette observation est confirmée par le troisième quartile qui démontre que 75% des échantillons prélevés ont une quantité de MDT inférieur à 392 mg/L.

Cependant, la comparaison des valeurs minimales (Min.) avec les valeurs maximales (Max.) montre qu'il existe une extrême variabilité dans le contenu en ions dissous des échantillons. Les teneurs mesurées pour l'alcalinité (Alc. tot.), le calcium (Ca), le sodium (Na) et les chlorures (Cl), pour ne nommer qu'eux, suggèrent la présence d'eaux saumâtres sur le territoire. Dessureault (1975), Simard et Desrosiers (1979), et plus récemment Walter (2010), ont aussi identifié la présence d'eaux salées dans la région. L'origine de cette salinité n'est pas encore établie.

Une première étude basée sur les résultats préliminaires obtenus de 179 échantillons du PACES-SLSJ (Walter *et al.*, 2011) a permis d'identifier quatre groupes d'échantillons d'après leur type d'eau et la nature du milieu aquifère d'où ils proviennent (roc fracturé ou granulaire). La suite du texte constitue une mise à jour de ces résultats préliminaires.

Tableau 5—2 : Résultats statistiques des données hydrogéochimiques obtenues dans le cadre du PACES-SLSJ.

Paramètres	L.D (mg/L)	N	Min.	Q1 25%	Médiane	Q3 75%	Max.
pH	-	316	4,4	6,5	7,6	8,1	10,1
Température (°C)	-	316	1,7	6,9	7,5	8,6	17,5
Ox. dissous (mg/L)	-	316	0	0	1,1	4,5	43,7
Eh (mV)	-	316	-156	-31,5	70,5	101,0	195,2
Cond. spé. (uS/cm)	-	316	4	134	278	470	10140
MDT estimée (mg/L)	-	316	15	153	250	392	7240
Alc. Tot. (mg/L)	1	316	2	52,25	110	170	620
Si (mg/L)	0.1	316	0,1	4,8	5,6	7,1	16
Na (mg/L)	0.1	315	0,89	3,25	11	45,5	1800
Ca (mg/L)	0.1	314	0,12	9,5	23	50	1500
K (mg/L)	0.1	313	0,12	0,96	1,8	3,6	55
Cl (mg/L)	0.05	312	0,14	1,87	8,7	36,25	4200
Mg (mg/L)	0.01	312	0,02	1,47	3,85	8,13	140
Sr (mg/L)	0.002	312	0,003	0,06	0,18	0,5	37
SO4 (mg/L)	0.5	311	0,2	4,5	10	17	420
Ba (mg/L)	0.002	298	0,0025	0,0163	0,0395	0,0898	1,2
Al (mg/L)	0.001	285	0,001	0,004	0,007	0,016	0,230
Dureté estimée (mg/L)	1	279	0,39	37,66	90,35	162,68	3757,86
Mn (mg/L)	0.0004	277	0,0004	0,0029	0,014	0,053	2,40
Zn (mg/L)	0.005	262	0,0016	0,0082	0,015	0,03	0,71
NH4 (mg N/l)	0.02	252	0,02	0,04	0,07	0,21	3
B (mg/L)	0.005	234	0,005	0,011	0,032	0,100	0,75
Pb (mg/L)	0.0001	225	0,0001	0,0002	0,0003	0,0006	0,0073
F (mg/L)	0.1	222	0,1	0,2	0,6	1,5	4,9
Cu (mg/L)	0.0005	220	0,0005	0,0016	0,0045	0,0130	0,35
Mo (mg/L)	0.0005	189	0,0005	0,0010	0,0018	0,0031	0,0240
NO2-NO3 (mg/L)	0.1	154	0,02	0,10	0,30	1,08	8,60
Fe (mg/L)	0.1	142	0,03	0,06	0,13	0,38	18
Ag (mg/L)	0.0001	95	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003	0,009
Ni (mg/L)	0.001	78	0,001	0,001	0,001	0,003	0,02
U (mg/L)	0.001	66	0,001	0,001	0,002	0,003	0,02
Cr (mg/L)	0.0005	48	0,0005	0,0007	0,0010	0,0016	0,011
Br (mg/L)	0.1	42	0,1	0,4	1,5	6,1	45,0
Li (mg/L)	0.01	35	0,01	0,01	0,01	0,02	0,57
P. inorg. (mg/L)	0.03	22	0,04	0,05	0,07	0,10	0,50
V (mg/L)	0.002	22	0,002	0,002	0,003	0,003	0,012
Co (mg/L)	0.0005	17	0,0006	0,0010	0,0013	0,0025	0,0066
Sulfures (mg/L)	0.02	15	0,02	0,05	0,16	0,55	16,00
Cd (mg/L)	0.0002	9	0,0002	0,0003	0,0003	0,0007	0,0007
Sb (mg/L)	0.001	9	0,001	0,001	0,001	0,002	0,005
Sn (mg/L)	0.001	4	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
Ti (mg/L)	0.001	3	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004
Be (mg/L)	0.0005	2	0,0008	0,0017	0,0026	0,0035	0,0044
As (mg/L)	0.001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bi (mg/L)	0.00025	1	0,00070	0,00070	0,00070	0,00070	0,00070
Se (mg/L)	0.001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

5.1.4 Types d'eau

Le diagramme de Durov (1948), construit sur la base des teneurs relatives (en meq/l) des ions majeurs en solution (Figure 5-3) permet de visualiser la distribution de la composition des échantillons. Ce graphique permet de distinguer facilement les échantillons de type bicarbonaté (Na-Ca)-HCO₃ de ceux de type chloruré (Na-Ca)-Cl. Cette distinction est communément employée dans la littérature pour distinguer des eaux souterraines dont la signature se rapproche de celles à salinité élevée (type chloruré), de celles dont la signature se rapproche de l'eau douce de recharge récente (type bicarbonaté) (Gascoyne et Kamineni, 1994; Tóth, 1999).

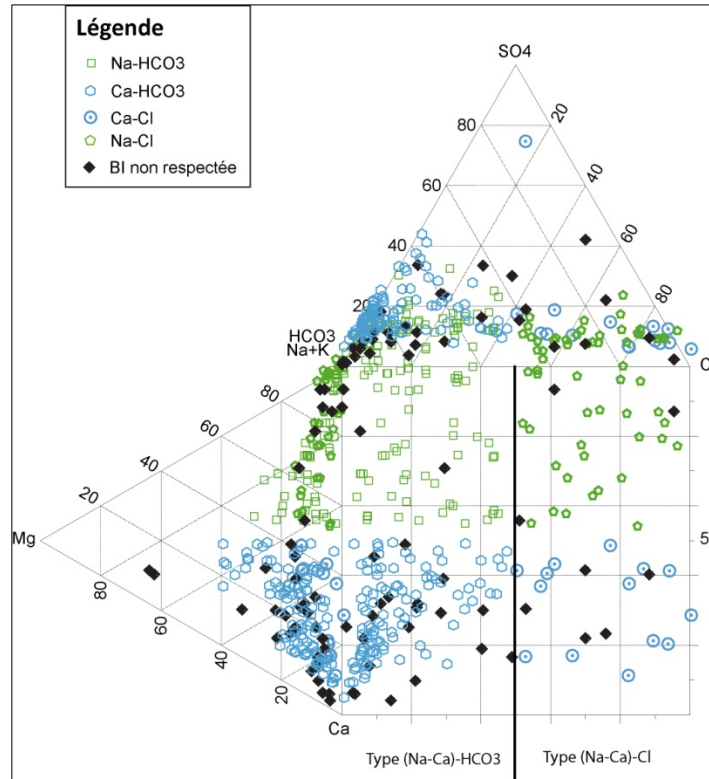


Figure 5-3 : Diagramme de Durov des échantillons collectés dans le cadre du PACES-SLSJ.

Sur la figure 5-3, les échantillons pour lesquels l'analyse hydrochimique ne présente pas une balance ionique acceptable (38) sont aussi projetés. Ils sont majoritairement de type Ca-HCO₃ (20), ce qui est conforme aux observations de Chabot (2013). Les échantillons de chaque type d'eau peuvent ensuite être différenciés d'après le type d'aquifère correspondant au milieu échantillonné. La combinaison du type d'eau et du type d'aquifère permet de distinguer 4 groupes d'échantillons distincts (pour chaque groupe un tableau statistique identique au précédent est présenté à l'Annexe 5:

- 1) Roc fracturé / (Na-Ca)-HCO₃ (127 échantillons);
- 2) Roc fracturé / (Na-Ca)-Cl (26 échantillons);
- 3) Granulaire / (Na-Ca)-HCO₃ (144 échantillons);
- 4) Granulaire / (Na-Ca)-Cl (19 échantillons).

5.1.5 Corrélation entre les milieux aquifères et les types d'eau

La chimie de l'eau souterraine est caractéristique des milieux qu'elle traverse et son contenu en ions dissous reflète son évolution dans le temps. Les groupes d'eau présentés à la section précédente sont définis par l'anion majeur dominant dans la solution aqueuse et par le milieu aquifère d'où provient l'échantillon. De plus, des sous-groupes peuvent être établis en fonction du cation dominant (calcium ou sodium), ce qui atteste en partie de l'évolution géochimique de l'eau souterraine. Dans la suite du texte, le contenu en calcium et en sodium des échantillons de cette étude, puis les groupes d'eau, sont discutés en fonction de leur localisation.

Contenu en calcium (Ca) et en sodium (Na)

La proportion des cations majeurs (calcium et sodium) de tous les échantillons est montrée à la Figure 5-4. Les échantillons prélevés dans le roc au cœur du graben présentent généralement un contenu cationique dominé par le sodium (Na^{2+}), contrairement aux échantillons prélevés au sud, dominés par le calcium (Ca^{2+}). À l'inverse, le contenu cationique des échantillons prélevés dans le granulaire est généralement dominé par le calcium, à l'exception de quelques-uns situés dans la portion nord-ouest de la zone d'étude et de quelques cas au cœur du seuil de Kénogami et au nord de Chicoutimi. Le contenu en calcium ou en sodium peut-être expliqué par divers phénomènes, comme par exemple la précipitation de calcite dans les fractures (retrait du calcium dissous), la substitution ionique du sodium au calcium, notamment dans la structure cristalline des argiles minéralogiques, ou l'altération des feldspaths plagioclases qui libère l'un ou l'autre des cations en fonction de l'espèce minérale considérée (Na^{2+} , albite ; Ca^{2+} , anorthite). Une meilleure connaissance du contenu en calcium et en sodium des divers minéraux constitutifs des roches du substratum de la région, corrélée à l'étude des mécanismes de dissolution de ces minéraux permettrait d'expliquer les différences de concentration observées à la Figure 5-4, et éventuellement de faire des liens avec d'autres éléments chimiques présents dans l'eau souterraine.

Pour les eaux de type bicarbonaté, le calcium domine lorsque l'eau est récente (eau de pluie), et le sodium apparaît sous la forme dissoute dans les premiers mètres de terrain lors de l'infiltration (Gascoyne et Kamineni, 1994). Une meilleure connaissance de l'origine de l'eau souterraine permettrait d'anticiper son évolution dans le temps et une éventuelle dégradation de sa qualité.

Au SLSJ, la différence de contenu en calcium et en sodium, particulièrement dans le socle rocheux, peut indiquer un temps de transit plus rapide au sud entre l'entrée dans l'aquifère et le point de captage, et atteste en partie de la différence de composition minéralogique des milieux aquifères fracturés au nord et au sud du Saguenay. Les variations du contenu en calcium et en sodium sont possiblement accompagnées de variations de teneurs en d'autres éléments chimiques. Cette hypothèse n'a pas été investiguée dans le cadre du PACES-SLSJ. Toutefois, d'autres observations ont été réalisées et sont présentées dans ce qui suit.

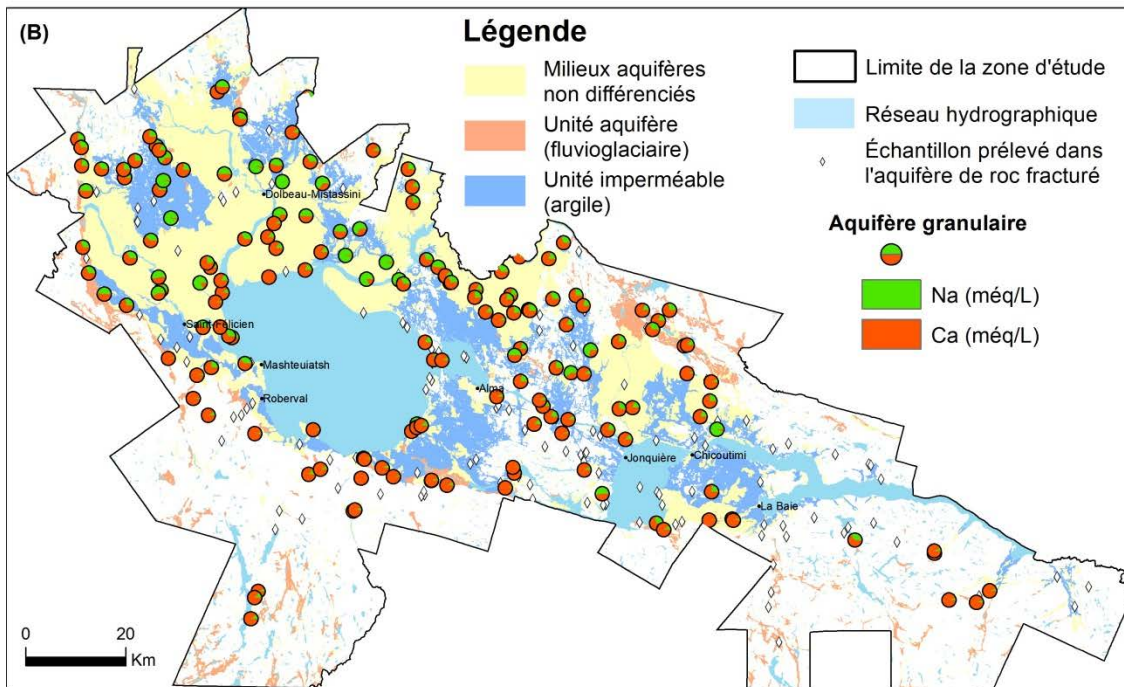
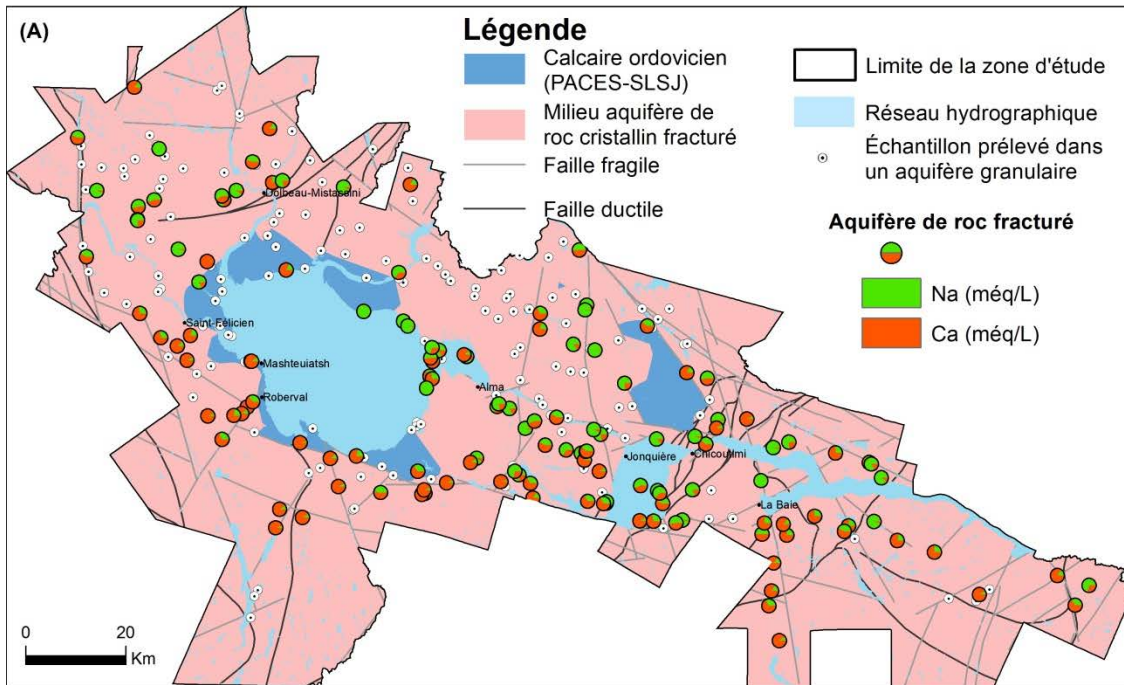


Figure 5-4 : Proportion entre le calcium et le sodium des échantillons collectés dans le cadre du PACES-SLSJ et localisés dans le roc fracturé (A) et en milieu granulaire (B).

Localisation des groupes d'eau

La Figure 5-5 présente les quatre groupes d'eau identifiés à la section 5.1.4. Les échantillons sont superposés aux milieux aquifères granulaires (Figure 5-5B) et aux milieux aquifères de roc fracturé (Figure 5-5A), dont les principaux éléments de géologie structurale sont présentés (failles fragiles, failles ductiles; chapitre 3). À l'échelle des cartes, et considérant le biais

d'échantillonnage, il paraît hasardeux d'interpréter l'origine de la provenance des types d'eau, toutefois, certaines observations notables méritent d'être discutées.

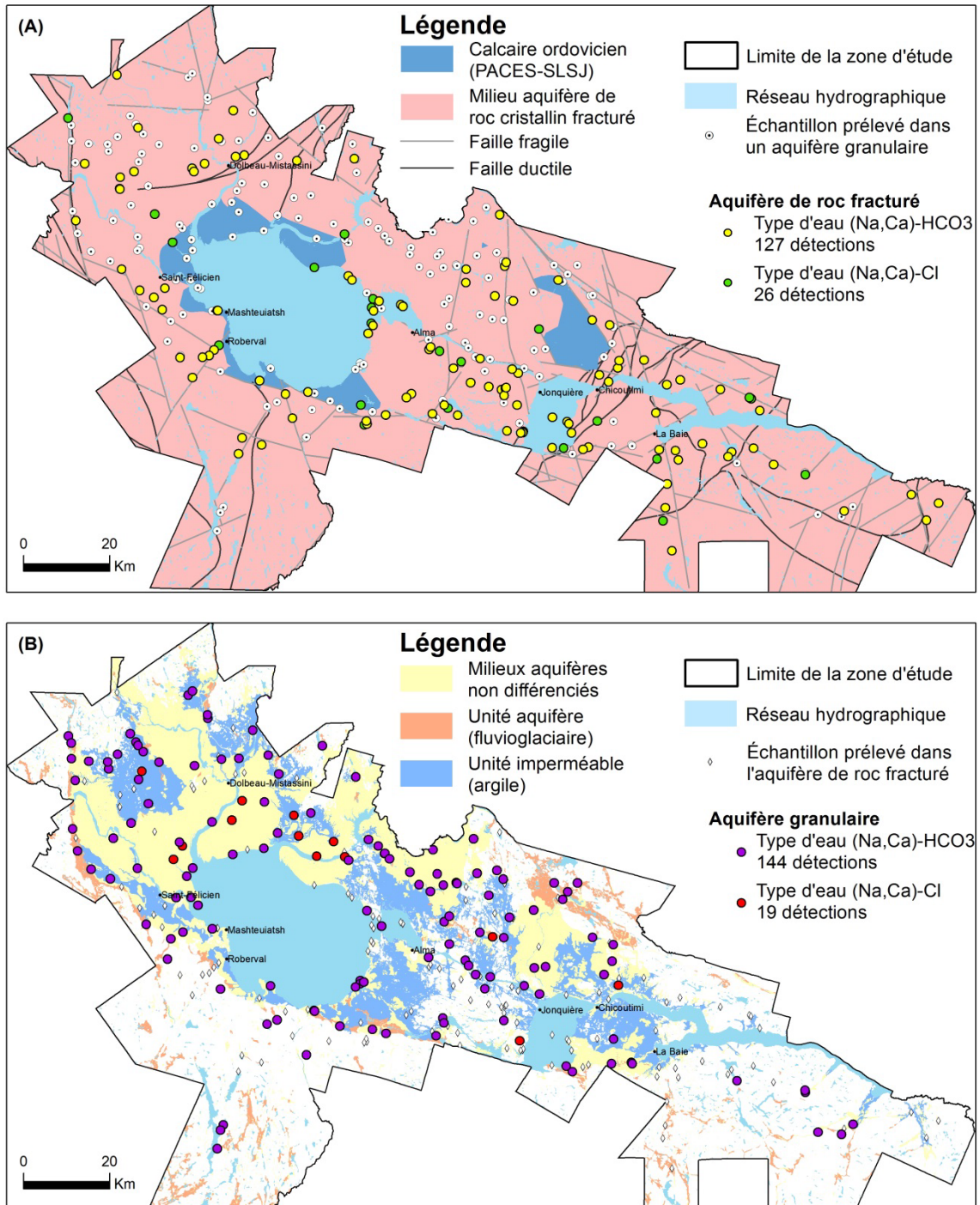


Figure 5-5 : Répartition des groupes d'eau en fonction des milieux aquifères de roc fracturé (A) et des milieux aquifères granulaires (B).

Les eaux à salinité élevée (type chloruré ; [Na, Ca] - Cl)

Les eaux souterraines à salinité élevée observées dans la région SLSJ peuvent résulter de plusieurs facteurs hydrogéologiques, dont quatre sont brièvement discutés dans le texte qui suit.

a. Résurgences d'eaux souterraines profondes

Les eaux souterraines de type chloruré sont en grande majorité situées dans les basses terres, à proximité du lac Saint-Jean. La **carte #19 – Piézométrie régionale** (Annexe 1) suggère la convergence des lignes d'écoulement en direction du lac, faisant de lui une zone de décharge préférentielle. Les eaux de décharge ayant circulé à plus grande profondeur sont connues pour être fortement minéralisées (Frape et Fritz, 1987; Tòth, 1999). Dans un contexte de graben, les hautes terres pourraient permettre une infiltration en profondeur de l'eau météoritique, ce qui augmenterait le temps de transit de l'eau souterraine vers sa zone de décharge et donc, tendrait à accroître son contenu en minéraux dissous. Selon la littérature, l'accroissement du contenu minéral de l'eau souterraine traduit dans certains cas une augmentation de la profondeur et du temps de résidence dans l'aquifère (Kehew, 2001). Une meilleure compréhension de la dynamique temporelle de la mise en solution de certains ions caractéristiques, corrélée à l'hydrogéochimie d'eaux particulièrement salées (comme au site de Saint-Méthode foré dans le cadre du PACES-SLSJ, où la quantité de MDT est supérieure à 5,000 mg/L) aiderait à mieux comprendre l'écoulement de l'eau souterraine au SLSJ.

b. Milieux aquifères de roc calcaire

Les travaux de terrain du PACES-SLSJ ont permis d'étendre considérablement la surface reconnue comme étant couverte par le roc calcaire dans la région (chapitre 3). La nouvelle interprétation générée dans le PACES-SLSJ a prolongé l'étendue des calcaires sous la totalité du lac Saint-Jean et même à sa marge nord. L'hydrogéochimie de l'eau souterraine dans ces milieux aquifères est très peu documentée mais leur association spatiale avec les échantillons de type chloruré n'est peut-être pas fortuite. Des études plus spécifiques qui corrèleraient par exemple la géochimie des milieux calcaires avec l'hydrogéochimie de l'eau qu'ils contiennent, notamment à l'aide du forage réalisé sur le site de Vauvert (S104) dans le cadre du PACES-SLSJ, permettraient de mieux comprendre l'impact de ces formations sur la qualité de l'eau.

c. Argiles de la mer Laflamme

Pour Dessureault (1975), les argiles de la mer Laflamme sont à l'origine de la salinité des eaux souterraines retrouvées dans certains aquifères granulaires de la région. Cette affirmation semble supportée par la présence de sodium (en proportion relative plus grande que le calcium) et de chlorures dans les environnements dominés par d'épais dépôts d'argile, au nord et au nord-ouest du lac Saint-Jean. L'étude de Walter (2010), basée sur l'échantillonnage hydrogéochimique d'une quarantaine de sites, met aussi en évidence la signature d'eau de mer d'un certain nombre d'échantillons, notamment dans le secteur de la municipalité de Péribonka et de Sainte-Jeanne-d'Arc.

d. Eau de fonte glaciaire

Finalement, une troisième origine pour les eaux souterraines retrouvées au SLSJ est proposée par Roy *et al.* (2011). Ces auteurs proposent que des eaux sous-glaciaires se soient infiltrées dans le socle rocheux au moment de la déglaciation, il y a 10 000 ans. Le temps de résidence serait alors suffisant pour l'évolution de cette eau vers une eau salée. Cette troisième origine demeure toutefois au stade d'hypothèse.

Les eaux douces (type bicarbonaté; [Na, Ca] – HCO₃)

Dans le cadre de l'échantillonnage réalisé lors du PACES-SLSJ, les eaux souterraines du type chloruré demeurent marginales en comparaison aux eaux souterraines du type bicarbonaté. Comme le montre les tableaux statistiques à l'Annexe 5, le contenu ionique de l'eau souterraine de type bicarbonaté est généralement très faible et les différences qui existent entre l'eau provenant des milieux aquifères fracturés et celle provenant des milieux aquifères granulaires sont négligeables. Il demeure que la médiane des échantillons du type bicarbonaté provenant du roc fracturé est légèrement supérieure à celles des échantillons provenant du granulaire pour plusieurs autres paramètres que ceux présentés plus haut, comme par exemple pour les chlorures (Cl), les sulfates (SO₄) et le magnésium (Mg). Une analyse statistique plus fine, notamment à l'aide de techniques multi-variables pourrait permettre de faire ressortir les grandes tendances hydrogéochimiques de ces échantillons, et éventuellement de statuer sur le caractère intrinsèque de certains paramètres chimiques à un groupe d'eau en particulier.

En général, la campagne d'échantillonnage hydrogéochimique atteste de l'excellente qualité naturelle de l'eau souterraine dans la région bien que certains dépassements des critères de potabilité ont été identifiés.

5.2 Potabilité de l'eau souterraine

L'objectif est d'établir le portrait de la qualité de l'eau souterraine à l'égard de normes et de recommandations utilisées pour qualifier le caractère potable d'une eau au Québec et au Canada par rapport à des substances inorganiques. Les recommandations proviennent des *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (CFPT, 2012). Les normes de potabilité utilisées, et qui ont préséance partout au Québec, sont tirées du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* c. Q-2, r. 40 (MDDEFP, 2012). Dans la suite du texte, les normes et recommandations sont divisées en deux groupes : concentrations maximales acceptables (CMA) et objectifs esthétiques (OE) (Tableau 5—3).

Tableau 5—3 : Normes et recommandations de l'eau potable utilisées dans le cadre des projets PACES (tiré du protocole P1).

Paramètres	Unités	OE	CMA
Normes du Règlement sur la qualité de l'eau potable (MDDEFP, 2012)			
Antimoine (Sb)	mg/L		0.006
Arsenic (As)	mg/L		0.010
Baryum (Ba)	mg/L		1
Bore (B)	mg/L		5
Cadmium (Cd)	mg/L		0.005
Chrome (Cr)	mg/L		0.050
Cuivre (Cu)	mg/L	≤ 1	
Fluorures (F)	mg/L		1.5
Nitrites - Nitrates (NO ₂ - NO ₃)	mg N/L		10
pH	sans unités	6.5 - 8.5	
Plomb (Pb)	mg/L		0.010
Sélénium (Se)	mg/L		0.010
Uranium (U)	mg/L		0.020
Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (CFPT, 2012)			
Aluminium (Al)	mg/L	0.1	
Chlorures (Cl)	mg/L	≤ 250	
Dureté totale ¹	mg CaCO ₃ /L	entre 200 et 500: médiocre, mais tolérable >200 - <500 intolérable >500	
Fer (Fe)	mg/L	≤ 0.3	
Manganèse (Mn)	mg/L	≤ 0.05	
Matière dissoute totale (MDT)	mg/L	≤ 500	
Sodium (Na)	mg/L	≤ 200	
Sulfures comme H ₂ S	mg/L	≤ 0.05	
Sulfates	mg/L	≤ 500	
Température	°C	≤ 15	
Zinc (Zn)	mg/L	≤ 5.0	

¹: Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable (2010) Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Tableau sommaire. Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé de l'environnement, décembre 2010, 16p.

Chaque sous-section est accompagnée de cartes dont l'élaboration est expliquée en détail au protocole P1. Sur ces cartes, la légende se lit comme suit :

- La grosseur du point est proportionnelle au nombre de dépassement enregistré à cette station quels que soient les critères considérés (norme et recommandations);
- La forme du point correspond au type de milieu aquifère;
- La couleur du point représente l'espèce chimique (ou la combinaison de plusieurs espèces chimiques) qui ne respecte pas la recommandation ou la norme.

5.2.1 Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques (OE)

A. Dépassements des éléments majeurs et des paramètres *in situ*

Les dépassements d'objectifs esthétiques présentés dans les Recommandations sur la qualité de l'eau potable au Canada, pour les éléments majeurs et les paramètres mesurés *in situ*, sont montrés sur la **carte #25(b) – Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques, Dépassements pour les éléments majeurs et pour les paramètres *in situ*** (Annexe 1)

accompagnée d'un tableau synthèse. Ce tableau est repris ci-dessous (Tableau 5—4). Chaque paramètre présenté dans ce tableau est discuté dans la suite du texte.

Tableau 5—4 : Dépassements des objectifs esthétiques pour les ions majeurs et les paramètres mesurés in situ (Recommandations sur la qualité de l'eau potable au Canada).

Paramètre	Nb	Nb détections	LD*	Min.	25%	Médiane	75%	Max.	OE	Nb dépassements
Cl (mg/L)	316	312	0,05	0,14	1,9	8,7	36,25	4200	250	23
Dureté (mg/L)	316	279	-	0,39	36,65	88,4	162,7	3757	200	51
MDT (mg/L)	316	316	-	15	136	248	396	7240	500	40
Na (mg/L)	316	315	0,1	0,89	3,3	11	45,5	1800	200	20
pH	316	316	-	4,38	6,48	7,57	8,1	10,1	6,5 8,5	110
Sulfures (mg/L)	15	15	0,02	0,02	0,05	0,16	0,55	16	0,05	11
Temp (°C)	316	316	-	1,68	6,9	7,49	8,64	17,5	15	5

* LD : limite de détection

Le pH

Les dépassements de l'intervalle permis du pH (6,5 – 8,5) sont les plus nombreux (35% des échantillons) du Tableau 5—4. Comme le montre la **carte #25(b) – Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques, Dépassements pour les éléments majeurs et pour les paramètres In situ** (Annexe 1), ces dépassements sont généralement associés aux milieux aquifères de type granulaire. En effet, le premier quartile (25%) des échantillons prélevés dans les milieux granulaires présente invariablement un pH inférieur à la limite inférieure fixée par les recommandations (Annexe 5). Cependant, les valeurs médianes et les maxima obtenus, quel que soit le type d'eau, sont plus élevés dans les milieux fracturés. Aussi, le troisième quartile (75%) des échantillons du type d'eau (Na, Ca)-HCO₃ indique que 25% d'entre eux possède un pH supérieur à 8,5. Les milieux granulaires semblent donc caractérisés par des valeurs de pH généralement faibles, un échantillon sur quatre ne respectant pas les objectifs esthétiques de ce paramètre (<6,5), et les milieux aquifères fracturés montrent des pH majoritairement supérieurs à ceux de l'eau souterraine des milieux granulaires, avec un échantillon sur quatre présentant un pH ne respectant pas la limite supérieure recommandée pour le pH.

La dureté, la matière dissoute totale (MDT), le sodium et les chlorures

Les dépassements (17% des échantillons) des objectifs esthétiques (500 mg/l) de la dureté sont majoritairement situés sur la marge sud du Graben du Saguenay, ce qui renforce les observations formulées en début de section. Ces dépassements semblent être identifiés en grande partie dans les milieux aquifères granulaires. Toutefois, les dépassements les plus importants, dont le maximum est 3,757 mg/l, sont atteints par des échantillons provenant des milieux aquifères fracturés. La plupart des dépassements des critères objectifs de la dureté sont associés aux groupes d'eaux (Na, Ca)-Cl (eaux généralement salées), ce qui explique pourquoi la majorité de ces échantillons dépassent également les objectifs esthétiques des chlorures (250 mg/l), du sodium (200 mg/l) et de la matière dissoute totale (500 mg/l).

Les sulfures

Les échantillons analysés pour les sulfures ont été sélectionnés au moment de la collecte sur le terrain. Les sulfures sont contenus sous forme de gaz dans l'eau. Lorsqu'ils sont présents, ils dégagent une forte odeur de soufre (œuf pourri). L'odeur doit généralement être très forte pour qu'elles soient détectées à l'analyse. Plusieurs échantillons ont été prélevés mais seulement quinze d'entre eux ont retourné des résultats au-dessus de la limite de détection. Parmi ces échantillons, cinq dépassent l'objectif esthétique pour les sulfures (0,05 mg/l). Les données factuelles récoltées sur le terrain attestent que les occurrences de sulfures dans l'eau souterraine sont communément identifiées qualitativement (odeur) autour du lac Saint-Jean, ainsi qu'au cœur du seuil de Kénogami. L'occurrence la plus forte (16 mg/l) est identifiée au sud du lac Léon, dans la municipalité de Labrecque, à la limite ouest du seuil de Kénogami (**carte #25(b) – Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques, Dépassesments pour les éléments majeurs et pour les paramètres In situ**; Annexe 1). Tous les échantillons (15) contenant des sulfures présentent des valeurs de pH variant de 8 à 10. Parmi ces échantillons, 11 ont été échantillonnés au sein de milieux rocheux fracturés dont 9 correspondent à des eaux de type bicarbonaté (HCO_3). Les autres échantillons (4) sont aussi du type bicarbonaté et proviennent du granulaire. A la lumière de ces observations, l'eau douce semble plus propice à contenir des sulfures, notamment dans le roc. Un nombre plus élevé d'échantillons permettrait de confirmer cette hypothèse.

La température

La température est supérieure au critère objectif (15°C) pour des échantillons provenant du granulaire (5), quel que soit le type d'eau. Parmi les échantillons collectés dans le cadre du PACES-SLSJ, lorsque la température est supérieure à la limite recommandée elle est toujours associée à un autre dépassement (pH, H_2S ou la dureté).

B. Dépassesments des ions métalliques

Les dépassements d'objectifs esthétiques présentés dans les recommandations sur la qualité de l'eau potable au Canada pour les éléments majeurs et les paramètres mesurés *in situ* sont montrés sur la **carte #25(a) – Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques, Dépassesments pour les ions métalliques** (Annexe 1) accompagnée d'un tableau synthèse. Ce tableau est repris ci-dessous (Tableau 5—5). Chaque paramètre présenté dans ce tableau est discuté dans la suite du texte.

Tableau 5—5 : Dépassesments des objectifs esthétiques pour les ions métalliques (Recommandations sur la qualité de l'eau potable au Canada)

Paramètre	N	N détection	LD	Min.	25%	Médiane	75%	Max.	OE	N dépassements
Al (mg/L)	316	285	0,001	0,001	0,004	0,007	0,016	0,23	0,1	6
Fe (mg/L)	316	142	0,1	0,03	0,062	0,13	0,375	18	0,3	44
Mn (mg/L)	316	277	0,0004	0,0004	0,003	0,014	0,05	2,4	0,05	73

Aluminium

Les dépassements (2% des échantillons) du critère esthétique de l'aluminium (0,1 mg/l) sont majoritairement situés sur la marge nord du Graben du Saguenay. Le maximum (0,23 mg/l) a été mesuré dans le secteur de la municipalité de Saint-Ambroise, à une dizaine de kilomètres à l'est de la rivière Shipshaw. Une valeur plus élevée (0,77 mg/l) a été mesurée dans un échantillon prélevé au site de Vauvert (S104) dans un puits du PACES-SLSJ (PZ-S104-R ; chapitre 3) foré dans le roc. Cet échantillon ne fait pas partie de l'étude de potabilité car les résultats de son analyse chimique ne présentent pas une balance ionique acceptable (-55%). Les causes n'ont pas été identifiées à ce jour et il est donc préférable de ne pas se servir de ces résultats autrement que pour des observations ponctuelles. L'aluminium n'a pas été considéré dans le calcul de la balance ionique. Pour cette raison, la teneur en aluminium de cet échantillon est considérée valable. La source de l'aluminium dans l'eau est variée. Sa concentration dans l'eau souterraine peut être expliquée par le lessivage des argiles ou par l'altération des roches ignées. La limite de détection de ce paramètre étant très basse, il est facilement détectable (90% des échantillons). L'étude des variations de teneurs de ce paramètre pourrait s'avérer utile à déterminer la provenance de l'eau dans certains cas, à condition de connaître les mécanismes à l'origine de sa mise en solution.

Fer

Le fer présente un nombre plutôt important (14% des échantillons) de dépassements du critère esthétique (0,3 mg/l). La teneur maximale enregistrée est de 18 mg/l. Elle provient d'un échantillon d'eau de type chloruré (Cl) prélevé dans le milieu aquifère fracturé sur les rives est du lac Saint-Jean, dans le secteur de la Dam-en-Terre (Ville d'Alma). Néanmoins, les résultats statistiques de cette étude montrent que 25% des échantillons d'eau de type bicarbonaté (HCO_3) prélevés dans les milieux aquifères granulaires ont une teneur en fer supérieure à 1 mg/l (Annexe 5). Un échantillon prélevé dans un puits du PACES-SLSJ, dans le secteur Vauvert (PZ-S104-DS), présente la teneur record de 60 mg/l. Il provient du milieu granulaire superficiel (sables hétérogènes). Tel que décrit au chapitre 3, ce dernier est installé dans une tourbière, et non loin d'une plantation de bleuets. Ces deux contextes sont connus pour leurs sols acides et riches en fer. En général, les dépassements des critères esthétiques pour le fer sont observés un peu partout sur le territoire et environ la moitié des dépassements est associée à des dépassements du critère esthétique du manganèse.

Manganèse

Une récente étude menée sur une population d'enfants québécois d'âge scolaire exposés au manganèse présent dans l'eau souterraine a suggéré à ces auteurs que cette exposition pouvait causer des désordres moteurs et des déficits cognitifs (Bouchard et al., 2011). Les auteurs prônent une réglementation plus stricte des taux de manganèse dans l'eau. Au SLSJ, environ 25% des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude dépasse le critère esthétique actuel du manganèse (0,05 mg/l). D'après les résultats statistiques obtenus (Annexe 5), comme le fer, le manganèse présente des teneurs généralement plus élevées dans les échantillons d'eau de type bicarbonaté (HCO_3), prélevés dans les milieux granulaires. Au site de Vauvert (S104), l'échantillon prélevé dans le forage PZ-S104-DS a enregistré une teneur de 0,37 mg/l. La répartition des concentrations en manganèse mesurées dans le cadre du PACES-SLSJ ne montre pas d'association spatiale claire entre la concentration et le milieu aquifère (Figure 5-6).

Toutefois, bien que des concentrations moyennes à élevées de manganèse soient réparties aléatoirement sur le territoire d'étude, certains secteurs en semblent dépourvus (Figure 5-6). C'est le cas notamment d'une bande continue orientée est-ouest traversant les territoires des municipalités de Saint-David-De-Falardeau, Saint-Ambroise, Saint-Nazaire et Labrecque. Aussi, à la limite ouest du Graben du Saguenay, dans le secteur du Lac-à-Jim (municipalité de Saint-Thomas-Didyme), plusieurs échantillons ont été prélevés dans les milieux aquifères de type granulaire et fracturé sans qu'aucun dépassement n'ait été enregistré. L'association entre le fer et le manganèse semble actuellement la meilleure piste d'investigation connue pour chercher une origine au manganèse dissous.

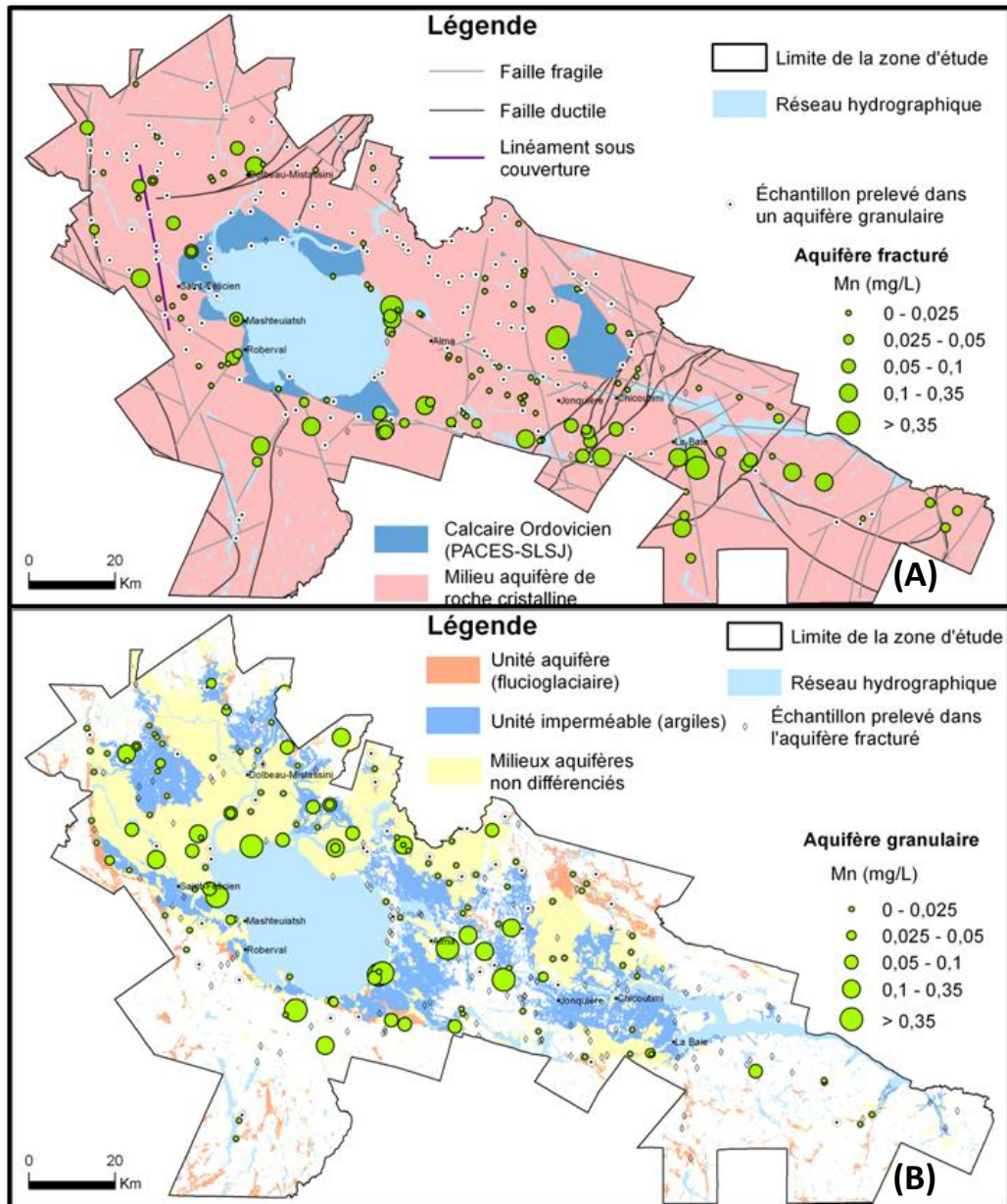


Figure 5-6 : Répartition des concentrations en manganèse (Mn) des échantillons d'eau souterraine collectés dans le cadre du PACES-SLSJ dans les milieux aquifères fracturés (A) et granulaires (B).

5.2.2 Qualité de l'eau en fonction des concentrations maximales acceptables (CMA)

Les dépassements des concentrations maximales acceptables présentées dans le *Règlement sur la qualité de l'eau potable du Québec* sont montrés sur la **carte #24 – Qualité de l'eau en fonction des concentrations maximales acceptables (CMA)** (Annexe 1) accompagnée d'un tableau synthèse. Ce tableau est repris ci-dessous (Tableau 5—6). Chaque paramètre présenté dans ce tableau est discuté dans la suite du texte.

Tableau 5—6 : Dépassements des maximum acceptables (*Règlement sur la qualité de l'eau potable*).

Paramètre	N	N détection	L.D	Min.	25%	Médiane	75%	Max.	CMA	N dépassements
Ba (mg/L)	316	298	0,002	0,002	0,016	0,039	0,090	1,2	1,00	1
F (mg/L)	316	222	0,1	0	0,2	0,600	1,5	4,9	1,50	52

Baryum

Le baryum est détecté dans l'eau souterraine de 95% des échantillons de cette étude. Un seul dépassement a été mesuré. Il provient d'un milieu aquifère de roc fracturé dans lequel a été prélevée une eau du type bicarbonaté (HCO_3). Son origine est généralement attribuée aux roches ignées et aux roches sédimentaires dans une moindre mesure. Son omniprésence dans l'eau souterraine et ses sources limitées pourraient en faire un bon traceur hydrogéochimique du parcours de l'eau qui en contient.

Fluorures

Une étude menée à l'UQAC (Walter, 2010) a identifié plusieurs cas de dépassement de la norme québécoise pour la concentration en fluorures, sans toutefois en déterminer l'origine. Cependant cette étude portait spécifiquement sur des eaux à salinité élevée et seulement une quarantaine de sites ont été échantillonnés. Les résultats obtenus dans le cadre du PACES-SLSJ montrent que 16% des échantillons prélevés dépassent la norme (1,5 mg/l). La Figure 5-7 montre la répartition des concentrations en fluorures obtenues dans le cadre du PACES-SLSJ. Elle met en évidence des concentrations plus fortes et plus nombreuses dans les milieux aquifères de roc fracturé de nature cristalline. En effet, les échantillons d'eau de type bicarbonaté (HCO_3) prélevés dans le roc enregistrent la plus forte concentration en fluorure de la campagne d'échantillonnage (4,9 mg/l). De plus, 25% des échantillons de ce groupe d'eau ont une concentration supérieure à 1,6 mg/l (Annexe 5). Les plus fortes concentrations se situent au nord-ouest du lac Saint-Jean. Les échantillons d'eau de type chloruré (Cl) provenant des milieux granulaires semblent généralement plus concentrés en fluorures (médiane = 1,35). Toutefois, le nombre de détection (40%) est moins élevé que dans les autres groupes, ce qui suggère que la médiane n'est pas un critère de comparaison déterminant pour discriminer le groupe d'eau le plus concentré en fluorures. Des travaux additionnels seraient nécessaires pour comprendre la source du fluor dans l'eau souterraine. À la lumière de la Figure 5-7, cette dernière ne semble pas anthropique.

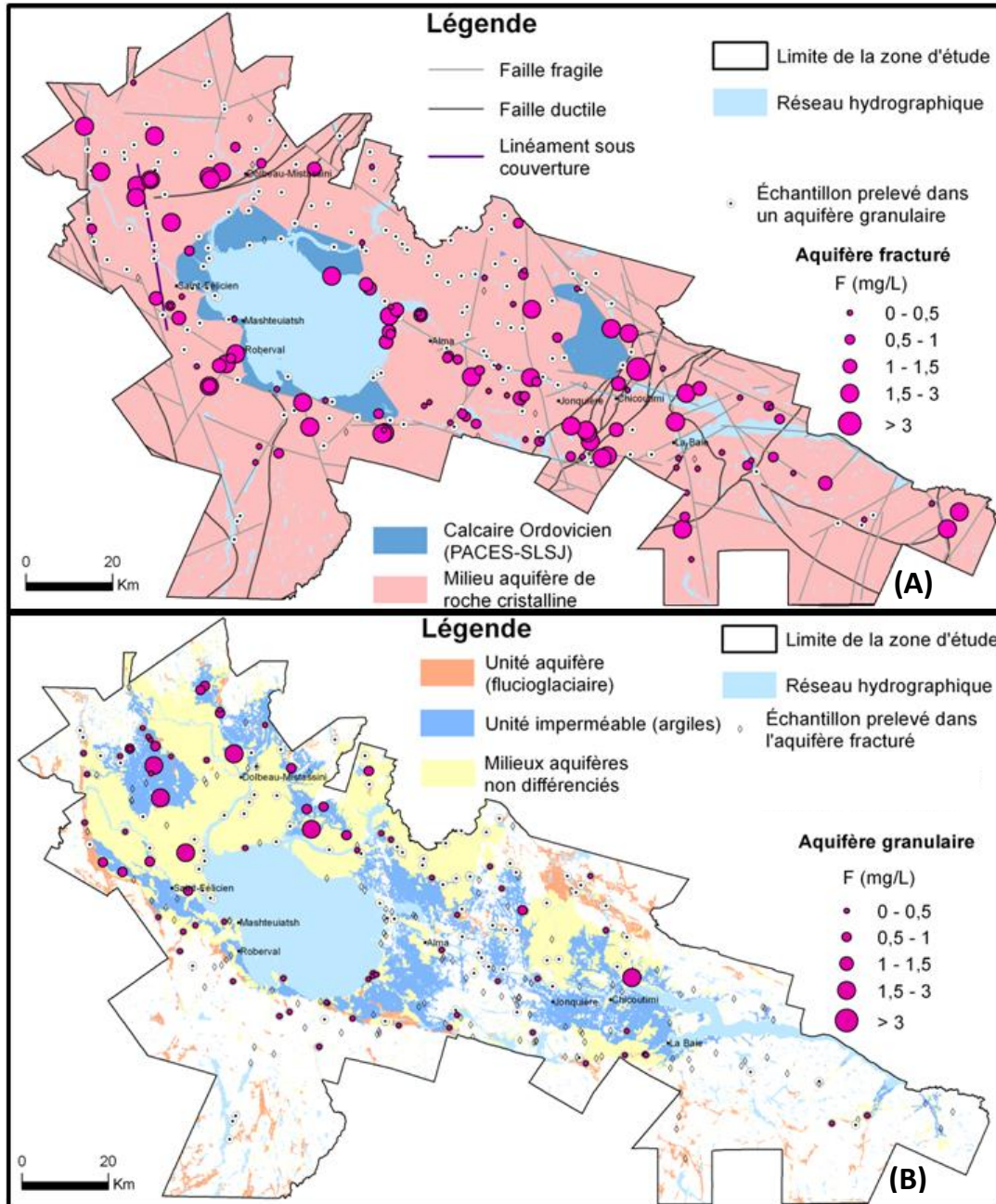


Figure 5-7 : Répartition des concentrations en fluorures (F) des échantillons d'eau souterraine collectés dans le cadre du PACES-SLSJ dans les milieux aquifères fracturés (A) et granulaires (B).

5.2.3 Remarques générales sur la potabilité de l'eau

L'examen des résultats hydrogéochimiques a montré que l'eau souterraine de la région du SLSJ est majoritairement du type bicarbonaté (HCO_3) et correspond généralement à une eau douce de très bonne qualité, malgré un pH légèrement acide dans les milieux aquifères granulaires et légèrement basique dans les milieux aquifères fracturés. Toutefois, cette eau peut, à l'occasion, présenter des concentrations élevées en sels, accompagnées de dépassements en sodium, en calcium et en magnésium (dureté). Ces occurrences demeurent marginales et semblent concentrées autour du lac Saint-Jean, sans que ne ressorte clairement le type de milieu aquifère

qui les contient. Les travaux hydrogéochimiques réalisés dans le cadre de cette étude montrent aussi que l'eau souterraine de la région contient des quantités appréciables de fer et de manganèse, et que ces paramètres sont souvent associés entre eux. Finalement, cette étude a mis en évidence l'étroite corrélation entre les milieux aquifères de roc fracturé et les concentrations importantes de fluorures dans l'eau souterraine de la région. Pour tous ces éléments, considérant des concentrations excédant les limites prescrites et considérant la variabilité temporelle de l'hydrogéochimie des eaux souterraines, un programme d'échantillonnage et de suivi devrait être prévu, afin notamment de documenter la dynamique et l'évolution géochimique de l'eau souterraine au SLSJ, mais aussi de déceler d'éventuelles concentrations supérieures aux normes de potabilité.

5.3 Utilisation de l'eau

Tel que mentionné en introduction à ce rapport, l'utilisation des eaux souterraines est présentement en croissance dans la région du SLSJ comme ailleurs au Québec. Une explication réside dans le resserrement, en 2001, des normes de qualité de l'eau potable au Québec. En effet, les coûts de traitement de l'eau de surface pour l'alimentation en eau potable sont généralement supérieurs à ceux requis pour capter et traiter l'eau souterraine à des fins d'alimentation. La qualité naturelle de l'eau souterraine présente un avantage économique indéniable pour l'alimentation en eau potable des communautés, surtout les moins peuplées. Outre l'alimentation en eau potable, l'eau souterraine est prélevée à des fins diverses sur le territoire. Aux fins du PACES-SLSJ, trois catégories de prélèvement ont été définies sur la base de l'usage de l'eau, soit:

- l'usage agricole ;
- l'usage domestique ;
- l'usage industriel.

À l'aide des données existantes, un premier portrait est tracé ici de l'utilisation de l'eau souterraine dans la région pour ces 3 catégories d'usage. Ce portrait est complémentaire aux informations produites par les deux organismes de bassin versant (OBV) de la région⁵⁷, dans le cadre de leur plan directeur de l'eau. Toutefois, considérant l'état incomplet des données disponibles (section 5.3.1), la méthode de traitement (section 5.3.2) ne permet d'obtenir qu'un portrait partiel des volumes prélevés dans les milieux aquifères. Les volumes prélevés par MRC et par municipalité sont présentés sous la forme de pourcentage du volume total prélevé régionalement (section 5.3.3). Il est vrai qu'une évaluation de la pérennité de la ressource et du niveau d'exploitation des nappes d'eau de la région requiert des connaissances plus exactes des volumes d'eau souterraine disponibles. Toutefois, Il est possible de formuler quelques observations sommaires faisant le lien entre l'utilisation de l'eau d'une part, et d'autre part les limites et l'épaisseur des milieux aquifères de la région tels que définis dans le cadre de ce projet (section 5.3.4).

Les éléments de la méthode de création des livrables cartographiques de l'utilisation de l'eau sont repris en détail au protocole P26-Utilisation de l'eau.

⁵⁷ OBV du lac-Saint-Jean et OBV de la rivière Saguenay

5.3.1 Données disponibles

En l'absence de compteurs d'eau et d'un suivi rigoureux des quantités d'eau souterraine prélevées au cours des dernières décennies, les données quantitatives précises sont peu nombreuses sur l'utilisation de l'eau dans la région du SLSJ. Cependant, des données mises à la disposition du CERM de l'UQAC par le MDDEFP et d'autres organismes publics permettent de dresser un tableau de l'utilisation de l'eau souterraine au SLSJ. Les données ayant servi à notre analyse sont les suivantes:

- Le répertoire de tous les réseaux municipaux de distribution d'eau potable (version du 21 août 2012 ; site web du MDDEFP⁵⁸) qui présente pour chaque municipalité de la région le type d'approvisionnement en eau potable (eau souterraine, eau de surface ou mixte) et le nombre de personnes desservies par le réseau;
- Le fichier des grands préleveurs d'eau souterraine et de surface (version du 21 juin 2011 fournie par le MDDEFP) qui inclut des données détaillées sur les volumes totaux journaliers prélevés pour toutes les activités prélevant un débit égal ou supérieur à 75 m³/jour (prélèvement municipal, industriel, récréatif, etc.);
- Le fichier des petits préleveurs d'eau souterraine (version du 27 janvier 2012 fournie par le MDDEFP) qui inclut des données détaillées sur les volumes totaux journaliers prélevés par certaines activités dont le débit est inférieur à 75 m³/jour (prélèvement municipal, industriel, commercial, etc.);
- La population totale par municipalité d'après le recensement de Statistiques Canada réalisé en 2011 ;
- La localisation des différents types d'élevage ou de culture sur le territoire, ainsi que le nombre de têtes animales par élevage. Ces données ont été fournies par le MAPAQ.

L'ensemble de ces données a permis, par le biais de méthodes indirectes, d'élaborer le premier portrait de l'utilisation de l'eau souterraine.

5.3.2 Traitement des données

L'estimation de l'utilisation de l'eau souterraine à partir des données disponibles nécessite un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, dont les principales sont formulées ici :

- Seules les industries et les commerces identifiés dans le fichier des grands préleveurs (75 m³/jour et plus) et dans le fichier des petits préleveurs (<75 m³/jour) prélèvent de l'eau souterraine pour un usage industriel.
- L'usage industriel se rapporte au pompage de l'eau à des fins variées sans égard à la consommation réelle de l'eau (utilisation dans les procédés de transformation, ou pompage de l'eau pour permettre la réalisation d'activités industrielles, *i.e.* dénoyage de mine, dénoyage de carrière, etc.).
- Les personnes qui résident à l'extérieur des limites du réseau municipal d'alimentation en eau potable consomment uniquement de l'eau souterraine.
- La consommation moyenne d'eau journalière d'une personne est fixée à 250 L/jour.
- Les activités agricoles correspondent uniquement aux activités d'élevage.

⁵⁸ <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution/resultats.asp>

- Les activités d'élevage recensées par le MAPAQ consomment exclusivement de l'eau souterraine et les volumes d'eau prélevés sont estimés à partir des chartes de consommation animale du MAPAQ.

À l'aide des données disponibles et des simplifications présentées ci-dessus, deux types de traitements ont été réalisés. Le premier vise à distinguer les volumes d'eau de surface et d'eau souterraine utilisés, et le second vise à identifier parmi les volumes d'eau souterraine, ceux utilisés aux fins des trois catégories d'usage définies dans le cadre du PACES-SLSJ, soit agricole, domestique et industriel. Les volumes, exprimés en m³, sont compilés annuellement par municipalité.

Eau de surface versus eau souterraine

Lorsque le volume d'eau de surface est disponible dans le fichier des grands préleveurs (75 m³/jour et plus), il est localisé à l'aide de coordonnées géographiques et attribué à la municipalité dont les limites du territoire incluent l'activité à l'origine du prélèvement. Lorsque l'information n'est pas disponible pour une municipalité dont le réseau municipal est desservi par de l'eau de surface dans le fichier des grands préleveurs (75 m³/jour et plus), le volume d'eau de surface prélevé est estimé à partir du répertoire des réseaux municipaux du MDDEFP, en multipliant le nombre de personnes desservies par le réseau par la valeur arbitraire de 250 L/jour. Le résultat est converti en m³/année.

Le volume total d'eau souterraine consommé par une municipalité est obtenu en effectuant la somme des volumes obtenus pour les trois activités de consommation présentées dans le paragraphe suivant.

Catégories d'usage

Les volumes d'eau souterraine utilisés par la catégorie d'usage industriel sont calculés à partir des données présentées dans le fichier des grands préleveurs (75 m³/jour et plus) et dans celui des petits préleveurs (<75 m³/jour).

Pour la catégorie d'usage agricole, le nombre de fermes d'élevage provient des données du MAPAQ, de même que le nombre de bêtes de chaque ferme. Le volume total d'eau souterraine utilisé pour l'élevage est estimé en multipliant le nombre de têtes animales par la quantité d'eau consommée par l'espèce animale (tirée de la charte de consommation animale du MAPAQ présentée à l'Annexe 6.

Pour la catégorie d'usage domestique, deux cas de figure sont possibles.

- 1) Le réseau municipal est alimenté à partir d'une source souterraine ; dans ce cas, la population totale (Statistique Canada) est multipliée par 250 L/jour/personne, puis convertis en m³/année. En effet, une partie de la population reçoit l'eau du réseau et l'autre partie s'alimente à partir de puits tubulaires individuels. Dans les deux cas, l'eau prélevée est d'origine souterraine.
- 2) Le réseau municipal est alimenté en eau de surface : dans ce cas le nombre de personnes desservies par le réseau est soustrait de la population totale pour obtenir le

nombre estimé de personnes alimentées par des puits tubulaires individuels. La différence est multipliée par 250 L/jour/personne puis convertis en m³/année.

5.3.3 Présentation des résultats

Les résultats d'utilisation de l'eau sont présentés par municipalités en deux cartes, soit la carte **#26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface** (Annexe 1) et la **carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage** (Annexe 1). La taille des histogrammes circulaires sur chaque carte est proportionnelle à la quantité d'eau totale en mètre cube utilisée annuellement. La carte #26(a) présente la proportion d'eau de surface et d'eau souterraine utilisée par l'ensemble des activités présentes sur le territoire d'une municipalité, et la carte #26(b) présente la proportion des volumes d'eau souterraine en mètre cube utilisés par chacune des catégories d'usage définis dans cette étude. Chaque carte est accompagnée d'un tableau synthèse contenant les données ayant permis l'élaboration de cette carte (volumes exprimés en m³/an), ainsi que quelques informations supplémentaires comme le type d'eau alimentant le réseau municipal et la population totale de chaque municipalité.

La Figure 5-8 présente la proportion du volume régional d'eau utilisée (eau de surface et eau souterraine) par MRC et pour le territoire autochtone de Mashteuiatsh, et la proportion de la population totale régionale pour chaque MRC et pour Mashteuiatsh. Cette figure montre que les quantités d'eau prélevées sur le territoire du SLSJ sont inégales d'une entité administrative à l'autre et, à l'exception de la Ville de Saguenay et de la MRC du Domaine-du-Roy, la proportion du volume régional d'eau utilisé suit approximativement celle de la population. Ainsi, la Ville de Saguenay qui comprend plus de 50% de la population régionale utilise environ 40% du volume régional d'eau. Pour la MRC du-Domaine-du-Roy, et dans une moindre mesure pour la MRC du-Fjord-du-Saguenay, l'utilisation de l'eau dépasse la proportion de la population, alors que pour les autres entités administratives (3/5), cette tendance est inversée.

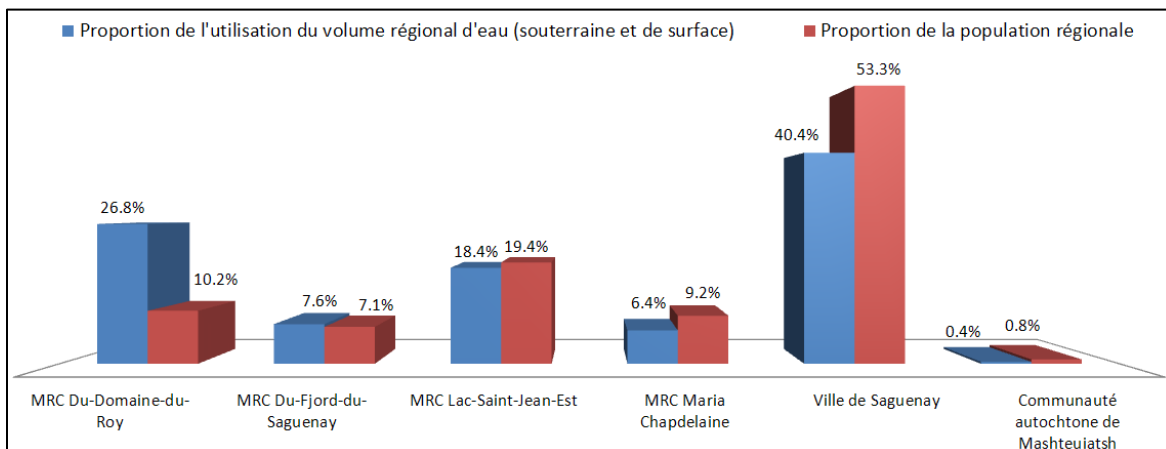


Figure 5-8 : Proportion par entité administrative régionale de la population et de l'utilisation du volume régional d'eau (eau souterraine et eau de surface).

La carte **#26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface** (Annexe 1) présente le volume d'eau prélevé par municipalité et montre que certaines villes se distinguent des autres par des prélèvements plus importants. Il ressort de l'analyse des volumes utilisés par municipalité que la Ville de Saguenay, la Ville d'Alma, la Ville de Saint-Félicien et la municipalité

de Saint-Honoré utilisent à elles seules plus de 85% du volume régional d'eau (Figure 5-9). De plus, la Ville de Saint-Félicien (24% de l'utilisation régionale; Figure 5-9) prélève à elle seule environ 90% de l'eau utilisée par la MRC du Domaine-du-Roy (26,8% de l'utilisation de l'eau régionale; Figure 5-8) dont elle fait partie.

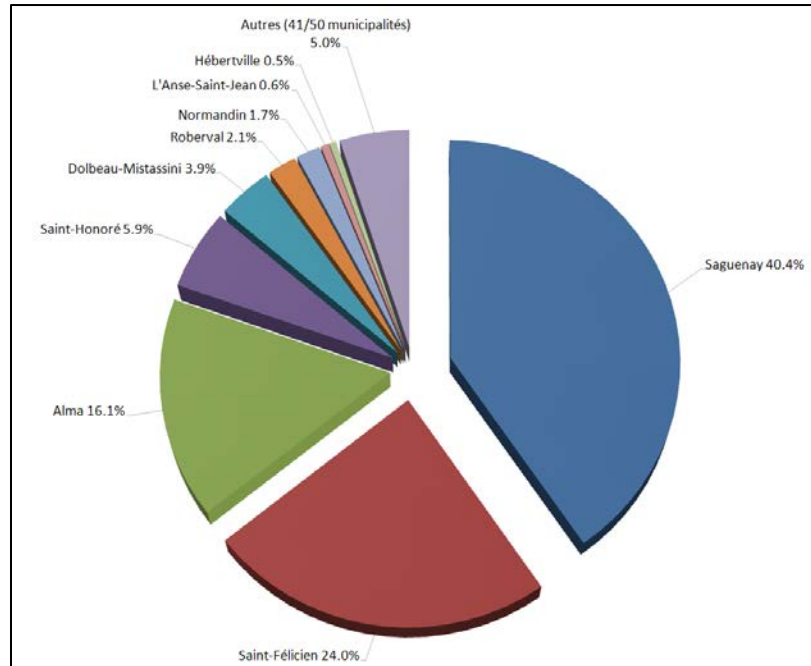


Figure 5-9 : Proportion par municipalité du volume régional d'eau utilisé (eau souterraine et eau de surface).

La carte #26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface (Annexe 1) montre aussi qu'à l'exception de Saint-Honoré, les plus gros volumes sont prélevés à partir de l'eau de surface. En effet, l'examen de l'utilisation de l'eau réalisé dans le cadre du PACES-SLSJ montre que la majorité des prélèvements d'eau (86,9%) sont réalisés à partir de l'eau de surface, le reste (13,1%) est prélevé à partir des nappes d'eau souterraine (Figure 5-10).

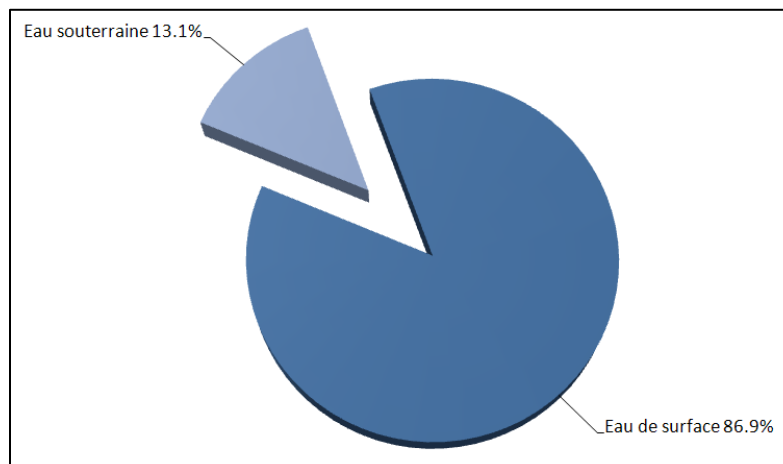


Figure 5-10 : Proportion des types d'eau utilisés au SLSJ (eau souterraine et eau de surface).

Comme pour le volume régional d'eau, des quantités variables du volume régional d'eau souterraine sont utilisées selon l'entité administrative considérée. La Figure 5-11 montre que plus de 40% du volume régional d'eau souterraine est prélevé par la MRC du-Fjord-du-Saguenay, environ 20% est prélevé par la Ville de Saguenay, et entre 9 et 15% sont utilisés par chacune des autres entités administratives, à l'exception de la communauté autochtone de Mashteuiatsh dont la quantité utilisée est très faible. À nouveau, la proportion du volume d'eau souterraine utilisé suit approximativement la proportion de la population, sauf pour la MRC du Fjord-du-Saguenay. Pour cette dernière, et dans une moindre mesure pour la MRC Maria-Chapdelaine, la proportion du volume d'eau souterraine prélevé dépasse celle de la population, contrairement aux autres entités administratives.

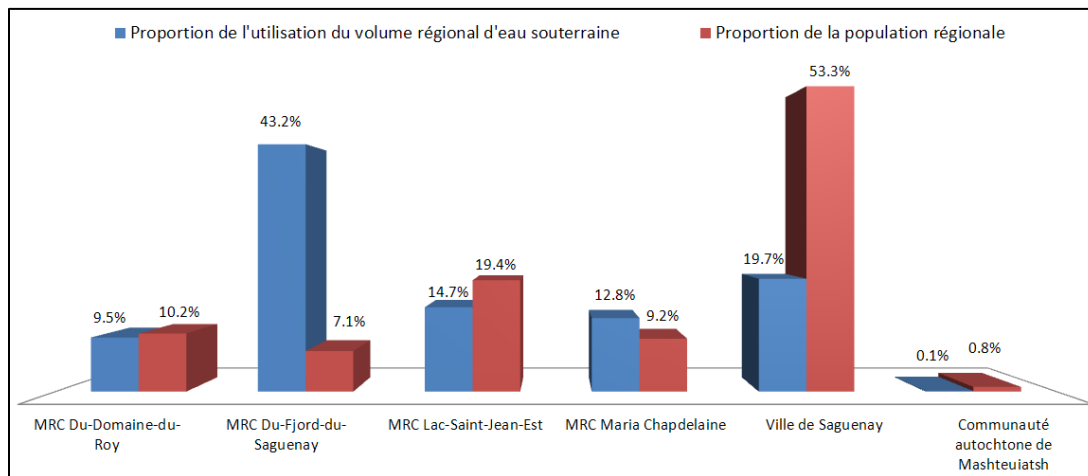


Figure 5-11 : Proportion par entité administrative régionale de la population et de l'utilisation du volume régional d'eau souterraine.

Il ressort de l'examen de la carte **#26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface** (Annexe 1) que la majorité des municipalités de la région prélève de l'eau souterraine pour leurs activités, mais en proportion beaucoup plus faible que l'eau de surface. Cette observation est appuyée par l'analyse de la Figure 5-12. Sur cette dernière, pour chaque municipalité, la grosseur de la bulle est proportionnelle à la population, l'axe des abscisses correspond à la proportion du volume régional d'eau utilisé (eau souterraine et eau de surface) et l'axe des ordonnées correspond à la proportion relative d'utilisation de l'eau de surface par rapport à celle de l'eau souterraine. Elle montre qu'une forte proportion de municipalités utilise exclusivement de l'eau souterraine (jusqu'à 100% pour la plupart). Ces municipalités sont aussi les moins peuplées et, à l'exception de la municipalité de Saint-Honoré et dans une moindre mesure de la municipalité de Normandin, elles utilisent moins de 1% du volume régional de l'eau. D'autres municipalités de même envergure (populations peu nombreuses et dont l'utilisation du volume régional d'eau est faible) se distinguent par une utilisation accrue de l'eau de surface (de 50% à 90%). C'est le cas des municipalités de Sainte-Jeanne-D'Arc, de Saint-Monique, de Lac Bouchette, de l'Anse-Saint-Jean et de Péribonka. Pour cette dernière, environ 90% des besoins en eau est comblé à partir de l'eau de surface. Sinon, les municipalités les plus peuplées (Ville de Saguenay, Ville d'Alma, Ville de Dolbeau-Mistassini, Ville de Roberval et Ville de Saint-Félicien) utilisent une très forte proportion d'eau de surface (supérieure à 90%). Les prélèvements de la Ville d'Alma (16% du volume régional d'eau) et de la Ville de Saguenay (40% du volume régional d'eau) sont parmi les plus forts de la région, comme celui de la Ville de

Saint-Félicien (24% du volume régional d'eau), qui se distingue toutefois des deux précédentes par une population nettement inférieure en nombre.

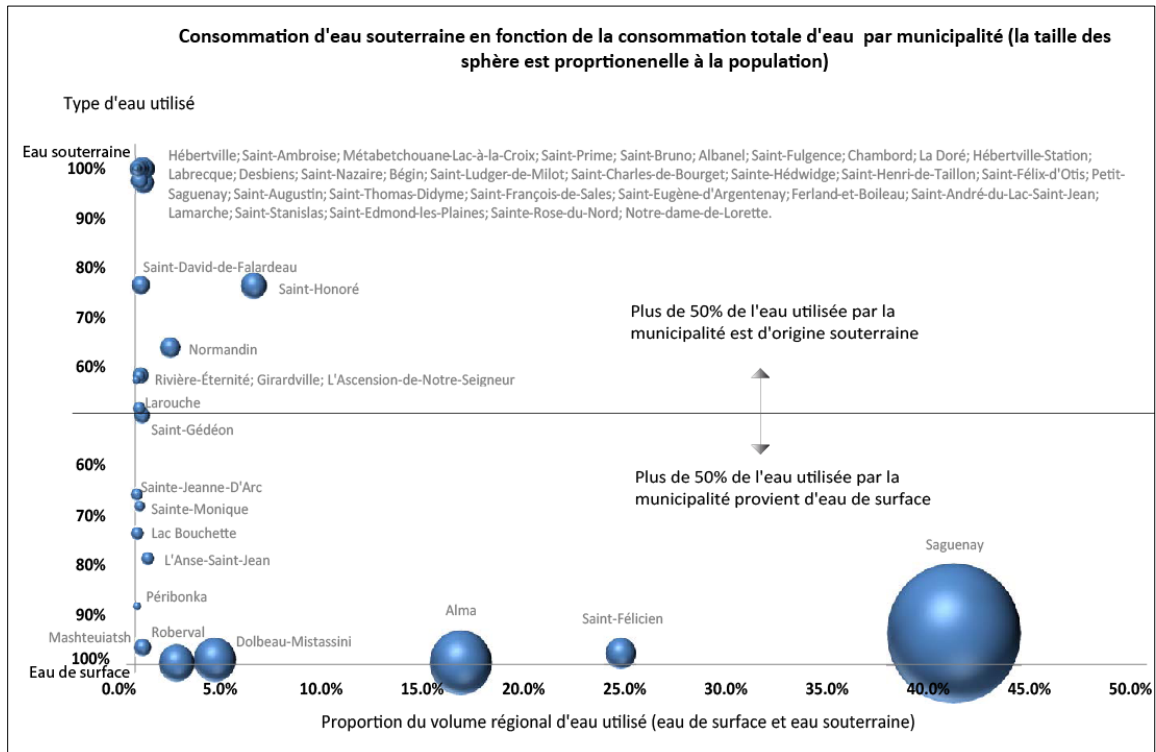


Figure 5-12 : Utilisation de l'eau souterraine en fonction du volume régional d'eau (souterraine et de surface) utilisé par les municipalités du SLSJ et en fonction de la population de chacune des municipalités (proportionnelle à la grosseur de la bulle).

Des écarts dans les tendances générales observées aux précédentes figures (ratio de population versus ratio d'utilisation de l'eau souterraine) peuvent s'expliquer par les divers usages auxquels sont destinés les prélèvements de la ressource. La Figure 5-13 présente pour chaque catégorie d'usage définie dans le cadre de cette étude la proportion du volume régional d'eau souterraine prélevé. Ainsi, la majorité des prélèvements sont réalisés pour répondre à des besoins domestiques (50,6%). La part de l'eau souterraine destinée à un usage agricole (élevage uniquement) est la plus faible (3,6%) et les prélèvements d'origine industrielle sont de 45,8%. Il est à noter que l'usage industriel comprend l'eau souterraine consommée par les procédés industriels et celle prélevée pour permettre la réalisation d'activités industrielle (dénoyage de mine et de carrière, etc.). Cette distinction est importante, car dans le dernier cas, les volumes d'eau sont parfois importants sans que l'eau ne subisse de transformation majeure. De plus, il est possible que l'eau extraite soit retournée en partie dans son même milieu aquifère d'origine, mais à un autre endroit. Ces éléments n'ont pas été identifiés dans cette étude.

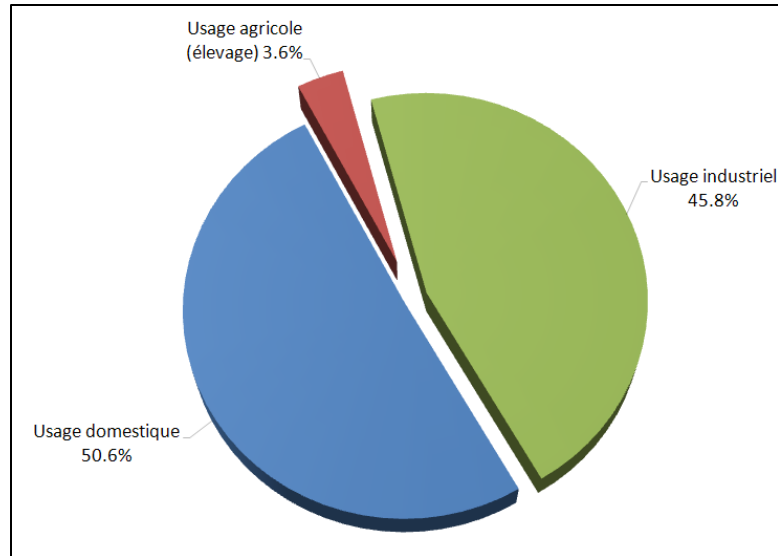


Figure 5-13 : Proportion par catégorie d'usage du volume d'eau souterraine prélevé dans la région.

La Figure 5-14 présente pour chaque entité administrative régionale la proportion du volume d'eau souterraine extraite pour répondre aux besoins des trois catégories d'usage définies dans le cadre de cette étude. La proportion de population est aussi indiquée. Ainsi, les prélèvements d'eau souterraine à des fins industrielles sont beaucoup plus importants dans la MRC du Fjord-du-Saguenay (environ 70%), suivis de ceux de la MRC Maria-Chapdelaine (15,5%), de la Ville de Saguenay (8,3%) et de la MRC Lac-Saint-Jean-Est (6%). Ils sont inexistantes dans la MRC du Domaine-du-Roy et dans la communauté autochtone de Mashteuiatsh. Les proportions de prélèvement à des fins agricoles (élevage seulement) varient moins d'une entité administrative à l'autre. Elles vont de 10,6% (MRC du-Fjord-du-Saguenay) à 28,9% (MRC Maria-Chapdelaine). Ce type de prélèvements est inexistant dans la communauté autochtone de Mashteuiatsh. En général, les prélèvements d'eau souterraine à des fins domestiques sont inférieurs de quelques points à la part de population de l'entité administrative considérée (l'écart maximal est de 13% dans la MRC du Fjord-du-Saguenay), à l'exception de la Ville de Saguenay et dans une moindre mesure de la communauté autochtone de Mashteuiatsh. Pour ces dernières, une part plus importante de consommation d'eau de surface peut expliquer cette tendance contraire aux autres entités administratives.

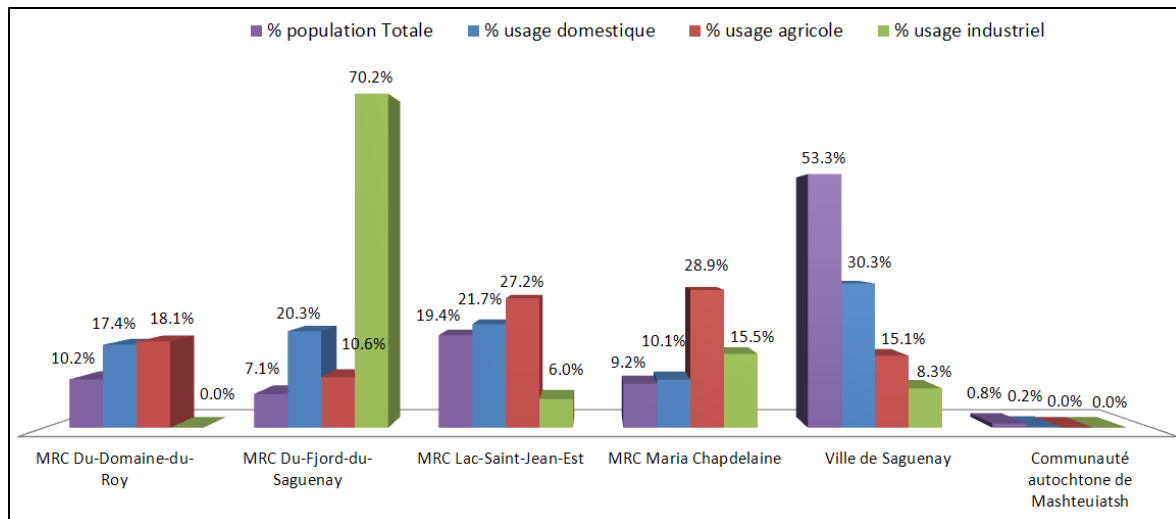


Figure 5-14 : Proportion par entité administrative régionale de la population et de l'utilisation de l'eau souterraine selon les trois catégories d'usage définies dans le cadre du PACES-SLSJ.

La **carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage** (Annexe 1) présente le détail par municipalité de la proportion relative des prélèvements d'eau souterraine réalisés pour répondre aux besoins des trois catégories d'usage définies dans le cadre de cette étude. Elle montre que la municipalité de Saint-Honoré utilise la proportion la plus importante d'eau souterraine (environ 34%) dont plus de 90% est prélevé à des fins industrielles et environ 10% se rapporte à un usage domestique. La proportion régionale de l'eau souterraine prélevée à des fins industrielles par cette municipalité est d'environ 68% (Figure 5-15), soit près de la totalité de la part de cette catégorie de prélèvements de la MRC du-Fjord-du-Saguenay dont la municipalité de Saint-Honoré fait partie. La même observation peut être faite pour la municipalité d'Hébertville (4%) et la MRC Lac-Saint-Jean-Est (6%), ainsi que la municipalité de Normandin (14%) et la MRC Maria-Chapdelaine (15,5%). La Ville de Saguenay utilise la seconde part de l'eau souterraine la plus importante (environ 20%) de la région, dont environ 75% se rapporte à un usage domestique, 20% sert à répondre au besoin de l'industrie (consommant 75 m³ et plus), et moins de 3% correspond aux prélèvements agricoles (élevage seulement). Alma est la seule agglomération de la région pour laquelle aucun prélèvement d'eau souterraine à des fins domestiques n'a été identifié dans le cadre de ce projet. L'utilisation de l'eau souterraine à la Ville d'Alma est principalement industrielle et représente 0,7% du volume régional prélevé (Figure 5-15).

Aussi, il ressort de l'examen de la **carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage** (Annexe 1) qu'un nombre important de municipalité exploite l'eau souterraine pour répondre à des besoins domestiques. La Figure 5-16 présente la proportion par municipalité du volume régional d'eau souterraine utilisé à des fins domestiques. La Ville de Saguenay utilise le volume le plus important (30,3%), suivi de Saint-Félicien (7,6%). Le répertoire des réseaux municipaux d'alimentation en eau potable du MDDEFP (section 5.3.1) révèle que la population de l'arrondissement de La Baie est alimentée exclusivement en eau souterraine, soit 22 000 personnes. Considérant la méthode de traitement des données utilisée lors de cette étude (section 5.3.2), la part d'utilisation de l'eau souterraine destinée aux usages domestiques est proportionnelle au nombre de personnes alimenté en eau souterraine, ce qui place la ville de

Saguenay au premier rang des consommateurs d'eau souterraine à des fins d'alimentation en eau potable.

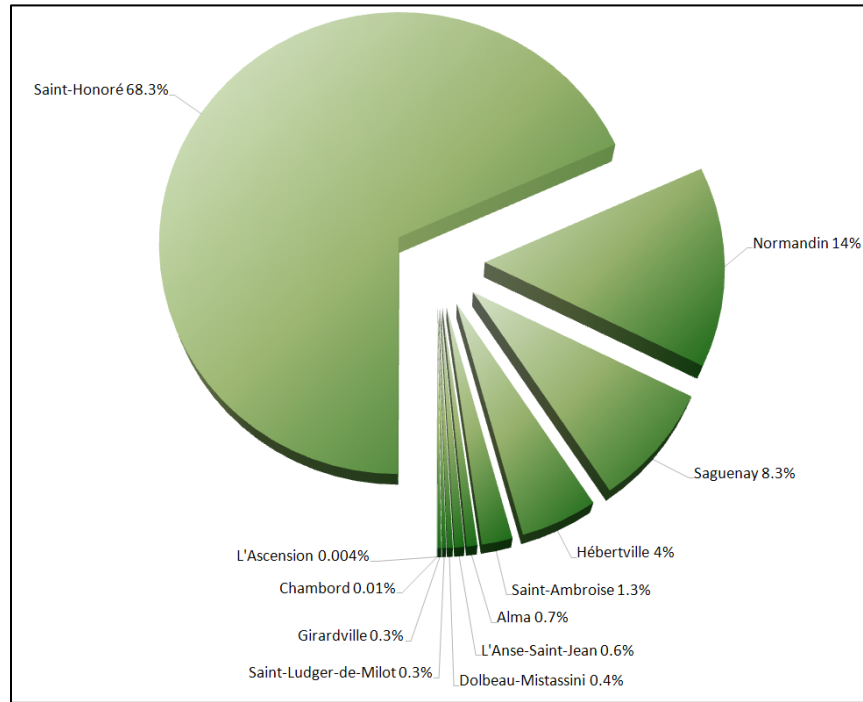


Figure 5-15 : Proportion par municipalité du volume régional d'eau souterraine utilisé pour répondre aux besoins des industries exploitant 75m³/jour et plus au SLSJ.

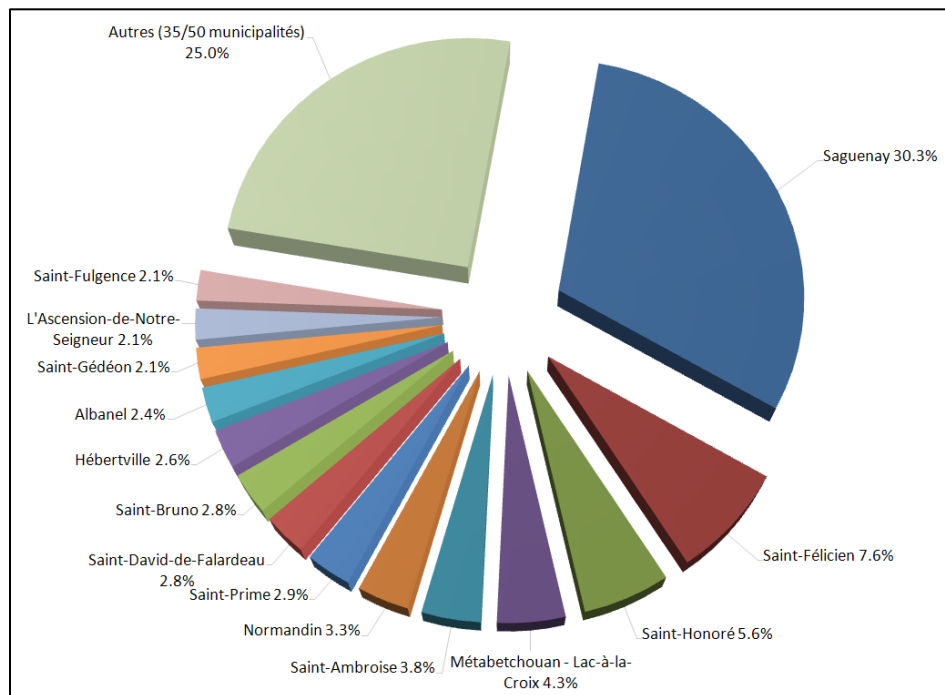


Figure 5-16 : Proportion par municipalité du volume régional d'eau souterraine utilisé pour répondre aux besoins domestiques (alimentation en eau potable).

L'alimentation en eau (usage domestique) de la population régionale peut provenir d'un réseau d'aqueduc municipal ou d'installations individuelles privées qui prennent généralement la forme d'un puits tubulaire ou d'une pointe filtrante. Tel que présenté précédemment, le réseau municipal peut être alimenté par de l'eau de surface ou par de l'eau souterraine. La Figure 5-17 présente les pourcentages de la population alimentée à partir de l'eau de surface (66%) ou de l'eau souterraine (34%). De plus, elle montre que 13% de la population est alimentée en eau potable à partir d'installations individuelles et 21% reçoit l'eau d'un réseau municipal alimentée en eau souterraine. En l'absence d'un recensement exhaustif des installations individuelles d'alimentation en eau potable, la proportion de 13% a été obtenue en soustrayant le nombre de personnes desservi par un réseau municipal (données du MDDEFP ; section 5.3.1) à la population totale.

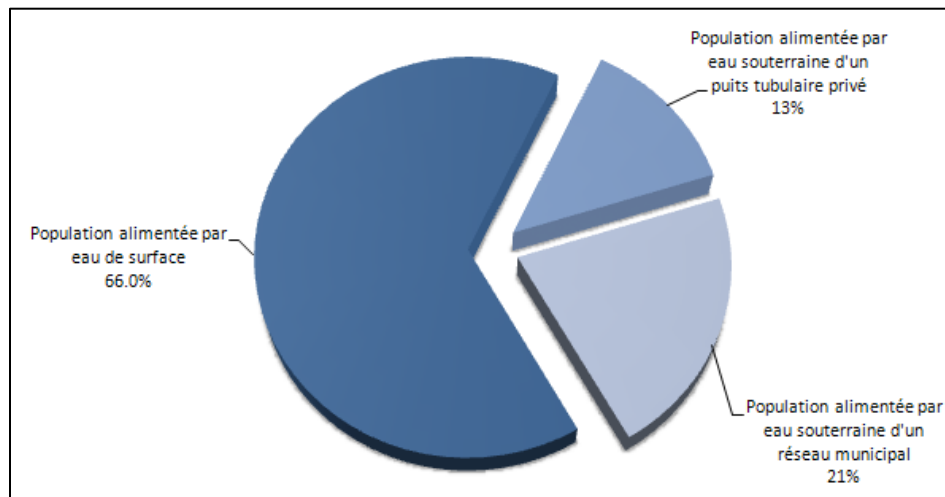


Figure 5-17 : Proportion de la population du SLSJ présentée par types d'alimentation en eau potable (réseau municipal ou puits individuel) et par source d'eau (eau de surface ou eau souterraine).

Dans le cadre du PACES-SLSJ, la visite systématique de chacune des municipalités a permis de localiser précisément les puits d'alimentation en eau potable des réseaux municipaux de la région. Ces installations sont le résultat d'études hydrogéologiques attestant du bon potentiel aquifère de la formation géologique interceptée par l'ouvrage de captage. Des liens peuvent donc être discutés entre l'utilisation de l'eau souterraine et les limites et l'épaisseur des principaux milieux aquifères régionaux déterminés dans le cadre de cette étude. Ils font l'objet de la section suivante.

5.3.4 Exploitation des principaux milieux aquifères à des fins d'alimentation en eau potable

Les volumes d'eau souterraine disponibles au SLSJ n'ont pas été déterminés dans le cadre de cette étude, ni les limites des nappes d'eau souterraine. D'une part, l'état des connaissances ne permettait pas l'analyse tridimensionnelle des limites physiques des entités aquifères (chapitre 3) et d'autre part, la modélisation du bilan hydrique par bassin versant n'est pas d'emblée réalisable à l'échelle du territoire municipalisé, les limites de ce dernier interceptant uniquement la partie aval de la plupart des bassins versants importants. Sans la connaissance précise des volumes d'eau souterraine disponibles et des limites des nappes d'eau, ce portrait ne permet pas de discuter du niveau d'exploitation des nappes d'eau souterraine de la région en comparaison des ressources disponibles, ni donc d'évaluer la pérennité de la ressource.

Cependant, il ressort de la section précédente qu'au moins 13% de l'eau utilisée dans la région est d'origine souterraine. De plus, 34% de l'eau servant aux usages domestiques (alimentation en eau potable) est d'origine souterraine. Moins de la moitié de cette eau est prélevée par des installations individuelles dont le nombre reste très incertain et pour lesquels aucun recensement n'a été réalisé. Toutefois, la localisation d'une partie des puits individuels est archivée dans la base de données du SIH (chapitre 2). Au total, les données de 4 472 puits du SIH ont été transférées dans la base de données du PACES-SLSJ. Parmi ces puits, environ 75% puisent l'eau dans les milieux de roc fracturé.

La majeure partie de l'eau potable est distribuée par des réseaux municipaux alimentés par un ou plusieurs ouvrages de captage. Certains sont installés dans le roc, mais la plupart sont installés dans les milieux aquifères granulaires.

Puits de captage et milieux aquifères de roc fracturé

Les municipalités de Sainte-Rose-du-Nord, de Ferland-et-Boilleau, de Saint-Eugène, de Notre-Dame-de-Lorette, de Saint-Edmond-les-Plaines, de Petit-Saguenay, de Saint-Félicien, de Saint-François-de-Sales et de Bégin possèdent des installations de captage d'eau souterraine dans les milieux aquifères de roc fracturé (Figure 5-18). De façon générale, les puits sont installés dans le roc fracturé cristallin, à l'exception d'un puits de la Ville de Saint-Félicien.

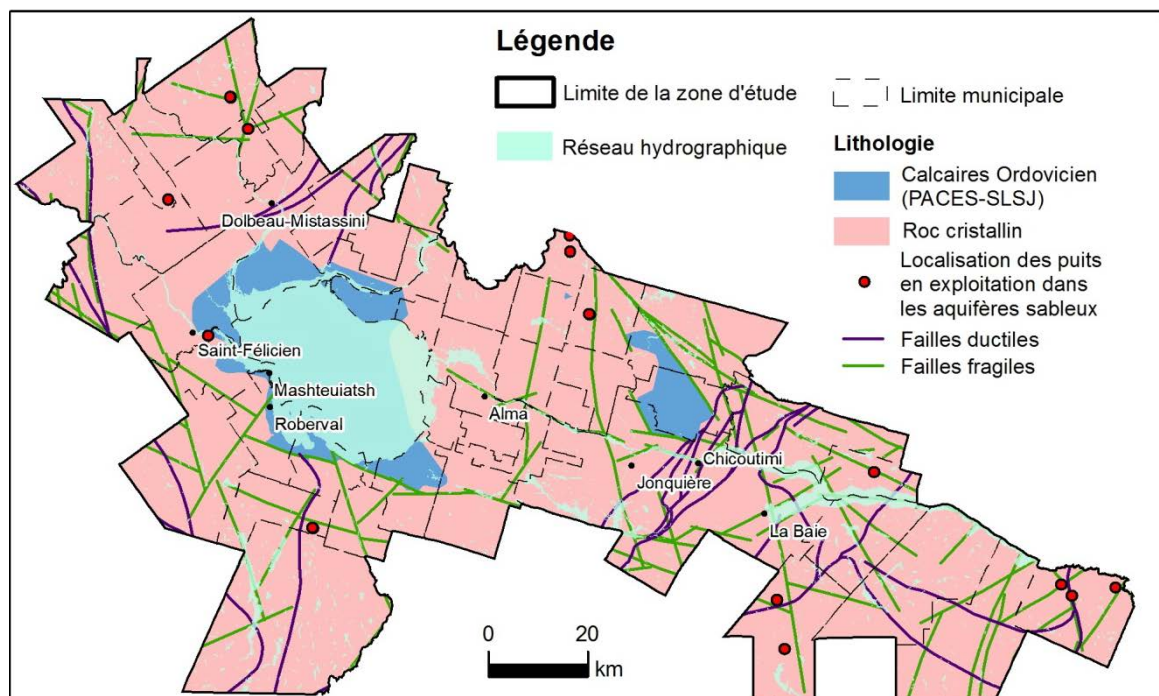


Figure 5-18 : Localisation des puits municipaux captant l'eau souterraine d'aquifère rocheux fracturé.

Les puits installés dans le roc cristallin fournissent 100% de l'eau utilisée (**carte #26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface**; Annexe 1) servant généralement à plus de 90% aux usages domestiques (alimentation en eau potable), à l'exception de l'eau extraite sur le territoire de Saint-Eugène dont environ 20% sert aux usages industriels (**carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage**; Annexe 1). D'après les données

disponibles, les volumes d'eau souterraine exploités sur le territoire de ces municipalités sont inférieurs à 0,5% du volume régional prélevé.

La Ville de Saint-Félicien exploite majoritairement l'eau de surface pour répondre aux différents usages (**carte #26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface**; Annexe 1). Toutefois, la part (4%) du volume régional d'eau souterraine extraite par la ville est la quatrième en importance dans la région. De ce volume, environ 95% est destiné à un usage domestique (alimentation en eau potable), ce qui place la Ville de Saint-Félicien à la seconde position en importance, après la Ville de Saguenay (principalement l'arrondissement de La Baie), pour l'extraction de l'eau souterraine à des fins domestiques. D'après les données existantes, la Ville de Saint-Félicien utilise 7,6% du volume régional d'eau souterraine à vocation domestique. Les puits de la Ville de Saint-Félicien sont situés sur la rive sud de la rivière Ashuapmushuan. Certains d'entre eux prélèvent l'eau dans les milieux fracturés calcaires et d'autres dans les milieux granulaires. La Ville de Saint-Félicien possède le seul ouvrage de captage installé dans un milieu fracturé de roc calcaire, ce qui atteste en partie de la capacité aquifère de ces milieux ainsi que de la bonne qualité de l'eau qu'ils contiennent. En contrepartie, les travaux réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ (chapitre 3), et l'examen de la qualité de l'eau (chapitre 4), suggèrent que les caractéristiques déduites de l'utilisation de l'eau souterraine à Saint-Félicien ne sont pas applicables à tous les milieux aquifères de roc calcaire retrouvés dans la région.

Puits de captage et milieux aquifères granulaires

La Figure 5-19 présente la localisation des ouvrages de captage municipaux installés dans les milieux aquifères rocheux et granulaires, d'une part sur la carte des limites des milieux aquifères granulaires régionaux (carte A) et d'autre part, sur la carte d'épaisseur des dépôts de surface (carte B). L'examen de cette figure permet de déduire le type de milieu aquifère en exploitation et surtout de le contextualiser régionalement. Par exemple, il ressort clairement que les milieux aquifères privilégiés pour l'alimentation en eau potable sont constitués d'unités fluvioglaciales, comme aux municipalités du nord-ouest, du nord-est et du sud-est du lac Saint-Jean. Localement, l'eau souterraine semble aussi provenir des sables hétérogènes de surface (milieux aquifères non différenciés ; Figure 5-19 A).

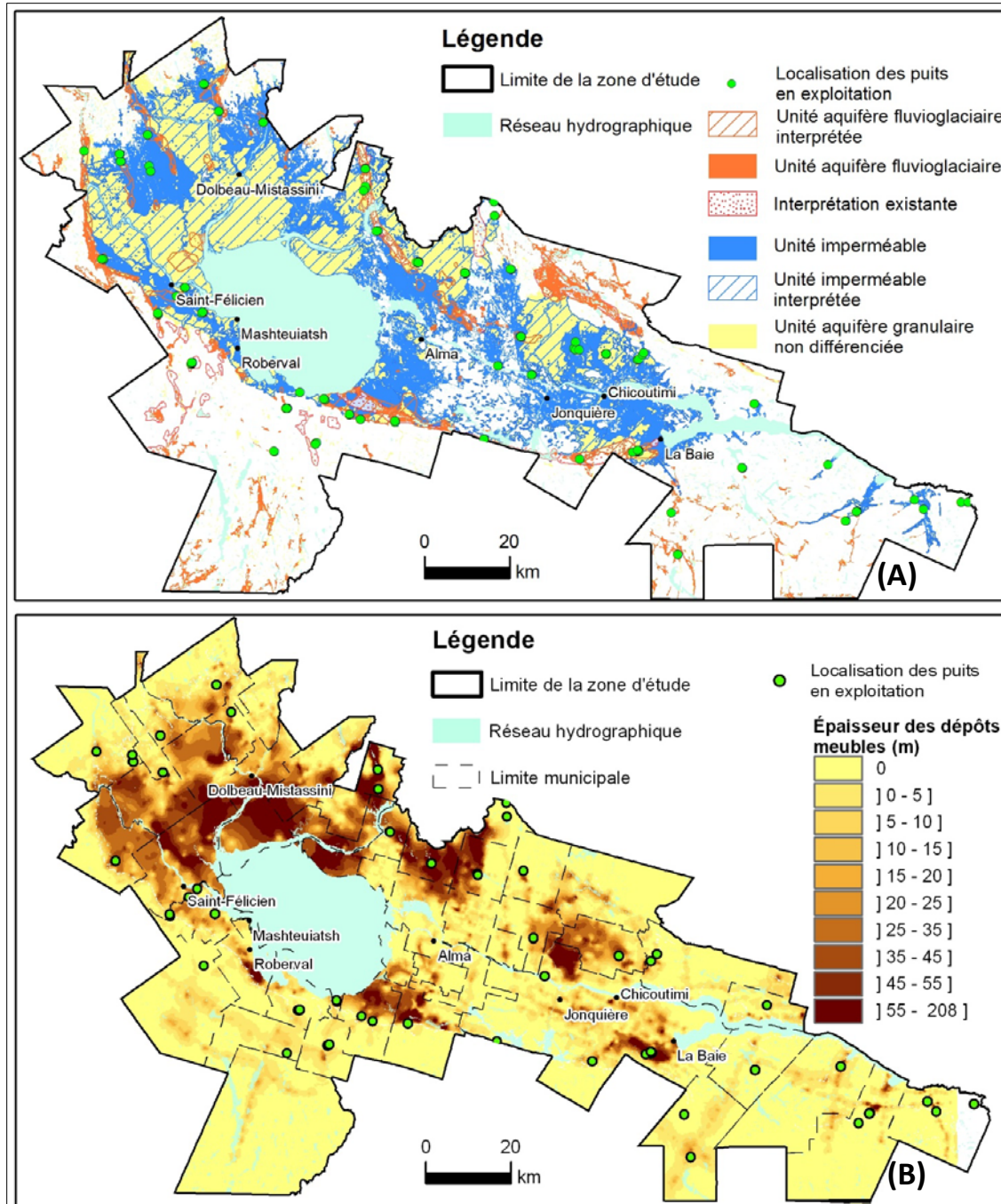


Figure 5-19 : Localisation des puits d'alimentation en eau potable alimentant les réseaux municipaux sur la carte des limites des milieux aquifères granulaires régionaux (A) et sur la carte d'épaisseur des dépôts de surface (B) réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ.

Les milieux aquifères fluvioglaciers

La Figure 5-20 présente les puits de captage municipaux installés dans les milieux aquifères fluvioglaciers et les limites de ces milieux. La continuité des dépôts fluvioglaciers interprétés par LaSalle et Tremblay (1978) est suggérée par l'alignement d'ouvrages de captage municipaux, notamment ceux des municipalités de Saint-Augustin, de Saint-Ludger-de-Milot et de Sainte-

Monique, ainsi que ceux des municipalités de Desbiens, de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, de Saint-Gédéon et d'Hébertville.

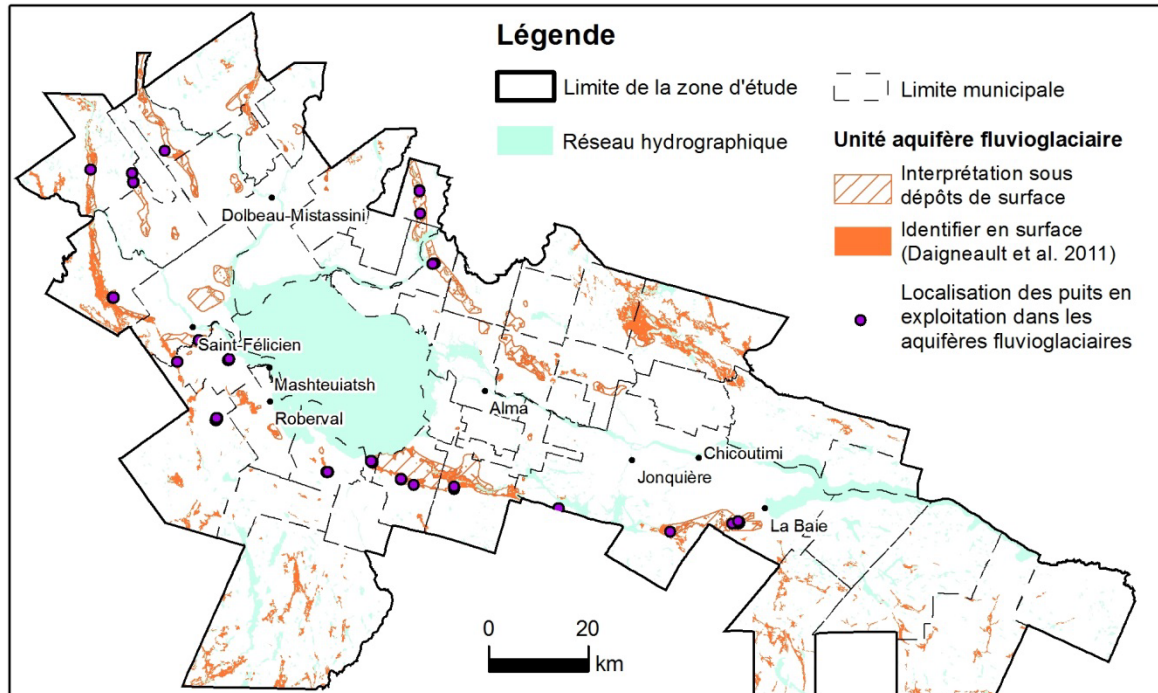


Figure 5-20 : Localisation des puits d'alimentation en eau potable alimentant les réseaux municipaux et captant l'eau souterraine provenant d'aquifère granulaire d'origine fluvioglacière.

Toutes ces municipalités utilisent exclusivement l'eau souterraine pour répondre à leurs besoins en eau, à l'exception de la municipalité de Sainte-Monique qui utilise environ 65% d'eau de surface, 90% de l'eau souterraine prélevée par la municipalité servant aux besoins domestiques (**carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage**; Annexe 1). Si la continuité et les connexions hydrauliques de ces milieux sont démontrées, ils constituent alors des milieux aquifères stratégiques de la région, en termes d'exploitation et d'envergure.

Partie est du lac Kénogami

À l'est du lac Kénogami, l'hypothèse de dépôts fluvioglaciers enfouis est renforcée par la présence des puits d'alimentation en eau potable des arrondissements de La Baie et de Laterrière alimentant un nombre important de citoyens. En effet, tel que discuté précédemment, les puits de l'arrondissement de La Baie permettent l'alimentation en eau potable d'environ 22 000 personnes, ce qui représente, à l'échelle de la région, la plus importante agglomération desservie par un réseau alimenté à partir d'une source souterraine. La Figure 5-19 (B) montre que l'épaisseur des dépôts de surface à l'endroit des ouvrages de captage dépasse généralement 50 m. Les dépôts fluvioglaciers affleurent en certains endroits et en d'autres, ils apparaissent confinés (Figure 5-19 A). En l'absence d'argile, la connexion hydraulique est possible entre des dépôts fluvioglaciers enfouis et les sables hétérogènes sus-jacents (milieux aquifères non différenciés). Par sa capacité à fournir de l'eau potable et par la quantité de personnes qu'il dessert, l'aquifère exploité à La Baie constitue un aquifère stratégique de la région.

Partie ouest du lac Saint-Jean

À l'ouest du lac Saint-Jean, les municipalités alimentées en eau souterraine puisent leur eau généralement à partir des milieux fluvioglaciaires confinés sous une unité imperméable d'argile (Figure 5-20), à l'exception des municipalités de La Doré et de Saint-Thomas-Didyme dont les puits d'alimentation en eau potable sont localisés dans les unités fluvioglaciaires qui affleurent le long de la limite ouest entre les basses terres et les hautes terres. De plus, la ville de Saint-Félicien, qui exploite une part importante du volume d'eau souterraine extrait régionalement, notamment à des fins domestiques (détails présentés précédemment), prélève la ressource à partir de plusieurs ouvrages de captage dont un puits à drain rayonnant, unique en région, installé dans les formations fluvioglaciaires qui affleurent au sud de la rivière Ashuapmushuan. Tel que présenté précédemment, la part des prélèvements d'eau souterraine à vocation agricole (élevage seulement) de la MRC Maria-Chapdelaine est la plus importante de la région (28,9%), et la seconde en importance en ce qui concerne les prélèvements aux fins industrielles. Plus précisément, la municipalité de Normandin (avec 14% de l'utilisation régionale ; Figure 5-15) prélève à elle seule environ 90% du volume d'eau souterraine à vocation industrielle utilisé par les municipalités de la MRC Maria-Chapdelaine, laquelle prélève 15,5% de l'utilisation régionale (Figure 5-14). Le puits d'alimentation de la municipalité de Normandin est localisé sur le territoire de la municipalité de Saint-Thomas-Didyme et d'après la Figure 5-20, le milieu aquifère capté est confiné et ne semble pas en connexion hydraulique avec la surface, sinon par l'intermédiaire du roc présent dans les hautes terres au nord, ou en affleurements locaux de dépôts fluvioglaciaires n'apparaissant pas sur la carte.

Des aquifères de l'envergure de ceux trouvés à l'est et à l'ouest du lac Kénogami, ainsi que dans la partie nord-est du lac Saint-Jean sont susceptibles de se trouver sur le territoire de la MRC Maria-Chapdelaine et à l'extrémité ouest du territoire de la MRC du Domaine-du-Roy. Des secteurs potentiels ont été interprétés à l'aide des coupes stratigraphiques réalisées dans le cadre du PACES-SLSJ (chapitre 3) et sont montrés sur la Figure 5-20 (A). Leur continuité et leurs connexions hydrauliques n'ont pas été démontrées mais la présence de plusieurs puits municipaux atteste en partie de leur potentiel aquifère. Dans l'état actuel des connaissances, qu'ils soient confinés ou qu'ils affleurent à la surface, le plein potentiel de ces milieux reste à découvrir à l'ouest du lac Saint-Jean ; ce sont donc potentiellement des milieux aquifères stratégiques pour la région. Dans ces secteurs, tel que montré à la section 5.1, une attention particulière doit être portée à la qualité de l'eau souterraine, notamment autour du lac Saint-Jean à l'ouest et au nord, où l'eau est de mauvaise qualité par endroit et où des techniques appropriées de construction de puits devraient être appliquées pour prévenir la contamination des nappes d'eau de bonne qualité.

Hautes terres de la région

Aux milieux aquifères fluvioglaciaires décrits plus haut s'ajoutent ceux qui occupent le fond des vallées encaissées des hautes terres, notamment sur le territoire de la MRC du Domaine-du-Roy et du Fjord-du-Saguenay (Figure 5-20). Par exemple, les ouvrages de captage des municipalités de Sainte-Hedwidge et de Saint-Prime sont installés dans ces milieux. D'après les données disponibles, Saint-Prime est la huitième municipalité en importance pour l'extraction de l'eau souterraine. Elle utilise 1,8% du volume régional d'eau souterraine, dont plus de 90% répond à

un usage domestique (alimentation en eau potable) et moins de 10% possède une vocation industrielle (**carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage**; Annexe 1).

À l'aide des coupes stratigraphiques produites dans le cadre du PACES-SLSJ, des dépôts fluvioglaciers confinés de petite dimension et qui ne semblent pas connectés hydrauliquement avec les systèmes de plus grande envergure présentés précédemment ont aussi été identifiés localement en divers endroits du territoire municipalisé du SLSJ. Pour ces derniers, les connexions hydrauliques avec d'autres systèmes ne sont pas improbables et demeurent à investiguer. Dans la portion nord du Saguenay, l'examen plus approfondi des forages réalisés dans le cadre des recherches en eau montre que les installations municipales de captage d'eau souterraine sont majoritairement installées dans les sables hétérogènes de surface.

Les milieux aquifères de sables hétérogènes de surface

La Figure 5-21 montre la localisation des ouvrages de captage municipaux dont la stratigraphie révèle l'exploitation de l'eau souterraine contenue dans les sables hétérogènes de surface. Au nord de la rivière Saguenay, la majorité des puits municipaux d'alimentation en eau potable sont installés dans ces milieux. C'est le cas des puits des municipalités de Labrecque, de l'Ascension-de-Notre-Seigneur, de Saint-Henri-de-Taillon (situé sur le territoire de la municipalité de l'Ascension-de-Notre-Seigneur), de Saint-Charles-de-Bourget, de Saint-Ambroise et de Saint-Honoré. À ces endroits, l'épaisseur des dépôts de surface est généralement supérieure à 55 m (Figure 5-19 B).

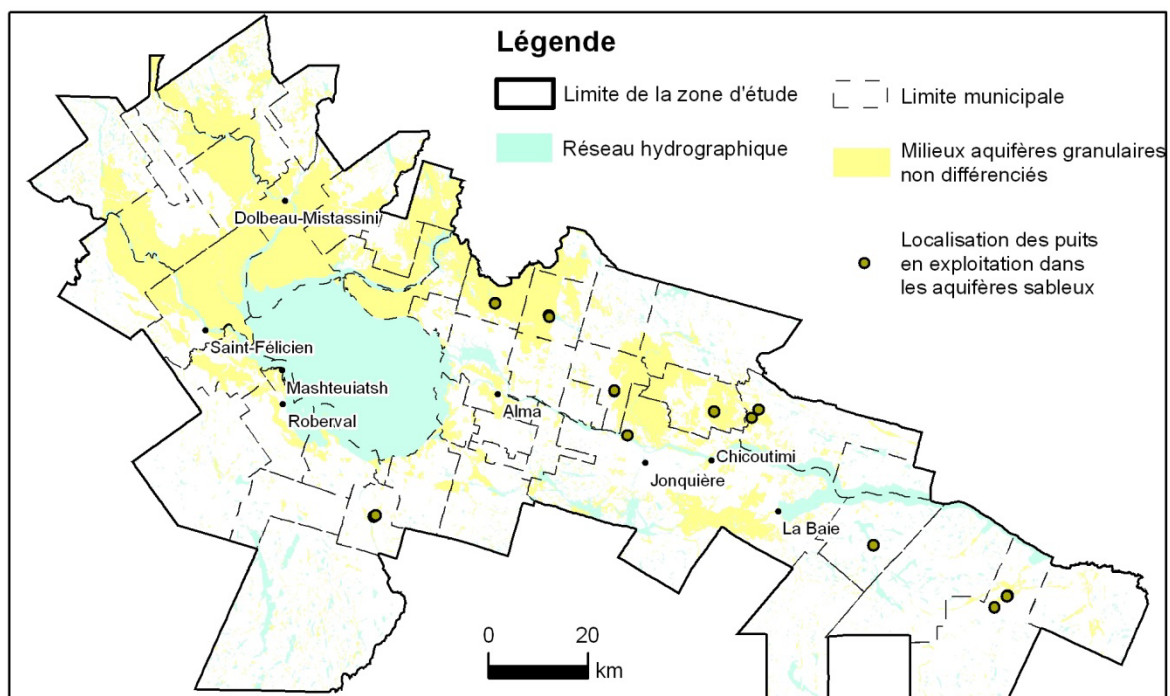


Figure 5-21 : Localisation des puits d'alimentation en eau potable alimentant les réseaux municipaux et captant l'eau souterraine provenant d'aquifères granulaires constitués de sables hétérogènes de surface.

Sud de la rivière Péribonka

Au sud de la rivière Péribonka, cette étude a révélé (chapitre 3) que l'unité d'argile de la mer de Laflamme présente localement des épaisseurs de l'ordre de 30 m avec une épaisseur totale de dépôts de surface pouvant atteindre 70 m. La contiguïté de ces dépôts avec les épandages fluvioglaciaires discutés précédemment n'exclut pas la possibilité de connexions hydrauliques entre les deux milieux, mais la présence d'épais dépôts d'argile suggère plutôt l'existence d'au moins 2 nappes d'eau à ces endroits. Il semble que la nappe libre ait été privilégiée pour l'installation des puits de captage municipaux, notamment de la municipalité de Labrecque et de l'Ascension-de-Notre-Seigneur. Plus de 90% de l'eau souterraine exploitée sert à des fins domestiques (**carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage**; Annexe 1), le reste sert à un usage agricole (élevage seulement). La vaste étendue des sables hétérogènes de surface et leur importante épaisseur font d'eux un milieu aquifère stratégique de la région, pour lequel une attention particulière doit être portée concernant d'éventuelles contaminations de surface. En effet, c'est aussi à ces endroits que les indices DRASTIC calculés dans le cadre de cette étude sont les plus élevés (chapitre 4).

Partie nord et ouest du lac Saint-Jean

Tel que discuté au chapitre 3, les sables hétérogènes de surface occupent aussi une large portion du territoire au nord et à l'ouest du lac Saint-Jean. Toutefois, aucun puits de captage municipal n'est identifié dans ces dépôts à ces endroits. Les travaux réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ montrent que ces milieux possèdent des caractéristiques physiques semblables (étendue, épaisseur totale, épaisseur de l'unité argileuse, présence de plusieurs nappes d'eau souterraine) à ceux présents au sud de la rivière Péribonka. Toutefois, la qualité chimique de l'eau souterraine semble altérée localement, notamment sur le territoire de la municipalité de Dolbeau-Mistassini, sur la pointe de Vauvert, où l'eau dans un forage du PACES-SLSJ présente de grande quantité de fer en solution (section 5.1). À la lumière des connaissances acquises, ces milieux sont susceptibles de présenter un bon potentiel aquifère, la bonne qualité de l'eau restant à démontrer. Des travaux d'investigation additionnels sont requis pour confirmer le tout. Actuellement, la Ville de Dolbeau-Mistassini prélève le volume d'eau (de surface et souterraine) le plus important de la MRC Maria-Chapdelaine, et au niveau régional, cette ville se place au quatrième rang des préleveurs d'eau (4% du volume régional). D'après les données disponibles, la part de l'eau souterraine ne représente que 0,9% et sert principalement à des fins industrielles.

Rivière Shipshaw

Au nord des arrondissements de Chicoutimi et de Jonquière, de la rivière Saguenay jusqu'aux limites des basses terres au nord, l'épaisseur des dépôts de surface varie de 10 à 30 m en moyenne, et peut atteindre 50 m localement (Figure 5-19 B). Le milieu le plus important en termes de superficie et d'épaisseur est traversé par la rivière Shipshaw et couvre en partie le territoire de la Ville de Saguenay et de Saint-Ambroise. Les puits de Saint-Ambroise sont installés à l'extrémité ouest du dépôt granulaire. D'après les données disponibles, 97% de l'eau utilisée par la municipalité pour répondre à ses besoins en eau est d'origine souterraine. Aussi, la municipalité de Saint-Ambroise se place au quatrième rang des préleveurs d'eau souterraine (2,9% du volume régional d'eau souterraine prélevé). Comme le montre la **carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage** (Annexe 1), environ 30% du volume est

prélevé par l'industrie, 2% possède une vocation agricole (élevage seulement) et le reste (67%) est dédié à un usage domestique (alimentation en eau potable). En l'absence de connaissances additionnelles, il apparaît fortuit de statuer sur le potentiel aquifère de l'ensemble de la formation géologique, toutefois, les caractéristiques locales attestent de sa capacité à alimenter une petite communauté.

Territoire de Saint-Honoré

À l'est de la rivière Shipshaw, un dépôt de sable hétérogène de surface couvre en partie le territoire de la municipalité de Saint-Honoré. Il est de plus petite superficie que le précédent et présente une épaisseur légèrement moins importante. Cet environnement est capté par les puits d'exploitation de la municipalité de Saint-Honoré et de la mine Niobec. Comme le montre la **carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage** (Annexe 1), la municipalité de Saint-Honoré utilise la proportion la plus importante d'eau souterraine de la région (environ 34%) dont plus de 90% est prélevé à des fins industrielles et environ 10% se rapporte à un usage domestique. L'extraction importante de l'eau souterraine de ce milieu fait de ce dernier un aquifère majeur de la région. Dans le cadre d'une étude universitaire (Tremblay, 2005), un modèle conceptuel de l'aquifère a été développé et le bilan hydrique de l'aquifère a été évalué à partir des données de suivi piézométrique mis en œuvre par Mine Niobec entre 2001 et 2004. De plus, un modèle numérique a été réalisé pour simuler l'écoulement de l'eau dans l'aquifère. Les résultats de cette étude montrent la grande sensibilité de la nappe d'eau aux taux de précipitation. Tremblay (2005) observe un réajustement vers un nouvel équilibre des flux entrant et sortant suite à la mise en exploitation des puits de la mine Niobec; ceci malgré les variations de niveau d'eau dans les piézomètres et les variations de débit dans les cours d'eau exutoires. Une mise à jour de ces résultats est requise pour évaluer le taux d'exploitation de l'aquifère. De plus, les importants volumes d'eau souterraine prélevés sur le territoire de la municipalité de Saint-Honoré sont expliqués par le dénoyage des galeries de la mine Niobec, sans lequel l'extraction du minerai ne serait pas possible, ce qui semble biaiser les statistiques obtenues pour cette municipalité. En effet, le 90% prélevé à des fins industrielles inclut sans doute l'eau d'exhaure de la mine; cette eau n'est donc pas extraite du dépôt de sable de surface, mais plutôt du roc fracturé.

Hautes terres dans la partie Est du territoire municipalisé

Des milieux aquifères de sables hétérogènes de surface se retrouvent également dans les hautes terres, notamment à proximité des baies localisées le long de la portion aval de la rivière Saguenay, à l'est de l'arrondissement de La Baie. Un exemple est donné par la municipalité de l'Anse-Saint-Jean qui utilise 20% d'eau souterraine (**carte #26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface**; Annexe 1) provenant de ces milieux aquifères. Comme le montre la **carte #26(b)-Utilisation de l'eau souterraine par catégorie d'usage** (Annexe 1), ce volume d'eau permet de répondre aux besoins domestiques de la municipalité (67%), aux besoins industriels (31%) et dans une moindre mesure aux besoins agricoles (1.6%). Étant donné le contexte physiographique des hautes terres, ces milieux sont de faible étendue et sont bien délimités par les murs des vallées encaissantes.

5.3.5 Faits saillants – les statistiques

Consommation d'eau et population

- La population de la Ville de Saguenay représente 53% de la population régionale et la consommation d'eau pour cette ville correspond à 40% de la totalité de l'eau utilisée régionalement.
- La population de la MRC du Domaine-du-Roy représente 10% de la population régionale et la consommation d'eau pour cette MRC correspond à 26% de la totalité de l'eau utilisée régionalement.
- La population de la MRC de Maria-Chapdelaine représente 6% de la population régionale et la consommation d'eau pour cette MRC correspond à 9% de la totalité de l'eau utilisée régionalement.
- Pour les deux autres MRC, du Fjord-du-Saguenay et de Lac-Saint-Jean-Est, et la communauté autochtone de Mashteuiatsh la proportion d'eau utilisée s'approche de la proportion de population.

Consommation d'eau souterraine et d'eau de surface

- Dans la région du SLSJ, 13% de l'eau utilisée provient d'eau souterraine et 87% d'eau de surface.

Consommation d'eau souterraine et population

- 34% de la population régionale est alimentée en eau potable à partir d'eau souterraine (13% par des installations privées et 21% à partir de réseau municipaux).
- La population de la MRC du Fjord-du-Saguenay représente 7% de la population régionale et elle extrait 43% du total de l'eau souterraine utilisée régionalement.
- La population de la Ville de Saguenay représente 53% de la population régionale et elle extrait près de 20% du total de l'eau souterraine utilisée régionalement.
- La population de Mashteuiatsh représente 0,8% de la population régionale et elle extrait 0,1% du total de l'eau souterraine utilisée régionalement.
- Pour les trois autres MRC, du Domaine-du-Roy, du Fjord-du-Saguenay et de Lac-Saint-Jean-Est, la proportion d'eau souterraine utilisée correspond à quelques pourcents près à celui de la population.

Consommation d'eau souterraine et catégories d'usage

- L'eau souterraine régionale est utilisée à 50% pour usage domestique, à 46% pour usage industriel et à près de 4% pour usage agricole.
- Les municipalités de Saint-Honoré, Normandin et Saguenay consomment respectivement 68%, 14% et 8% de l'eau souterraine destinée à un usage industriel.
- La Ville de Saguenay consomme 30% de l'eau souterraine destinée à un usage domestique.

5.3.6 Conclusion sur l'utilisation de l'eau en lien avec l'exploitation des milieux aquifères

L'étude de l'utilisation de l'eau souterraine dans la région du SLSJ, en lien avec l'exploitation des aquifères à des fins d'alimentation en eau potable, atteste du potentiel aquifère du territoire. En effet, chacun des types de milieux aquifères régionaux identifiés dans le cadre de ce projet (roc cristallin, roc calcaire, sables hétérogènes de surface et sédiments fluvioglaciers) présente au moins un cas de nappe souterraine capable de subvenir aux besoins de la société régionale, généralement de nature domestique (alimentation en eau potable), mais aussi localement de type industriel (besoins calculés à partir des débits industriels supérieurs à 75 m³/jour) et dans une moindre mesure pour soutenir l'agriculture (élevage seulement).

Milieux aquifères fluvioglaciers

Il ressort de cette analyse que les aquifères les plus communément exploitées sont constitués de sédiments fluvioglaciers, confinés ou qui affleurent. Ces dépôts prennent la forme d'épandages granulaires imposants en termes d'étalement et d'épaisseur, notamment aux extrémités est et ouest du lac Kénogami, ainsi que dans la partie nord-est et à l'ouest du lac Saint-Jean où le plein potentiel aquifère de ces milieux reste à découvrir. Aussi, le plateau des hautes terres présente plusieurs aquifères composées de sédiments fluvioglaciers, dont certains sont déjà exploités par des municipalités. D'autres nappes de ce type sont suspectées dans les autres vallées encaissées des hautes terres.

Milieux aquifères de sable hétérogènes de surface

Le second type de milieux aquifères mis à contribution pour l'alimentation en eau souterraine est constitué des sables hétérogènes de surface. Ces milieux sont massivement présents à l'ouest et au nord du lac Saint-Jean, ainsi qu'au nord de la rivière Saguenay, à la hauteur de la Ville de Saguenay. C'est au nord-est du lac Saint-Jean, plus précisément au sud de la rivière Péribonka et sur le territoire de la municipalité de Saint-Honoré, que les nappes d'eau souterraine contenues dans les milieux aquifères de sables hétérogènes de surface sont le plus exploitées. Ces dépôts sont localement superposés à d'épaisses unités argileuses qui confinent par endroit des sédiments fluvioglaciers, offrant ainsi la possibilité de superposition de plus d'une nappe d'eau souterraine dans des dépôts granulaires.

Milieux aquifères fracturés

L'eau souterraine des milieux aquifères composés de roc fracturé est aussi exploitée, principalement pour répondre à des besoins domestiques (alimentation en eau potable). Les données disponibles montrent que les volumes d'eau souterraine exploités à partir des milieux aquifères fracturés sont généralement les plus faibles de la région.

Potentiel aquifère à développer

Pour finir, l'existence d'autres nappes d'eau encore inexploitées ailleurs sur le vaste territoire municipalisé du SLSJ est suggérée par la variété d'aquifères en exploitation. Il semble que la majorité des municipalités aient trouvées une source d'alimentation en eau, les plus petites privilégiant l'eau souterraine. Il demeure toutefois que certains secteurs semblent problématiques pour l'alimentation en eau potable à partir de nappes souterraines, notamment

au nord et à l'est du lac Saint-Jean, et dans les hautes terres dans la partie est du territoire municipalisé. À ces endroits, de petites municipalités utilisent encore une forte proportion d'eau de surface sans qu'aucune activité économique ou agricole ne le justifie. Les aquifères stratégiques identifiés par ce projet sont susceptibles de fournir des quantités appréciables d'eau qui pourraient peut-être ultimement pallier des problèmes de pénuries d'eau. Des travaux de terrain et une analyse tridimensionnelle fine des entités aquifères sont requis pour le démontrer.

6 CONCLUSIONS

Ce rapport présente les résultats obtenus par l'équipe de recherche en hydrogéologie du Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) suite à la réalisation du projet mené sur le territoire municipalisé du Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ) dans le cadre du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES) du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP).

Les objectifs visés par ce projet consistaient à : 1) dresser un portrait des ressources en eau souterraine à l'échelle des MRC de la région du SLSJ, 2) établir l'état de cette ressource en eau, sa recharge et sa vulnérabilité, 3) consolider les partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire afin de favoriser une saine gestion de cette ressource, et 4) répondre aux préoccupations du milieu en ce qui concerne les ressources en eau souterraine. Pour ce faire, 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-SLSJ.

Ce rapport, accompagné de 29 cartes élaborées à partir d'une base de données originale, constitue le livrable final du projet PACES-SLSJ. Il présente la synthèse résultant de l'analyse des données existantes et de celles acquises en cours de projet. Il comprend également les recommandations portant sur la protection et la gestion de l'eau souterraine sur le territoire couvert.

6.1 Territoire d'étude

Le territoire visé se situe dans la région administrative du SLSJ localisée dans la partie centrale du Québec méridionale, au nord du fleuve Saint-Laurent. Il correspond au territoire municipalisé de la Ville de Saguenay et des quatre municipalités régionales de comté (MRC) de la région, soit la MRC du Domaine-du-Roy, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC du Fjord-du-Saguenay et la MRC de Maria-Chapdelaine. Ce territoire couvre une superficie de 13 210 km² et présente une population de 271 512 personnes. Il se développe autour de deux plans d'eau importants, soit le lac Saint-Jean à l'ouest dont l'axe long fait près de 40 km et la rivière Saguenay orientée ONO-ESE qui constitue l'exutoire du lac Saint-Jean vers le fleuve Saint-Laurent. La topographie de la région est contrôlée par une succession de divers événements géologiques dont le principal élément est le Graben du Saguenay orienté ONO-ESE. Les failles majeures bordant le graben divisent les hautes terres des basses terres. Les limites nord et sud du graben sont formées par une succession de failles orientées NO-SE. Deux seuils topographiques et une ride rocheuse se trouvent à l'intérieur du graben, perpendiculairement à son allongement. À ces endroits, le roc émerge des dépôts meubles (seuil de Kénogami, seuil du Cap Éternité et la ride rocheuse d'Alma).

Un aquifère est défini par sa capacité à laisser circuler l'eau souterraine (propriétés physiques) et par la présence d'eau en quantité suffisante pour être exploitée. Les limites des entités aquifères considérées dans le cadre du PACES-SLSJ ont été définies dans un premier temps sur la base du *contenant*, et sans considérer la présence (ou l'absence) d'un *contenu exploitable* en eau souterraine. De ce fait, dans cette étude le terme « milieu aquifère » a été employé pour désigner des environnements capables de contenir des quantités d'eau suffisantes pour

permettre son extraction de façon économique. Ainsi, le PACES-SLSJ a permis de définir deux grands types de milieux aquifères au sein de ce vaste territoire : le premier type est constitué du roc fracturé d'âges précambrien et ordovicien, et le second est constitué des dépôts granulaires d'âge quaternaire.

6.2 Le roc fracturé d'âge précambrien et ordovicien

Les milieux aquifères de roc fracturé comprennent des milieux aquifères de roc sédimentaire et d'autres de roc cristallin. Le roc sédimentaire aquifère est surtout constitué de calcaire; les travaux du PACES-SLSJ ont étendu significativement leur présence au nord du lac Saint-Jean. Leurs limites présumées sont directement données sur la carte géologique élaborée dans le cadre du PACES-SLSJ. Avec les grands éléments structuraux de la région, cette carte correspond aux principaux milieux aquifères régionaux de roc fracturé (**Carte #18 (a) – Milieux aquifère de roc fracturé**; Annexe 1).

6.2.1 Propriétés hydrauliques des milieux aquifères de roc fracturé

L'examen des données d'essais de pompage (travaux du PACES-SLSJ et rapports de consultants) obtenues dans le cadre de cette étude montre que les valeurs de transmissivité des milieux aquifères de roc calcaire sont faibles (10^{-5} à 10^{-4} m²/s) mais demeurent parmi les plus élevées des milieux aquifères de roc fracturé. Les résultats des travaux de terrain du PACES-SLSJ suggèrent que le calcaire enfoui sous d'importantes accumulations de dépôts est moins sujet à développer des structures karstiques contrairement aux roches calcaires exposées en surface, comme par exemple dans les environs de la municipalité de Chambord. Ainsi, contrairement aux attentes d'avant projet, le calcaire n'apparaît pas toujours un réservoir de plus grande capacité que le roc cristallin.

En général, la valeur moyenne de transmissivité des aquifères de roc fracturé est de l'ordre de 1×10^{-5} m²/s. Sur le seuil de Kénogami, les travaux de Pino (2012) et de Chesnaux (2013), réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ, décrivent la fracturation du massif rocheux et le faible taux de recharge sur ce territoire. À l'inverse, la zone de déformation de Saint-Fulgence (ZDSF) et le secteur des municipalités de Sainte-Rose-du-Nord, de Ferland-Boilleau et de l'arrondissement de La Baie semblent présenter plusieurs valeurs élevées (10^{-4} à 10^{-3} m²/s). Ces secteurs sont marqués par la présence de failles et de linéaments majeurs qui constituent d'une part un des plus vieux accidents ductiles de la région et, d'autre part, la limite est du Graben du Saguenay. Bien que plusieurs linéaments d'ampleur régionale aient été interprétés dans le cadre du projet, leur expression en profondeur et leur participation à l'écoulement de l'eau souterraine (ouverture de fracture) restent à investiguer. Toutefois, le potentiel aquifère des formations rocheuses a été en partie démontré dans le cadre du PACES-SLSJ par l'utilisation de l'eau souterraine de certaines municipalités à des fins d'alimentation en eau potable (**carte #26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface**; Annexe 1). En effet, les municipalités de Sainte-Rose-du-Nord, de Ferland-et-Boilleau, de Saint-Eugène, de Petit-Saguenay, de Saint-François-de-Sales et de Bégin possèdent des installations dans le roc cristallin et un puits de la Ville de Saint-Félicien capte l'eau dans les roches calcaires. La Ville de Saint-Félicien est la seconde agglomération en importance dans la région, après l'arrondissement de La Baie, à exploiter l'eau souterraine pour répondre aux besoins résidentiels.

6.2.2 Topographie du roc et épaisseur des dépôts de surface

Le cadre stratigraphique régional (*carte #15 – Épaisseur des dépôts meubles* et *carte #16 – Topographie du roc*; Annexe 1) montre que le roc est généralement recouvert d'importantes accumulations de dépôts meubles, notamment dans les basses terres. Lorsque les dépôts sont présents, les travaux du PACES-SLSJ ont montré qu'ils possèdent communément des épaisseurs supérieures à 25 m. Les plus grandes accumulations sont situées au nord et au nord-ouest du lac Saint-Jean et sont associées spatialement avec les grandes rivières de la région (Ashpamshuan, Mistassini, Péribonka, Shipshaw et À Mars). Localement, leur épaisseur peut atteindre 180 m (sud de la rivière Péribonka). La marge sud du Graben du Saguenay est bien marquée par des accumulations de dépôt de 55 m et plus. Des épaisseurs importantes de dépôt sont également observées dans les dépôts d'épandage fluvioglaciaire identifiés par Lasalle et Tremblay (1978) dans le secteur des municipalités de Sainte-Monique et de Saint-Ludger-de-Milot. En général, cette épaisseur présente une grande variabilité spatiale naturelle en partie fonction de la topographie du roc, qui, comme l'ont montré les travaux du PACES-SLSJ, présente un comportement chaotique difficile à modéliser. La modélisation réalisée dans le cadre de ce projet repose sur l'interprétation de 134 coupes stratigraphiques régionales, réparties selon une maille régulière sur le territoire municipalisé, et créées à l'aide d'outils géomatiques. Elles représentent le premier pas vers la modélisation tridimensionnelle des aquifères de la région, mais aussi vers l'estimation des volumes d'eau disponibles.

En effet, parmi les 134 coupes stratigraphiques régionales, certaines ont mis en évidence la présence de milieux aquifères granulaires enfouis en plusieurs endroits de la région et souvent recouverts par un dépôt argileux. Avant le PACES-SLSJ, les cartes des dépôts superficiels permettaient de délimiter les principaux milieux aquifères uniquement en surface. L'intégration des données de stratigraphie par leur interprétation en coupe a ajouté la dimension verticale aux limites horizontales des entités hydrogéologiques. L'introduction de cette 3^e dimension a permis d'évaluer l'étendue réelle et la superposition des milieux aquifères en fonction de la stratigraphie des dépôts. Cette étape a constitué le véritable défi de la délimitation des milieux aquifères régionaux de type granulaire.

6.3 Les dépôts granulaires d'âge quaternaire

La mise en place des dépôts d'âge quaternaire comprend deux événements considérés d'étendue régionale : la mise en place de till, laissé sur place par le glacier, et le dépôt de sédiments fins d'eau profonde de la mer de Laflamme. D'un point de vue hydrogéologique, ces unités sont considérées imperméables ou semi-perméables. Superposées à ces dernières, des séquences granulaires hétérogènes couvrent de larges portions de territoire, c'est le cas des unités deltaïques d'origine glaciomarine des paléo-rivières *Ashpamshuan*, Mistassini, Péribonka, et de la rivière Shipshaw. Les autres sédiments granulaires (fluvioglaciaires et glaciolacustres) couvrent généralement de plus petites portions du territoire et sont retrouvés à la base des séquences granulaires, superposés au till et sous-jacents à l'argile.

6.3.1 Stratigraphie simplifiée

En se basant sur les travaux de forage réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ, les unités sédimentaires qui composent les dépôts meubles de la région ont été groupées selon leur granulométrie (sédiments fins, sables ou gravier) et leur position par rapport à l'unité d'argile de

la mer Laflamme considérée continue à l'intérieur des basses terres. Cette étape a permis de définir une stratigraphie régionale simplifiée sur laquelle repose la majeure partie des interprétations réalisées dans ce projet (**carte #18(b) – Limites régionales des milieux aquifères granulaires**; Annexe 1). L'ensemble des observations et des interprétations ont permis de produire une coupe stratigraphique conceptuelle des contextes hydrogéologiques de la région qui illustre l'ensemble des combinaisons stratigraphiques tenant compte de l'âge relatif des unités sédimentaires simplifiées (till, fluvioglacière, argile et sable hétérogène), des types de roc (calcaire et cristallin) et des cartes de dépôts de surface. De plus, un modèle conceptuel tridimensionnel de la région a été construit en tenant compte des informations hydrogéologiques collectées dans le cadre du PACES-SLSJ.

6.3.2 Propriétés hydrauliques des milieux aquifères de type granulaire

L'étude des valeurs de transmissivité obtenues à partir des essais de pompage (PACES-SLSJ et rapports de consultants) pour les milieux aquifères granulaires a montré l'importance des dépôts fluvioglaciers accumulés dans les vallées qui entaillent les hautes terres. De plus, la présence de valeurs de l'ordre de $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dans les environnements dominés par l'argile dans le secteur de Saint-Félicien, de La Baie et de Sainte-Monique suggère l'existence en profondeur de dépôts granulaires transmissifs. Pour les secteurs dominés par les unités deltaïques, les valeurs de transmissivité obtenues sont variables (10^{-5} à $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$), notamment au sud de la rivière Péribonka dans le secteur de l'Ascension de-Notre-Seigneur et de Labrecque, ce qui tend à démontrer leurs caractéristiques hétérogènes. Pour l'ensemble de la région, la moyenne des valeurs de transmissivité des milieux granulaires ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) est supérieure de deux ordres de grandeur à celle caractérisant les aquifères fracturés (10^{-5}).

6.4 Contextes hydrogéologiques régionaux

Les notions de nappe confinée et de nappe libre ont pu être introduites à l'échelle régionale. Au SLSJ, les nappes confinées les plus courantes sont constituées des milieux aquifères fluvioglaciers présents sous les sédiments fins. Ces milieux sont susceptibles de contenir des quantités appréciables d'eau présentant généralement des conditions artésiennes. La **carte #18(b) – Limites régionales des milieux aquifères granulaires** (Annexe 1) permet d'identifier des zones pouvant potentiellement contenir de telles nappes. C'est le cas notamment le long du mur sud du graben, aux deux extrémités du lac Kénogami. Des nappes confinées du même type ont aussi été interprétées dans le secteur de la municipalité de Sainte-Monique et de Saint-Ludger-de-Milot, à l'extrémité nord-ouest du territoire municipalisé, ainsi que dans le secteur de Saint-Méthode (site S35) où un forage du PACES-SLSJ a intercepté une vingtaine de mètres de sédiments apparemment d'origine fluvioglacière. L'examen des données disponibles sur l'utilisation de l'eau a montré que la plupart des municipalités de la région puisent leur eau dans les sédiments fluvioglaciers, confinés ou qui affleurent, ce qui confirme en partie leur potentiel hydrique, notamment aux extrémités est et ouest du lac Kénogami, ainsi que dans la partie nord-est et à l'ouest du lac Saint-Jean où le plein potentiel aquifère de ces milieux reste à découvrir. Aussi, les observations de terrain ont montré la présence de deux nappes d'eau distinctes à certains endroits (sites S35 et S16). Les grandes étendues deltaïques constituées de sable hétérogènes de surface sont a priori favorables à présenter ce genre de contexte, à condition qu'une nappe confinée sous-jacente puisse y être identifiée. Par endroit, le roc peut aussi être confiné, soit par l'unité de till ou par l'argile de la mer Laflamme, ou présenter une connexion hydraulique avec des dépôts granulaires superficiels (site S103). Le potentiel aquifère

des sables hétérogènes de surface est aussi mis à contribution pour l'alimentation en eau souterraine. Ils sont massivement présents à l'ouest, au nord et au nord-ouest du lac Saint-Jean, ainsi qu'au nord de la rivière Saguenay, à la hauteur de la Ville de Saguenay. C'est au nord-est du lac Saint-Jean, plus précisément au sud de la rivière Péribonka et sur le territoire de la municipalité de Saint-Honoré, que les nappes d'eau souterraine contenue dans ces milieux aquifères sont le plus exploitées (**carte #26(a)-Utilisation de l'eau souterraine versus l'eau de surface**; Annexe 1).

6.5 Piézométrie régionale et zones de résurgence

Le comportement très distinct de la nappe d'eau entre les hautes terres dominées par le roc et les basses terres dominées par les dépôts meubles a été mis en évidence par l'approche adoptée dans le cadre du PACES-SLSJ pour l'estimation de la piézométrie régionale (**carte #19 – Piézométrie régionale**; Annexe 1). En effet, l'étude statistique des points de mesures piézométriques disponibles (2 634), majoritairement localisés dans les basses terres, révèle que 95% des données sont inférieures à 20 m sous la surface. Les tests de validation du résultat interpolé de la piézométrie régionale avec ces points de mesure montre une corrélation suffisamment importante pour justifier l'emploi de la méthode, et démontre que la nappe libre dans les basses terres peut être considérée comme une réplique atténuée de la topographie.

À l'intérieur des basses terres, les principaux points bas piézométriques sont constitués des exutoires majeurs de la région que sont le Lac-Saint-Jean et le Saguenay. Ils définissent les zones préférentielles de décharge vers lesquelles converge l'écoulement des eaux souterraines. De plus, des zones de résurgence ont été interprétées dans les zones de très forte pente où l'interpolation de la surface piézométrique a tendance à présenter une élévation supérieure à la surface réelle du terrain. Les travaux de terrain réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ ont permis d'observer ces résurgences. En effet, des suintements ont été observés sur des falaises près du Saguenay, près des murs nord et sud du Graben du Saguenay, sur les seuils de Kénogami et du Cap Éternité, ainsi que sur les talus bordant les rivières Shipshaw et Péribonka. Les zones concernées correspondent aux principales limites entre les hautes terres et les basses terres. Une autre forme de résurgence de la nappe d'eau souterraine est constituée des sources, mais aucun recensement n'en a été réalisé à ce jour pour la région du SLSJ. Lors des campagnes hydrogéochimiques, quelques sources ont été localisées. Elles ont été présentées sur la **carte 28 - Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1) mais elles ne représentent pas de façon exhaustive les zones où sont préférentiellement localisées les nappes artésiennes. Des travaux additionnels sont requis pour obtenir un portrait juste de la localisation et des caractéristiques des sources.

6.6 Zones préférentielles de recharge

Les travaux réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ suggèrent que les plus fortes valeurs de recharge sont généralement localisées au droit des milieux aquifères superficiels (sables hétérogènes) et d'origine fluvioglaciaire lorsqu'ils affleurent. Ces deux types de milieu aquifère définissent en général les zones de recharge préférentielle de la région et leurs limites sont donc utilisées pour présenter les valeurs de recharge moyenne de la région. Il est toutefois inexact de considérer que le roc et l'argile ne permettent aucune recharge, elle y est simplement beaucoup plus faible qu'au droit des milieux aquifères granulaires.

La **carte #28 - Zones préférentielles de recharge et de résurgence** (Annexe 1) a mis en évidence des zones de recharge très élevées (400 à 500 mm/an) au nord du Saguenay. Les secteurs dominés par les grandes plaines deltaïques de la région présentent généralement une recharge préférentielle plus faible (100 à 300 mm/an). Des valeurs de recharge intermédiaires à élevées (200 à 400 mm/an) sont retrouvées au sud du Saguenay, dans les basses terres.

Les lacunes de cette carte ont été discutées dans ce rapport, notamment au droit des zones humides et des tourbières. Pour ces dernières, l'absence de valeur de recharge est inhérente à la méthode de calcul. De plus, la méthode de calcul néglige l'effet de la topographie (*i.e.* des pentes) et donc de l'apport du ruissellement à la recharge d'un aquifère à proximité. Finalement, la recharge des milieux aquifères confinés n'a pas été considérée dans cette étude, les données disponibles ne le permettant pas.

6.7 Vulnérabilité selon DRASTIC et activités anthropiques

De façon générale, les zones les plus vulnérables identifiées régionalement dans le cadre du PACES-SLSJ et présentées sur la **carte #22 – Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface selon la méthode DRASTIC** (Annexe 1) coïncident avec les zones de dépôts granulaires de surface. À l'inverse, les dépôts de surface plus fins (argile et silt) et les affleurements rocheux présentent une vulnérabilité faible à très faible. La cartographie de la vulnérabilité des aquifères de la région du SLSJ est donc représentative du type de sols, et elle est fortement influencée par leur perméabilité. Plus précisément, les résultats de cette étude ont montré que les grandes plaines deltaïques au nord-ouest du lac Saint-Jean, au sud de la rivière Péribonka et sur les rives de la rivière Shipshaw, ainsi que les dépôts d'origine fluvioglaciaire sur le territoire de la Ville de Saguenay et à l'ouest du lac Kénogami, apparaissent comme les plus vulnérables. De plus, les milieux humides de la région présentent un indice de vulnérabilité maximale qui est en partie attribué aux valeurs de la recharge imposées par la méthode. En l'absence de données spécifiques sur le type de sol, sur le type de milieu aquifère sous-jacent et sur la dynamique des liens entre ces milieux et leur environnement, notamment avec les eaux souterraines, la vulnérabilité des eaux souterraines sous ces terrains est présumée élevée. Les travaux réalisés dans le cadre du PACES-SLSJ dressent un premier portrait de la susceptibilité des nappes d'eau de surface à la contamination. Les activités anthropiques tirées des données d'occupation du sol (**carte #7 – Occupation du sol**; Annexe 1) ont donc été considérées dans le but de définir des secteurs pour lesquels des compléments d'information sont requis pour documenter le risque de contamination de l'eau souterraine. Les activités anthropiques constituent des aléas⁵⁹ qui, dans l'état actuel des connaissances ne sont pas évalués précisément en regard de la contamination des eaux souterraines. De plus, des données importantes telles que les limites tridimensionnelles des aquifères régionaux et la quantité d'eau souterraine disponible par aquifère demeurent inconnues. Ces données sont indispensables à l'attribution d'une valeur locale à l'eau souterraine et constituent des informations essentielles à la détermination du risque de contamination.

⁵⁹ Ne doit pas être confondu avec le risque. L'aléa correspond à un phénomène d'occurrence et d'intensité imprévisible. Dans le cadre de ce projet, l'aléa correspond à la présence d'une source de contamination de l'eau souterraine.

6.8 Qualité de l'eau souterraine

Basée sur l'étude de 356 échantillons d'eau souterraine et sur le traitement statistique des résultats d'analyses chimique d'environ 40 paramètres physico-chimiques, la qualité naturelle de l'eau souterraine du territoire municipalisé du SLSJ a été commentée en lien avec les milieux aquifères déterminés dans le cadre du projet et en regard des critères esthétiques des *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (CFPT, 2012) et des normes de potabilité tirées du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* c. Q-2, r. 40 (MDDEFP, 2012). Ainsi, le PACES-SLSJ a montré que l'eau souterraine de la région du SLSJ est le plus communément du type bicarbonaté (HCO_3) et correspond à une eau douce de très bonne qualité. Toutefois, pour 35% des échantillons, le pH ne répond pas exactement au critère esthétique de ce paramètre; il est légèrement acide dans les milieux aquifères granulaires et légèrement basique dans les milieux aquifères rocheux. Par endroits, l'eau souterraine peut aussi présenter des concentrations élevées en sels. Ces occurrences demeurent marginales et semblent concentrées autour du lac Saint-Jean. Dans le cadre du PACES-SLSJ, le type de milieu aquifère qui les contient n'a pu être clairement établi. De plus, des quantités appréciables de fer et de manganèse ont été identifiées, souvent en association. En effet, la teneur en fer de 14% des échantillons et la teneur en manganèse de 25% des échantillons dépassent les critères esthétiques prescrits pour ces paramètres. Finalement, cette étude a mis en évidence l'étroite corrélation entre les milieux aquifères de roc fracturé et les concentrations significatives de fluorures dans l'eau souterraine de la région, dépassant même dans plusieurs cas la norme de potabilité (16% des échantillons).

7 RECOMMANDATIONS

À la lumière des connaissances acquises par le projet PACES-SLSJ et décrites dans les chapitres précédents, il est opportun de formuler maintenant un certain nombre de recommandations visant une meilleure protection des ressources en eau souterraine sur le territoire régional. Ces recommandations sont orientées vers une gestion durable des connaissances et des ressources en eau souterraine sur le territoire du SLSJ. Elles proposent des mesures concrètes pour mieux protéger les ressources en eau souterraine ainsi que la santé des citoyens. Elles sont présentées selon trois catégories distinctes.

1. Recommandations spécifiques aux suivis des résultats du PACES SLSJ (10);
2. Recommandations générales relatives aux bonnes pratiques pour les forages et pour la détermination de la vulnérabilité (6);
3. Recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine (3).

7.1 *Recommandations spécifiques aux suivis des résultats du PACES SLSJ*

7.1.1 **Suivi géochimique des puits individuels**

La campagne de levés géochimiques au SLSJ a révélé que les puits individuels sont exposés à des dépassements de normes de potabilité. C'est le cas des concentrations présumées naturelles en fluor et en manganèse qui sont supérieures aux normes de potabilité. Aucun suivi n'est présentement effectué de la qualité géochimique de l'eau des puits et de sa variation dans le temps. Un tel suivi devrait être entrepris, avec des données qui seraient compilées par le MDDEFP sur chaque puits en exploitation, tout comme le sont les données physiques compilées dans le SIH. Il faudrait s'assurer que l'eau des puits soit analysée avant son utilisation comme source d'eau potable, quel que soit le nombre de personnes alimentées par l'eau du puits. De plus, un suivi des propriétés géochimiques de l'eau souterraine dans le temps fournirait une meilleure connaissance de leur évolution géochimique. Ceci permettrait de mieux déceler les concentrations supérieures aux normes de potabilité d'origines anthropique ou naturelle, de façon à définir des mesures de protection du public si on constate un dépassement de ces normes. La question de la variation dans le temps de la qualité de l'eau d'un puits est importante. En effet, comme le projet PACES-SLSJ l'a illustré, une concentration supérieure aux normes de potabilité peut être observée ponctuellement à un certain temps mais peut ensuite disparaître; l'inverse peut également être observé. Une eau captée comme source d'eau potable ne devrait presque jamais dépasser une norme de potabilité malgré ses fluctuations de qualité. Une telle détection et un tel ciblage des interventions ne sont possibles que si un système de suivi de la qualité de l'eau dans les puits exploités est mis en place.

Recommandation no 1.1 :

Mettre en place ou reconduire les programmes existants de suivi de la qualité de l'eau souterraine des puits individuels au SLSJ.

7.1.2 Mise à jour de la base de données

Il a été mentionné au chapitre 2 (section 2.3.1) que 41 rapports élaborés par des experts-conseils ont été obtenus par le CERM vers la fin du projet PACES-SLSJ, soit trop tard pour leur utilisation dans les livrables et leur intégration dans la base de données fournie avec ce rapport. Le contenu de ces rapports doit toutefois être numérisé et intégré dans la base de données.

Plusieurs autres rapports existants et contenant des données pertinentes sur les aquifères et sur les eaux souterraines pourront encore être identifiés. C'est le cas notamment chez des entreprises qui ont mandaté des firmes d'experts-conseils pour des travaux d'investigation hydrogéologique ou géotechnique. Ainsi, Hydro Québec et Rio Tinto Alcan, par exemples, ont mené de telles études en lien avec la construction et l'aménagement de leurs infrastructures dans la région, tels des bâtiments, des lignes de transport électrique et des voies ferrées.

De plus, la collecte de données pertinentes aux aquifères et aux eaux souterraines va continuer dans le futur, notamment par les municipalités, par des entreprises et par des organismes gouvernementaux.

Les données existantes nouvellement intégrées, ainsi que les nouvelles données pourront enrichir graduellement la base de données sur les aquifères et les eaux souterraines, et servir à l'élaboration périodique de versions améliorées de certains produits cartographiques.

Chacune des interventions mentionnées plus haut et touchant de près ou de loin aux ressources en eau souterraine, devrait systématiquement être déclarée. Une base de données doit ainsi être régulièrement mise à jour par l'acquisition et l'intégration de nouvelles données. Cela permettra de mieux planifier et mieux gérer les interventions futures. Cette compilation servira également à conscientiser les gestionnaires sur l'importance collective de la ressource en eau, particulièrement la ressource souterraine qui dans la perception populaire est encore « abstraite » et par conséquent moins connue et moins protégée.

Recommandation no 1.2 :

Mettre en place des dispositions permettant d'assurer le suivi et le maintien de la base de données du PACES-SLSJ.

7.1.3 Cartographie fine des grands aquifères régionaux

Nous avons vu au chapitre 3 que des milieux géologiques aquifères de grande étendue sont présents sur le territoire du SLSJ. C'est le cas notamment de dépôts fluvioglaciers, lesquels constituent de très bons aquifères généralement de forme allongée. Par exemple, une bande de plusieurs kilomètres de large constituée de sédiments fluvioglaciers s'étend sur plusieurs dizaines de kilomètres le long du mur sud du graben, à l'est et à l'ouest du lac Kénogami. À plusieurs endroits ces dépôts sont confinés par les sédiments fins de la mer Laflamme. À d'autres endroits, les sédiments fluvioglaciers affleurent et contiennent une nappe libre pouvant accueillir une recharge préférentielle.

Il est très important de protéger les ressources en eau souterraine partout dans la région et la priorité devrait être accordée aux grands systèmes mentionnés plus haut. Une petite partie de

ces aquifères est présentement exploitée pour l'alimentation en eau de plusieurs municipalités; cette partie bénéficie alors d'une certaine protection dans la cadre du Règlement sur la qualité de l'eau potable. La majeure partie de ces grands systèmes aquifères ne bénéficie présentement d'aucune mesure de protection.

Les grands systèmes aquifères peuvent être considérés comme des ressources stratégiques et doivent donc être caractérisés plus finement et leurs limites mieux définies. Ces connaissances sont requises pour la mise en œuvre de mesures visant à protéger cette ressource qui demeurera ainsi disponible aux générations futures.

Recommandation no 1.3:

Poursuivre les études afin de mieux caractériser les grand aquifères stratégiques de la région SLSJ de manière à définir les mesures de protection adéquates.

7.1.4 Zones de recharge préférentielle

La détermination des zones de recharge préférentielle présente certaines limitations. Des parties de la carte ne contiennent aucune valeur de recharge. C'est particulièrement le cas dans les secteurs identifiés « mares » correspondant à des zones humides ou des tourbières dans les cartes pédologiques, ce qui empêche une estimation rigoureuse de paramètres importants pour l'évaluation de la recharge. Une étude plus approfondie serait donc nécessaire afin de pouvoir préciser les connexions hydrauliques qui peuvent exister entre ces milieux humides et la nappe d'eau souterraine, et d'évaluer l'influence des milieux humides sur la recharge.

Le résultat cartographique de l'estimation de la recharge est dépendant en grande partie des données de pluviométrie fournies par le CEHQ. Ces données présentent une résolution spatiale approximative de 10 x 10 km ce qui produit des artefacts visibles sur la carte de la recharge. C'est le cas par exemple à environ 5 km au sud de Chicoutimi, le long de la rivière Shipshaw, ainsi qu'à quelques kilomètres au sud de Dolbeau-Mistassini. Quelques pistes de solutions doivent être testées afin d'atténuer ces artefacts.

Aussi, la méthode de calcul de la recharge néglige l'effet de la topographie (*i.e.* des pentes) et donc de l'apport du ruissellement à la recharge d'un aquifère à proximité, notamment au pied d'affleurement rocheux. Le ruissellement sur les milieux relativement imperméables peut aboutir par endroit sur des milieux plus perméables où l'eau peut alors s'infiltrer, en pied de colline par exemple; ce dernier facteur n'a pas été considéré dans les résultats présentés.

Il pourrait également être pertinent de comparer les résultats de calculs de recharge obtenus dans cette étude avec des méthodes différentes basées sur des modèles mathématiques (*HELP*, *SWAT*). Finalement, la recharge réelle des milieux aquifères confinés n'a pas été considérée ici. Elle devra faire l'objet d'études locales complémentaires avant de pouvoir être présentée régionalement.

Recommandation no 1.4:

Poursuivre les études sur la détermination des zones de recharge préférentielle de manière à combler les lacunes d'information et à comparer les résultats avec ceux d'autres méthodes d'estimation de la recharge, plus particulièrement dans les milieux humides.

7.1.5 Inventaire des résurgences

Dans la région du SLSJ, aucun inventaire des résurgences d'eau souterraine que constituent les sources n'a été mené à ce jour.. Il est très important de connaître ces sources, tant leur débit que les caractéristiques hydrogéochimiques de leur eau, car chacune de ces sources représente une fenêtre permettant d'observer le contenu d'un aquifère.

De plus, les affleurements de la nappe phréatique que sont les sources constituent d'excellents outils de sensibilisation du public à l'importance de la protection de cette ressource inestimable.

Recommandation no 1.5:

Documenter les zones de résurgence de l'eau souterraine afin de tenir un registre permettant de caractériser la qualité et la quantité de ces points d'eau.

7.1.6 Eau souterraine et exploitation de tourbières

Le développement du territoire et l'exploitation de ressources naturelles qui s'y trouvent peut présenter des menaces à la quantité et à la qualité des eaux souterraines. C'est le cas notamment de l'exploitation de tourbières. Ces types d'utilisation du territoire doivent être planifiés en prenant compte des connaissances sur les aquifères et sur les eaux souterraines spécifiques aux territoires considérés; ces connaissances doivent être suffisantes pour évaluer les impacts des activités envisagées sur les ressources en eau souterraine. C'est le cas aussi, dans une moindre mesure, de l'aménagement de bleuetières pour lequel il y a cependant moins de conflits d'usage identifiés à ce jour.

Recommandation no 1.6:

Augmenter les connaissances des aquifères localisés dans les zones à conflit d'usage potentiel comme les bleuetières et les tourbières en exploitation actuelle ou planifiée.

7.1.7 Estimation de l'épaisseur de dépôt et la topographie du roc

L'évaluation de l'épaisseur de dépôt à l'échelle de la région SLSJ a représenté un véritable défi. Les données de forages mal réparties et communément regroupées en grappes ne permettaient pas l'utilisation d'un interpolateur satisfaisant à l'échelle régionale. Ceci est principalement dû au comportement chaotique du substratum rocheux sous les dépôts. Le projet SLSJ a permis de développer une approche originale par la construction de 134 coupes stratigraphiques à travers la région et par la création de forages virtuels permettant d'optimiser la répartition des points de contrôle utilisées pour l'interpolation régionale. De plus, le modèle ainsi généré peut maintenant être validé par les différents jeux de données de forages qui n'ont pas été impliqués

dans la modélisation. Toutefois, l'erreur d'estimation qui est minimale au voisinage des coupes augmente considérablement en s'éloignant de celles-ci. Dans certains secteurs l'épaisseur des dépôts est mal estimée, étant ainsi sous-évaluée ou sur évaluée par endroit. Plusieurs secteurs apparaissent ainsi sous évalués ou sur évalués. Des travaux supplémentaires permettraient de raffiner le résultat par la confection d'autres coupes dans les secteurs jugés critiques.

La topographie du socle rocheux est intimement liée à la détermination de l'épaisseur de dépôt. La simple soustraction du MNA du résultat de l'épaisseur de dépôt permet d'obtenir la topographie du roc. Toutefois, le MNA est affecté d'une marge d'erreur d'environ 10 m en élévation au départ et il représente donc une variable imprécise pour une estimation efficace. Des essais réalisés sur une portion du territoire avec le logiciel Correlator 3D par un de nos partenaires dans le projet soit le Centre de géomatique du Québec (CGQ) ont permis d'améliorer localement le résultat. Toutefois, un levé topographique de plus grande précision (p.ex *LIDAR*) sur l'ensemble de la région permettrait d'obtenir un résultat beaucoup plus réaliste.

Un autre élément important à considérer est la présence de vallées topographiques masquées sous la couverture de dépôt. Ces vallées sont le reflet de la fracturation qui affecte le socle rocheux. La présence de ces vallées peut localement expliquer les variations abruptes d'épaisseur de dépôts. Une méthode qui pourrait prendre en compte la trace des linéaments interprétés sous la couverture de dépôts meubles permettrait de produire un rendu plus réaliste localement pour représenter l'épaisseur de dépôt.

Recommandation no 1.7a :

Augmenter le nombre de coupes stratigraphiques dans les secteurs jugés importants et problématiques. Une modélisation 3D intégrée pourrait aussi améliorer le rendu final.

Recommandation no 1.7b :

Acquérir des données topographiques de haute précision (*LIDAR*) sur l'ensemble du territoire du SLSJ.

Recommandation no 1.7c :

Développer une méthode de modélisation qui prendrait en compte la trace de vallées dans la topographie du roc enfouies sous les dépôts meubles.

7.1.8 Équipements pour le suivi de la ressource

La gestion durable de la ressource commence par un suivi sur le territoire du SLSJ grâce à plusieurs équipements parmi lesquels on devrait compter des stations météorologiques, des stations hydrométriques et des piézomètres de suivi du niveau de nappe. La localisation de ces instruments est présentée sur la **carte #27 – Stations météorologiques, stations hydrométriques et suivi de la nappe** (Annexe 1).

Parmi les 49 stations météorologiques recensées sur le territoire, seulement 6 sont présentement actives dont la mise en opération varie dans le temps. Parmi les 88 stations recensées sur l'ensemble du territoire du SLSJ pour le jaugeage de débit et de niveau de cours d'eau, 36 sont actives. De plus, 13 piézomètres sont installés sur le territoire du SLSJ dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques (PACC) 2006-2012 par le MDDEFP.

Recommandation no 1.8 :

Une analyse devrait être réalisée afin d'optimiser le nombre et l'usage des équipements nécessaires au suivi de cette ressource. Cela peut impliquer, l'installation d'équipements supplémentaires pour le suivi du niveau et de la qualité de l'eau souterraine sur des parties du territoire présentant des problématiques particulières.

7.1.9 Inventaire de l'utilisation de l'eau

Les résultats obtenus dans cette étude donnent un aperçu de l'utilisation de l'eau de consommation. Toutefois, les simplifications résultant des hypothèses émises ne permettent de tracer qu'un portrait approximatif et incomplet de l'utilisation de l'eau souterraine. Des lacunes sont notées en ce qui concerne la consommation industrielle et les données doivent être actualisées annuellement. Des travaux additionnels sont donc requis.

Recommandation no 1.9 :

Une mise à jour exhaustive des données est recommandée, ce qui permettrait d'élever le niveau de précision des cartes présentées et de vérifier les hypothèses utilisées dans cette étude. Cette mise à jour devrait comprendre :

- le recensement exhaustif des sources de prélèvement d'eau de surface et d'eau souterraine, qu'elles soient publiques ou privées;
- le dénombrement des utilisateurs desservis et non-desservis par les réseaux municipaux ;
- l'identification des usages (agricole, domestique, industriel) que chaque utilisateur fait de l'eau de consommation ;
- le suivi à l'aide de compteurs d'eau des quantités d'eau 1) captées à chaque point de prélèvement qu'il soit en surface ou souterrain, 2) perdues dans le réseau de distribution à cause de fuite. L'installation de compteurs d'eau individuels pourrait être une piste à analyser.

7.1.10 Activités anthropiques

La représentation cartographique des activités anthropiques dans le cadre du PACES-SLSJ présente un manque d'informations sur les zones d'exploitation des ressources naturelles autres que l'agriculture. Les tourbières en exploitation par exemple ne sont pas représentées parmi les activités anthropiques.

Recommandation no 1.10 :

Il est recommandé aux gestionnaires du territoire d'ajouter aux limites cartographiques des activités anthropiques, toutes les zones où les ressources naturelles sont exploitées ou en voie de l'être.

7.2 *Recommandations générales relatives aux bonnes pratiques pour les forages et pour la détermination de la vulnérabilité*

7.2.1 Une évolution nécessaire vers de meilleures pratiques de forages et un meilleur contrôle

Il n'existe actuellement aucun contrôle rigoureux sur les pratiques des compagnies de forage exerçant dans le domaine de l'exploitation des eaux souterraines. Des codes de bonnes pratiques de forage sont disponibles, mais la réglementation actuelle n'impose pas de mesures coercitives en cas de non-respect de ces pratiques. De surcroît, aucun système ou moyen de contrôle n'est en place pour le suivi de l'installation de puits individuels par un hydrogéologue.

Le projet PACES-SLSJ a en effet permis de mettre en évidence plusieurs faits et observations de terrain sur la pratique du forage dans la région. Soulignons qu'il est fort probable que de telles observations ont pu être faites dans les autres régions du Québec. Ces observations sont importantes car les problèmes observés peuvent avoir des conséquences graves pour le public et également sur la préservation de l'intégrité naturelle de la ressource eau. Parmi les observations pertinentes qui ont été faites, on retrouve des problèmes sur les rapports de forage et leur fiabilité, ainsi que sur certaines pratiques de forage, tel que résumé dans les deux sous-sections suivantes.

Les rapports de forage et la base de données du « Système d'informations hydrogéologiques » (SIH)

Un foreur qui installe un puits individuel pour un particulier a l'obligation selon le règlement sur le captage des eaux souterraines de produire un rapport de forage sur la stratigraphie/lithologie des formations traversées lors du forage, ainsi que de documenter la profondeur des transitions des couches de natures différentes observées. Il est à noter que les foreurs n'ont pratiquement jamais les connaissances et la formation appropriée pour être en mesure de faire une description hydrostratigraphique valable des observations faites en cours de forage. En effet, nous avons très souvent observé les problèmes suivants :

1. des erreurs et/ou des confusions dans la description de la nature des matériaux traversés;
2. des erreurs/imprécisions dans les mesures de la profondeur.

On observe parfois des redondances de valeurs de profondeur pour des puits indépendants ou encore des confusions d'unités entre le système métrique et le système impérial. Également, il est demandé aux foreurs de décrire dans leur rapport le « mini essai de pompage » qu'ils réalisent suite au forage. Cet essai consiste à pomper dans le puits à un certain débit et à observer si l'aquifère est capable de soutenir cette demande de débit sur un « certain » temps (test de débit spécifique). Il est alors demandé au foreur de relever la valeur de rabattement

observé associée au débit demandé, ainsi que le temps de pompage au bout duquel cette mesure est prise. Là encore, nous avons observé les problèmes suivants:

1. des imprécisions ou des erreurs sur les valeurs mesurées lorsque celles-ci ne sont pas carrément manquantes;
2. des durées de pompage beaucoup trop courtes pour que le rabattement se stabilise vraiment et qu'il soit possible d'attribuer raisonnablement une valeur de rabattement associée de façon permanente (atteinte du régime permanent) au débit demandé qui sera un débit maximal d'exploitation.

De telles mesures sont importantes car elles assurent au client (le public, le particulier) que le puits en place sera capable de soutenir, de façon durable et sur le long terme, le débit d'exploitation permettant de satisfaire les besoins du client pour sa consommation en eau. Le test de pompage est souvent trop court (10 à 30 minutes) parce que, par mesure de rentabilité économique, les foreurs ne souhaitent pas attendre un temps trop long car cela leur occasionne des pertes d'argent. Ainsi, il y a une mauvaise évaluation de la capacité de l'aquifère à soutenir le débit demandé. Le risque est que le client ne puisse pas obtenir le débit initialement escompté sur le long terme; mais également, le risque est d'épuiser la réserve en eau souterraine. Cette éventualité serait préjudiciable pour lui et éventuellement son voisinage, mais aussi pour la durabilité de la ressource, ce qui va à l'encontre des principes souvent évoqués aujourd'hui de développement durable.

Un autre aspect important de la qualité des données SIH concerne l'usage qui peut en être fait lors de l'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines, notamment des données piézométriques ainsi que des données sur la conductivité hydraulique des aquifères. Or, les données piézométriques (niveau statique avant pompage et niveau dynamique suite à l'essai de débit spécifique) ne sont pas toujours disponibles. Un tel manque est bien évidemment préjudiciable pour la mise à jour d'une base de données hydrogéologique telle que celle du PACES-SLSJ.

Soulignons enfin le problème du géoréférencement. Le projet PACES-SLSJ a en effet mis en évidence que la plupart des puits du SIH sont mal géoréférencés, non seulement les puits anciens (ce qui est plus facilement compréhensible), mais aussi les puits récents. Ceci a pu être révélé lors des campagnes d'échantillonnage des puits de particuliers mais aussi lors des campagnes de levés piézométriques. En effet, la position des puits échantillonnés a systématiquement été relevée avec un GPS lors des campagnes de levés effectuées, sans que les coordonnées ne correspondent à des positions de puits données dans la base de données SIH. Ainsi, nous avons pu soulever la question de savoir si les puits que nous avons échantillonnés avaient réellement été répertoriés ou encore, dans le cas contraire, si le levé géospatial avait bien été effectué de façon précise. Ainsi, il ressort finalement de ces observations qu'il est difficile à partir des coordonnées des puits disponibles dans la base de données SIH, de retrouver ces puits dans la plupart des cas (4 puits sur 5, soit environ 80%).

La mauvaise qualité des données SIH a eu comme conséquence que seulement le tiers des données disponibles dans le SIH au SLSJ a pu être exploité par le projet PACES pour en retirer des informations utiles, même si la fiabilité des données utilisées est faible compte tenu des remarques avancées précédemment. Or, les données SIH, si elles sont correctement prises (qualité) et également relevées de façon exhaustive (quantité) par un personnel compétent, sont très importantes afin d'avoir la connaissance d'un niveau piézométrique pris à une date

donnée, mais aussi pour permettre aux hydrogéologues professionnels de calculer la conductivité hydraulique des aquifères conformément à la méthodologie qui a été envisagée dans le cadre du projet PACES-SLSL (méthode itérative de calcul de la transmissivité basée sur l'équation de Cooper-Jacob).

Tous ces aspects illustrent la faible qualité des données SIH. Ces données mériteraient que l'on y porte une plus grande attention, car elles pourraient contribuer à une augmentation progressive et importante de nos connaissances sur les eaux souterraines. En effet, vu leur quantité et leur répartition, les données provenant des foreurs commerciaux présentent une bonne distribution spatiale, offrant ainsi une bonne couverture du territoire, contrairement aux données extraites de rapports de consultants pour des études de recherche en eau municipales, qui sont de meilleure qualité mais qui se concentrent sur de plus petites portions de territoire.

Les données SIH ont donc un rôle très important à jouer pour alimenter les bases de données hydrogéologiques régionales; encore faut-il que ces données soient fiables. Le projet PACES-SLSJ a illustré qu'à l'heure actuelle, les données SIH ne méritent pas le plus souvent cette confiance, ce qui est très dommage considérant qu'elles constituent pratiquement 50 années d'information. En conclusion, les données SIH sont primordiales pour les bases de données PACES car ce sont elles qui fournissent la majeure partie des informations, aujourd'hui et à l'avenir. Il conviendrait d'en assurer la qualité par un meilleur contrôle des pratiques commerciales de forages.

Pratiques de forage

Nous avons observé que la plupart des puits de pompage individuels au SLSJ sont installés dans le roc fracturé (environ 9 puits sur 10). Dans certains cas il peut être justifié d'installer un puits dans le roc pour un particulier, lorsqu'il n'y a pas d'aquifère granulaire en présence (absence de dépôts). En revanche, nous avons observé que dans bien des cas, lorsqu'un dépôt est présent et que son épaisseur, sa conductivité hydraulique et sa recharge peuvent être suffisantes pour alimenter un puits individuel, les foreurs traversent le dépôt granulaire en « ignorant » son potentiel d'exploitation pour aller forer directement dans le roc et ce, jusqu'à des profondeurs qui atteignent de façon assez systématique 100 m sous le toit du roc. Ainsi, les foreurs de la région SLSJ ont établi une sorte de « règle du pouce » en annonçant systématiquement à leurs clients qu'ils trouveront de l'eau à des profondeurs de 100 m dans le roc (vérifié après discussion avec des particuliers dans la région). Ces pratiques ne sont évidemment pas celles à adopter. Elles peuvent s'expliquer de différentes manières.

Tout d'abord, en ce qui concerne la non-installation de puits dans le dépôt, cette pratique pourrait s'expliquer par un manque de savoir-faire car l'installation correcte d'un puits dans les dépôts granulaires est techniquement plus difficile, délicate et exigeante que dans le roc, où aucune installation particulière n'est requise pour le puits. Il en découle également qu'une telle installation peut s'avérer moins rentable pour les compagnies de forage en termes de prise de risque et du temps à consacrer pour compléter une installation correcte. Bien évidemment, cette pratique est à dénoncer car il existe de bons aquifères dans les dépôts granulaires peu profonds qui pourraient être exploités en priorité.

Deuxièmement, les coûts de forage étant calculés au mètre, il peut être plus rentable pour l'entrepreneur de forer des puits le plus profondément possible dans le roc. Les foreurs ne

prennent en effet pas nécessairement la peine de tester la productivité du puits dans le roc à différents niveaux de profondeur. Or, il est bien documenté que la conductivité hydraulique du roc diminue avec la profondeur, et que par conséquent, il n'est pas nécessaire de forer de façon systématique 100 m dans le roc; les premiers 20 mètres, par exemple, peuvent être suffisants.

Les foreurs recommandent également à leurs clients d'effectuer ensuite du dynamitage au fond du trou de forage dans le roc. Là encore, cette pratique est exagérée car elle n'apporte que rarement des résultats satisfaisants. En effet, en profondeur, la plupart des fractures sont dites « sèches » et par conséquent non connectées à des sources d'eau moins profondes. Ces observations ont été vérifiées par les diagraphies de forage effectuées dans le cadre du PACES-SLSJ.

Un autre problème lorsque le puits est installé dans le roc est celui de l'ancrage du tubage dans le toit du roc. Rappelons que ce tubage sert à maintenir les matériaux granulaires sus-jacents encaissant le puits. En règle générale, le tubage devrait être ancré à une profondeur d'au moins un mètre sous le toit du roc de façon à assurer une étanchéité entre les deux aquifères (granulaire versus roc) et à minimiser la possibilité d'écoulements préférentiels entre les deux types d'aquifères via un ancrage défectueux. Ceci est d'autant plus justifié que c'est souvent la partie supérieure du roc qui est la plus altérée avec des propriétés mécaniques également altérées qui favorisent la détérioration de cette partie du roc lors de la pénétration de la tête de forage. Le risque de défaut d'ancrage associé à un court-circuit hydraulique entre aquifères est donc ainsi favorisé. Un tel court-circuit hydraulique peut ensuite engendrer des problèmes de contamination croisée entre aquifères conduisant à une perte de l'intégrité géochimique des aquifères. Dans le cadre du projet PACES-SLSJ, il a été démontré par plusieurs levés de diagraphie en forage que dans les 2/3 des puits installés dans le roc fracturé, la majorité de l'eau alimentant le puits provient du dépôt granulaire situé au-dessus. Dans ce cas, c'est finalement le dépôt qui alimente le puits dans le roc via le défaut d'ancrage. Par ailleurs, le risque de défaut d'ancrage est accru, car, comme nous l'avons mentionné précédemment, les foreurs installent systématiquement des puits dans le roc alors qu'un dépôt sus-jacent aurait pu satisfaire la demande d'exploitation.

Enfin, les puits profonds dans le roc sont exposés à une contamination naturelle de l'eau souterraine en sel. Bon nombre de puits dans le roc ont été abandonnés dans la région à cause du problème des eaux salées rendant les puits inexploitable. Nous avons observé par exemple un cas dans la municipalité de Petit-Saguenay qui est très représentatif de l'ensemble des problèmes soulignés précédemment sur les pratiques de forage. Ces particuliers nous ont fait part de leur désarroi après avoir dépensé 15 000 \$ de coût de forage pour un puits captant dans 100 m de roc, peu productif et qui a été dynamité. De plus, la petite quantité d'eau pouvant y être pompée est salée. Pour ces gens, un tel investissement est une perte totale qui aurait pu être évitée puisque nous avons vérifié qu'un bon dépôt au-dessus du roc aurait pu être exploité à moindre coût. Cet exemple, parmi d'autres que nous avons relevés, illustre bien les conséquences de l'absence de contrôle des pratiques commerciales de forage. Cette absence est très surprenante, car bien d'autres domaines professionnels qui touchent de près ou de loin à l'environnement sont soumis à des contrôles plus serrés. Dans le domaine du forage, les intervenants commerciaux et industriels sont soumis à très peu de contrôle, au détriment de la protection du public et de l'environnement (Chesnaux, 2012). Ce manque pourrait être une conséquence de la nature des eaux souterraines ; une ressource « cachée » qui ne se voit pas pour le public. Elle est pourtant mise en péril (par une surexploitation ou une pollution) et ne

bénéficie toujours pas de la part des gestionnaires de l'attention qui permettrait l'adoption d'une réglementation adéquate. Il conviendrait aussi d'éviter les abus de pratiques en grande partie liés à la méconnaissance des clients (les particuliers) en matière d'eau souterraine et de son exploitation.

Recommandation no 2.1

Nous recommandons de concevoir et d'appliquer rigoureusement un nouveau cadre réglementaire sur les activités commerciales de forages visant à assurer : 1) une collecte de données justes et adéquates lors de travaux de forage, 2) le contrôle rigoureux du travail par un personnel compétent.

Recommandation no 2.2

Pour les données du SIH, il faudrait recommander un pompage d'une durée minimale de 2 heures lors de l'essai de débit spécifique. Ceci permettrait de garantir avec plus de certitude la pérennité de l'exploitation de la ressource, et aussi de pouvoir effectuer un calcul plus juste de la transmissivité des aquifères.

Recommandation no 2.3

Nous recommandons également, en présence d'un dépôt granulaire suffisant, d'évaluer son potentiel de production d'eau. Si ce potentiel est suffisant pour satisfaire la demande et qu'il répond aux normes réglementaires en vigueur, nous recommandons d'imposer son exploitation plutôt que de continuer à forer jusque dans le roc.

Recommandation no 2.4

Pour les puits installés dans le roc, nous recommandons un ancrage dans le roc d'au minimum 1 m de façon à prévenir les défauts d'ancrage et minimiser les risques d'éventuels courts-circuits hydrauliques ou contaminations croisées.

Recommandation no 2.5

Dans tous les cas, dans le domaine du forage, il est recommandé d'instaurer un suivi et un contrôle de façon à garantir une protection non seulement du public, mais aussi de la ressource eau. Cette mesure inclut le contrôle des points de captage construits par un particulier d'après une méthode *artisanale* non conventionnée, ces derniers n'étant jamais déclarés au gouvernement.

7.2.2 Recommandation pour la définition de la vulnérabilité des aquifères

Il est aujourd'hui reconnu par la communauté des hydrogéologues que pour l'estimation de la vulnérabilité des aquifères, la méthode DRASTIC présente certaines lacunes, parfois importantes. Ce problème est extrêmement critique, car les produits cartographiques sur la vulnérabilité de la ressource sont parmi ceux qui vont s'avérer les plus utiles aux gestionnaires de l'eau. La question à se poser est : peut-on considérer qu'une carte régionale de vulnérabilité

basée sur les calculs de la méthode DRASTIC, tel que présentée dans ce rapport, peut devenir un outil décisionnel quant à la gestion et l'aménagement local du territoire? La réponse est non, car la méthode DRASTIC est appliquée dans ce rapport à l'échelle de tout le territoire régional et les résultats ne peuvent pas être utilisés à une échelle locale comme celle de l'aire d'alimentation d'un puits.

D'autres arguments portant sur le calcul technique requis par la méthode DRASTIC pourraient être débattus; ils le sont déjà depuis plusieurs années par la communauté des experts hydrogéologues au Québec et ailleurs. Ces points pourraient être discutés spécifiquement au sein du GRIES afin d'émettre des recommandations concertées au MDDEFP.

Recommandation no 2.6

Mandater le GRIES ou le RQES afin de se pencher sur la problématique des méthodes permettant de déterminer la vulnérabilité et en concertation avec les experts du MDDEFP, proposer de nouvelles approches mais aussi permettre une plus grande latitude quant au choix de la méthode d'évaluation à l'échelle de l'aire d'alimentation des points de captage.

7.3 *Recommandations pour une meilleure gestion régionale de la ressource en eau souterraine*

7.3.1 Structure de gestion régionale de la ressource en eau souterraine

La gestion de la ressource en eau souterraine revient présentement aux municipalités et donc indirectement aux MRC. Les organismes de bassin versant (OBV) ont des mandats de concertation et de sensibilisation, mais non pas de gestion de la ressource. De plus, les territoires des OBV (les bassins versants) et ceux des MRC se chevauchent : ainsi le territoire d'une MRC s'étend généralement sur plus d'un bassin versant et vice versa. Deux OBV ont été mis sur pied en 2009 dans la région du SLSJ, soit l'OBV Lac-Saint-Jean et l'OBV Saguenay. Ces OBV ne disposent pas de ressources permettant de développer les connaissances sur les eaux souterraines. Le SLSJ devrait donc se munir de ressources (humaines et matérielles) pour supporter les MRC (et possiblement les 2 OBV) dans la gestion des données et l'orientation d'interventions portant sur les eaux souterraines. Il apparaît que cette formulation est un pré-requis à une bonne gouvernance de cette ressource.

Le projet PACES-SLSJ a permis d'établir les bases d'une structure de partenariat pour le suivi des travaux. Le comité des partenaires représente donc un élément important de concertation régionale et d'une gestion dynamique de l'eau souterraine de la région. Tout au cours du processus, plus d'une trentaine de rencontres avec les partenaires régionaux ont permis de faire le suivi sur l'évolution et le fonctionnement du projet PACES.

Bien que le mandat du PACES soit d'évaluer la qualité et la quantité de la ressource eau souterraine, le comité régional a permis de développer une vision plus large qui aborde plusieurs problématiques importantes comme le transfert entre fournisseurs de données et utilisateurs, ainsi que la gouvernance de l'eau souterraine.

Mais de manière plus concrète, la concertation régionale créée autour de l'eau souterraine a été alimentée par le financement d'un projet majeur qui a impliqué le MDDEFP en premier lieu, mais aussi tous les partenaires du milieu régional. Ce lien devrait être idéalement maintenu au-delà du projet pour les raisons suivantes:

- 1) les résultats, les cartes et les données générées devraient être implantés et transférés aux utilisateurs régionaux. Ceci nécessitera des suivis, de la formation et possiblement des adaptations des produits pour répondre aux besoins spécifiques;
- 2) de nouvelles données générées par les travaux des municipalités vont continuer à s'accumuler et devront être intégrées à la base de données existante;
- 3) les différentes problématiques identifiées au cours du projet ainsi que de nouveaux problèmes qui pourront s'y ajouter nécessiteront des analyses et des actions qui impliqueront une certaine expertise;
- 4) le projet en cours a permis de créer un pôle d'expertise régionale comprenant du personnel et de l'appareillage spécialisés pouvant répondre aux besoins du milieu régional (sans se substituer toutefois au rôle des consultants).

7.3.2 Capacités de développement et de gestion des données sur les eaux souterraines au SLSJ

La plupart des points mentionnés dans ce chapitre requièrent le développement et le maintien au SLSJ d'une expertise en hydrogéologie au service des organismes régionaux, notamment les MRC et les municipalités.

Recommandation no 3.1

Maintenir la concertation régionale autour du pôle eau souterraine.

Recommandation no 3.2

Mettre en place une expertise régionale publique ou parapublique au service des organismes de la région SLSJ et qui permettrait de viser les objectifs suivants :

- assurer le suivi et le transfert des résultats du PACES-SLSJ vers les utilisateurs de la région;
- répondre aux besoins régionaux;
- maintenir un pôle d'expertise régional;
- développer une mécanique pour une gouvernance de l'eau souterraine à plus long terme.

Recommandation no 3.3

Mener différentes activités pour le suivi et le transfert vers les utilisateurs de la région des résultats du PACES-SLSJ parmi lesquelles :

- mise à jour de la base de données (ajout d'autres sources de données, e.g. RTA, Hydro Québec);
- suivi des résultats du PACES-SLSJ auprès des intervenants régionaux;
- identification de problèmes locaux ou régionaux liés aux eaux souterraines;
- assistance technique auprès des partenaires régionaux (pôle d'expertise, assistance pour les devis et pour les suivis des travaux de consultation des municipalités);

- courroie de transmission entre les besoins régionaux et des projets de recherche sur mesure;
- acquisition de données supplémentaires (p.ex. qualité de l'eau, géophysique);
- organisation et animation du comité des partenaires régionaux.

RÉFÉRENCES

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R. et Hackett, G., 1987. DRASTIC : A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting. National Water Well Association, Dublin Ohio / EPA Ada, Oklahoma, USA. EPA-600/2-87-035.

Ancil, F., Roussel, J., Lauzon, N. 2005. Hydrologie : Cheminement de l'eau. Presses Internationales Polytechniques, 317 p.

Arjang, B. 1991. Pre-Mining stresses at some hard rock mines in the Canadian Shield. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Bulletin, 84 (945) : 80-86.

Assameur, D.M. et Mareschal, J.C. 1995. Stress induced by topography and crustal density heterogeneities : implication for the seismicity of southeastern Canada. Tectonophysics, 241 : 179-192.

Avramtchev L.; 1993. Carte minérale de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, 1 carte. PRO9307.

Banton, O. et Bangoy, L.M., 1999. Hydrogéologie : multiscience environnementale des eaux souterraines. Presses de l'Université du Québec, 460 p.

Baudement, C. 2011. Estimation de la conductivité hydraulique des aquifères à plusieurs échelles : exemples d'aquifères granulaires de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Québec. Université du Québec à Chicoutimi, Projet de fin d'études, 48 p.

Baudement, C. 2012. Caractérisation de la recharge des aquifères par une méthode analytique et une méthode de bilan hydrique : application à la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean, Québec, Canada. Université d'Avignon, Rapport de stage dans le cadre d'un Master « Hydrogéologie, Sol et Environnement ». 21 p.

Beaulieu, M.-F. 2012. Reconstitution des contextes hydrogéologiques à partir d'essais au piézocône – Exemple du site de Vauvert au Lac Saint-Jean. Projet de fins d'étude, Université du Québec à Chicoutimi, 30 p.

Bouchard R., Dion D.J., Tavenas F.; 1983. Origine de la préconsolidation des argiles du Saguenay, Québec. Can. Geotech. J., vol. 20, pp. 315-328.

Bouchard, M.F., Sauvé, S., Barbeau, B., Legrand, M., Brodeur, M.E., Bouffard, T., Limoges, E., Bellinger, D.C., Mergler, D., 2011. Intellectual impairment in school age children exposed to manganese from drinking water. Environmental Health Perspectives, 119(1) : 138-143.

Bradbury, K.R. et Muldoon, M.A. 1994. Effects of fracture density and anisotropy on delineation of wellhead-protection areas in fractured-rock aquifers. Applied Hydrogeology, 2/3 : 17-23.

Chabot, M., 2013. Variabilité hydrogéochimique de l'eau souterraine entre deux campagnes d'échantillonnage. Projet de fins d'étude, Université du Québec à Chicoutimi, 32 p.

Chagnon, J.Y., 1968. Les coulees d'argile dans la province de Québec. *Naturaliste canadien*, 95: 1 327 -1 343.

Chauvin, L., Martineau, G. et LaSalle, P. 1985. Deglaciation of the lower St.Lawrence Region, Québec, Canada. In : Borns, H.W.Jr, LaSalle P., et Thompson W.B., Geological Society America, Special Paper 197 : 111-124.

Chesnaux, R. 2012. Uncontrolled Drilling: Exposing a Global Threat to Groundwater Sustainability, *Journal of Water Resource and Protection*, 4(9): 746-749.

Chesnaux, R. 2013. Regional recharge assessment in the crystalline bedrock aquifer of the Kenogami Uplands, Canada, *Hydrological Sciences Journal*, 58(2): 421-436.

Comité fédéral provincial territorial sur l'eau potable, 2012. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : tableau sommaire. Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé de l'environnement, 24 p.

Corrigan, D. and Hanmer, S., 1997. Anorthosites and related granitoids in the Grenville orogen : A product of convective thinning of the lithosphere ? *Geology*, vol 25, 61-64.

Daigneault, R.A., Cousineau, P.A., Leduc, E., Beaudoin, G., Milette, S., Horth, N., Roy, D.W., Lamothe, M. et Allard, G., 2011. Cartographie des formations superficielles réalisée dans le territoire municipalité du Saguenay – Lac-Saint-Jean (Québec) entre 2009 et 2011. Rapport final, ministère des Ressources naturelles, GM 65970, 44 p.

Desbiens, S., et Lespérance, P.J. 1989. Stratigraphy of the Ordovician of the Lac St-Jean and Chicoutimi outliers, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, volume 26 (6), 1 185-1 202 p.

Dessureault, R. 1975. Hydrogéologie du Lac Saint-Jean, partie nord-est; Rapport H.G. – 7, ministère des Richesses naturelles, 90 p.

Devlin, B., 1997. *Data Warehouse: from Architecture to Implementation*. 432p.

Dieumegarde, L. et Vallée, J. 1999. Les anciens glissements de terrain au Saguenay. Université du Québec à Chicoutimi, Ressource électronique (1 CD), Monographie, 1999.

Dion, D.J. 1981. Carte d'aptitude, région de Jonquière, Chicoutimi et La Baie, Levé géotechnique. Ministère des Richesses naturelles du Québec. Rapport géologique 191, 61 p.

Dion, D.J. 1986. Levé géotechnique de la région de Jonquière - Chicoutimi – La Baie. Rapport MB 86 - 51, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Gouvernement du Québec, 9 cartes et 227 p.

Dionne, J.C. 1998. Relative sea-level variations during the holocene, middle Saint-Lawrence Estuary. Livret-guide B1 Geological Association Canada, 49 p.

Dionne, J.C. et Laverdière, C. 1969. Sites fossilifères du Golfe de Laflamme. *Le Quaternaire du Québec*. *Revue de Géographie de Montréal* 23 (3) : 259-270.

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, France, 22 p.

Durov, S.A. 1948. Klassifikatsia prirodnykh vos i graficheskoe izobrazhenie ikh sostava. Doklady Akademii Nauk SSSR, V. 59 no 1, pp. 87-90.

Elliott, A.P. 2010. Interpreting pumping tests conducted in the Saguenay-Lac-St-Jean Region, Quebec, Canada. Projet de fins d’étude, Université du Québec à Chicoutimi

Fellenius, B. H. et Eslami, A., 2000. Soil profile interpreted from CPTu data. “Year 2000 Geotechnics” Geotechnical Engineering Conference, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, November 27 - 30, 2000, 18 p.

Fillastre, U. 2010. Utilisation d’ArcGIS pour la représentation multidimensionnelle des structures hydrogéologiques. Rapport de projet pluridisciplinaire, École nationale des sciences géographiques, France. 42 p.

Fitterman, D.V. and Labson, V.F., 2005. Electromagnetic Induction Methods for Environmental Problems, dans Near-surface geophysics D.K. Butler, éditeur, Society of Exploration Geophysicists, chapitre 10, 301-355.

Frape, S.K. et Fritz, P. 1987. Geochemical trends for groundwaters from the Canadian Shield Geological Association of Canada Special paper 33, pp. 19-38.

Gadd, N.R. 1988. The basin, the ice, the Champlain Sea. In : Gadd, N.R., editor, The late Quaternary development of the Champlain Sea basin, Geological association Canada, Special Paper 35 : 15-24.

Gascoyne et Kamineni, 1994. The hydrogeochemistry of fractured plutonic rocks in the Canadian Shield. Applied Hydrogeology v. 2/94, pp. 43 – 49.

Gautier, J. 2012. Utilisation d’ArcGIS pour la production de livrables cartographiques dans le cadre d’un projet d’acquisition de connaissances sur les eaux souterraines. Rapport de stage de fin d’études, Master Carthagéo, École nationale des sciences géographiques, France. 79 p.

Haitjema, H.M. et Mitchell-Bruker, S. 2005. Are Water Tables a Subdued Replica of the Topography? Ground Water, 43(6), 781-786.

Hasegawa, H.S. 1991. Four seismogenic environments in eastern Canada. Tectonophysics, 186: 3-17.

Hébert, C., 2004. Histoire tectomagmatique d’une partie de la région du Saguenay, Québec, avec la collaboration de Daigneault R., Excursion des amis du Grenville, 34 pages.

Hébert, C. et Lacoste, P., 1998. Géologie de la région de Jonquière-Chicoutimi. Ministère des Ressources Naturelles du Québec, RG 96-08.

Hébert, C. et van Breemen, O., 2004. Mesoproterozoic basement, the Lac-St-Jean Anorthosite Suite and younger Grenvillian intrusions in the Saguenay region (Québec): structural relationships and U-Pb geochronology, in Proterozoic Tectonic Evolution of the Grenville Orogen in North America, éditeurs Tollo, R.P., Corriveau, L., McLellanf, J., and Bartholomew, M.J., Geological Society of America, Memoir, 65-79.

Higgins, M.D., et van Breemen, O., 1996. Three generations of AMCG magmatism, contact metamorphism and tectonism in the Saguenay-Lac-Saint-Jean region, Grenville Province, Canada, Precambrian Research, vol. 79, 327-346.

Higgins, M. D.; Ider, M.; Breemen, O. V. (2002). U-Pb ages of plutonism, wollastonite formation, and deformation in the central part of the Lac-Saint-Jean anorthosite suite. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39: 1093-1105.

Hudon-Gagnon, E., Chesnaux, R., Cousineau, P.A., Rouleau, A. 2012. Simplifications hydrostratigraphiques pour la réalisation de modélisations et simulations numériques d'écoulement : exemple de l'aquifère granulaire Mistouk, région SLSJ. 80^{ème} conf. ACFAS, Montréal, 7-8 mai 2012.

Inmon, W. H., 1996. Building the Data Warehouse, 2nd Edition Kimball, John Wiley & Sons Inc. 401 p.

Kimball, R., 1997. Relocating the ODS: Moving the Operational Data Store Will Solve a Number of Problems (Column: Data Warehouse Architect), DMBS Magazine, 10(13): 12 p.

Kumarapeli, P.S., 1985. Vestiges of Iapetan rifting in the craton west of the northern Appalachians. Geoscience Canada, vol. 12, pp 54-57.

Lambert, M., 2006. Développement d'une approche pour l'analyse solap en temps réel : adaptation aux besoins des activités sportives en plein air. Mémoire, Université Laval, Québec. 139 p.

Lasalle, P. & Tremblay, G. (1978). Dépôts meubles Saguenay – Lac Saint-Jean. Ministère des Ressources Naturelles, *Rapport géologique*, **191**. 61p.

Larochelle, P. 1973. Rapport synthèse des études de la coulée d'argile de Saint-Jean-Vianney. Ministère des Richesses naturelles du Québec, rapport S-151, 75 p.

Laurin, A.F., et Sharma, K.N.M., 1975. Région des rivières Mistassini, Péribonka, Saguenay (Grenville 1965-1967). Ministère des Richesses naturelles, Québec; RG-161, 89 pages.

Martignole, J., Gower, C., and Davidson, T., 1989. New tectonic divisions of the Grenville province, southeast Canadian shield. Tectonic, Vol. 8, 63-84.

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, Québec, 28-31 août 2011.

MENVQ ; 1999. Portrait régional de l'eau, Saguenay-Lac-Saint-Jean (Région administrative 02), Ministère de l'Environnement du Québec, Gouvernement du Québec.
[http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/regions/region02/02-saglac\(suite\).htm](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/regions/region02/02-saglac(suite).htm) , consulté le 15 mars 2013.

Mortimer, L., Aydin, A., Simmons, C.T. Love, A.J. 2011. Is in situ stress important to groundwater flow in shallow fractured rock aquifers? *Journal of Hydrogeology*, 399 (3): 185-200.

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. Mémoire, INRS – Géoressources. 127 p.

Neal, A. 2004. Ground-Penetrating Radar and its Use in Sedimentology; Principles, Problems and Progress, *Earth Sciences Reviews*, No 66, 261-330.

Palacky, G.J., 1987. Resistivity characteristics of geologic targets, dans M. N. Nabighian, Édité., *Electromagnetic methods in applied geophysics*, Vol. 1, SEG Investigations in Geophysics Series No. 3.

Paradis, S.J., Parent, M., Perret, D., Gégina, C., 1998. Géologie des formations superficielles, Saint-Fulgence et La Baie, Québec. Commission géologique du Canada, Document public 3710, Carte avec notes marginales, 2 feuillets.

Parent, M., Paradis, S.J. et Boivin, R., 2009. Formations superficielles : Légende et notes descriptives – 1 : 50 000 à 1 :125 000. CGC-Québec, 8 p.

Pelton, J.R., 2005. Near-Surface Seismology : Surface-Based Methods, dans *Near-surface geophysics* D.K. Butler, éditeur, Society of Exploration Geophysicists, chapitre 8, 219-263.

Pino D.S., 2012. Structural Hydrogeology in the Kenogami Uplands, Quebec. Mémoire, Université du Québec à Chicoutimi, Québec. 118 p.

Pino, D. S.; Rouleau, A.; Roy, D.; Daigneault, R.; Fernandes, A. J. (2012). Joint system and tectonic analysis of a crystalline bedrock aquifer: case study of the Kenogami uplands, Quebec, Canada. *In: International Conference on Groundwater in Fractured Rocks*. Prague, Czech Republic. *Volume of Abstracts*: 30-31.

Poirier et al., 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 (DEH), Division hydrologie et hydraulique. 8p + données numériques.

Raden, N., 2003. Real time: get real: start by discarding your current concepts of ETL. *Data Warehouse Designer*. *Intelligent Enterprise*, 6(11), p.16.

Richard, S., Chesnaux, R. et Rouleau, A. 2011. Estimating the hydraulic properties of aquifers from specific capacity data : Saguenay-Lac-Saint-Jean. *Proceedings of GeoHydro 2011, Joint*

Meeting of the Canadian Quaternary Association and the Canadian Chapter of the International Association of Hydrogeologists, August 28-31, 2011, Quebec City, Canada, pp.8.

Rivers, T., 1997. Lithotectonic elements of the Grenville Province : review and tectonic implications. *Precambrian Research*, vol. 86 : 117-154.

Rivers, T., Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D. et Greig, J., 1986. "Use of piezometer cone data". *Proceedings of the ASCE Speciality Conference In Situ '86: Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering*, Blacksburg, 1263-1280, American Society of Engineers (ASCE).

Rondot, J., 1983. Carte géologique du Bas-Saguenay. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction générale de la recherche géologique et minérale, DP 83-16, a carte en 2 feuillets.

Roy D.W.; 1996. Voyage géologique au Saguenay-Lac-Saint-Jean. *Saguenayensia*, vol. 38, no2, pp. 27-38.

Roy, D.W. 2009. Notes sur la géologie des dépôts meubles au Saguenay Lac-Saint-Jean. Document personnel. 16 p.

Roy D.W., Beaudoin G., Leduc L., Rouleau A., Walter J., Chesnaux R. et Cousineau P. 2011. Isostasie postglaciaire différentielle au lac-Saint-Jean (Québec) et implications sur la qualité de l'eau souterraine. *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*, Québec, 28-31 août 2011.

Roy, D. W.; Shmitt, L.; Woussen, G.; DuBerger, R. (1993). Airborne SAR images and the tectonic setting of the 1988 Saguenay earthquake, Québec, Canada. *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **59**: 1299-1305.

Simard, G. et DesRosiers, R. 1979. Qualité des eaux souterraines du Québec. Service des eaux souterraines, ministère de l'Environnement du Québec, rapport H.G.-13, 161 p.

Thomas, W. A. & Astini, R. A. (1996). The Argentine precordillera: a traveler from the Ouachita embayment of North American Laurentia. *Science*, **273**: 752-757.

Tòth, J., 1999. Groundwater as a geologic agent : An overview of the causes, processes, and manifestations, *Hydrogeology Journal*, 7, pp. 1-14.

Tremblay, M-L, 2007. Intégration de l'information géologique lors de l'estimation de l'aire d'alimentation de captage d'eau souterraine. Mémoire, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, 124 p.

Tremblay, P., 2005. Étude hydrogéologique de l'aquifère de Saint-Honoré avec emphase sur son bilan hydrique. Mémoire, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, 188 p.

Tremblay, G., 1971 (a et b). Glaciation et déglaciation dans la région Saguenay - Lac-Saint-Jean, Québec, Canada. *Cahiers de géographie du Québec*, volume 15, numéro 36, p. 467-494.

Trudel, C. & Malo, M. (1993). Analyses des contraintes par méthodes graphiques dans une zone de coulissage : exemple de la région de Matapédia, Appalaches du Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **30** : 591-602.

US-SCS, 1972. Hydrology; Section 4 du National Engineering Handbook, U.S. Soil Conservation Service, Washington DC.

Vallée, J. et Dieumegarde, L. 1997. Anciens glissements de terrain, Ville de La Baie. Université du Québec à Chicoutimi (document cartographique, échelle 1: 20 000), 1 feuillet.

Vallée, J. et Dieumegarde, L. 1998. Anciens glissements de terrain, secteur de Chicoutimi. Université du Québec à Chicoutimi (document cartographique, échelle 1: 20 000), 1 feuillet.

Verreault, M. (2000). *Orientation du graben du Saguenay par rapport aux pôles de rotation d'Euler successifs de l'Amérique du Nord au cours du Phanérozoïque*. Université du Québec à Chicoutimi, Projet de fin d'études. 44p.

Verreault, M. 2003. Étude méthodologique pour l'estimation de l'aire d'alimentation de captage d'eau souterraine en milieu complexe. Mémoire, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, 131 p.

Vigneault, C. 2012. Interpreting short-duration pumping tests conducted in the Saguenay-Lac-St-Jean Region, Quebec, Canada. Projet de fins d'étude, Université du Québec à Chicoutimi.

Walter, J. 2010. Les eaux souterraines à salinité élevée autour du lac Saint-Jean, Québec : origines et incidences. Mémoire, Université du Québec à Chicoutimi, Québec, 111 p.

Walter J., Rouleau A., Roy D.W., Daigneault R., 2011. Hydrogéochimie des eaux souterraines de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean : résultats préliminaires. 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, Québec, 28-31 août 2011.

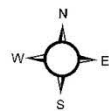
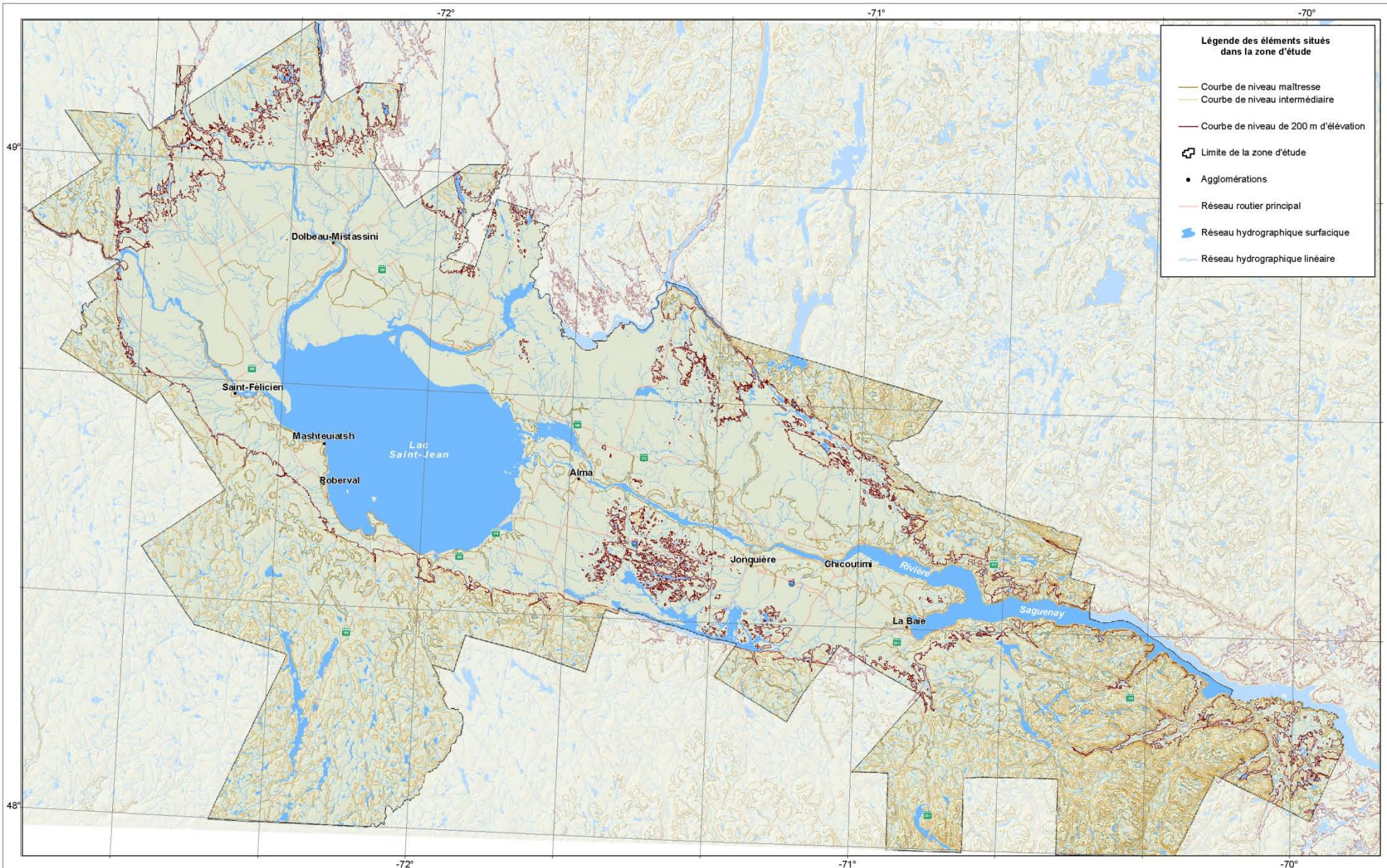
Woussen, G., Roy, D.W., Dimroth, E. et Chown, E.H., 1986. Mid-Proterozoic extensional tectonics in the core zone of the Grenville province. In J.M. Moore, A. Davinson and A.J. Baer, *editors*, The Grenville province, Geological association Canada, Special Paper 31 : 297-311.

Zoback, M.K. 1992. Stress Field constraints on intraplate seismicity in eastern North America. *Journal of Geophysical Research*, 97(B8): 11,761-11,782.

Zonge K., Wynn J., and Urquhart S., 2005. Resistivity, induced polarization, and complex resistivity, dans *Near-surface geophysics* D.K. Butler, éditeur, Society of Exploration Geophysicists, chapitre 9, 265-300.

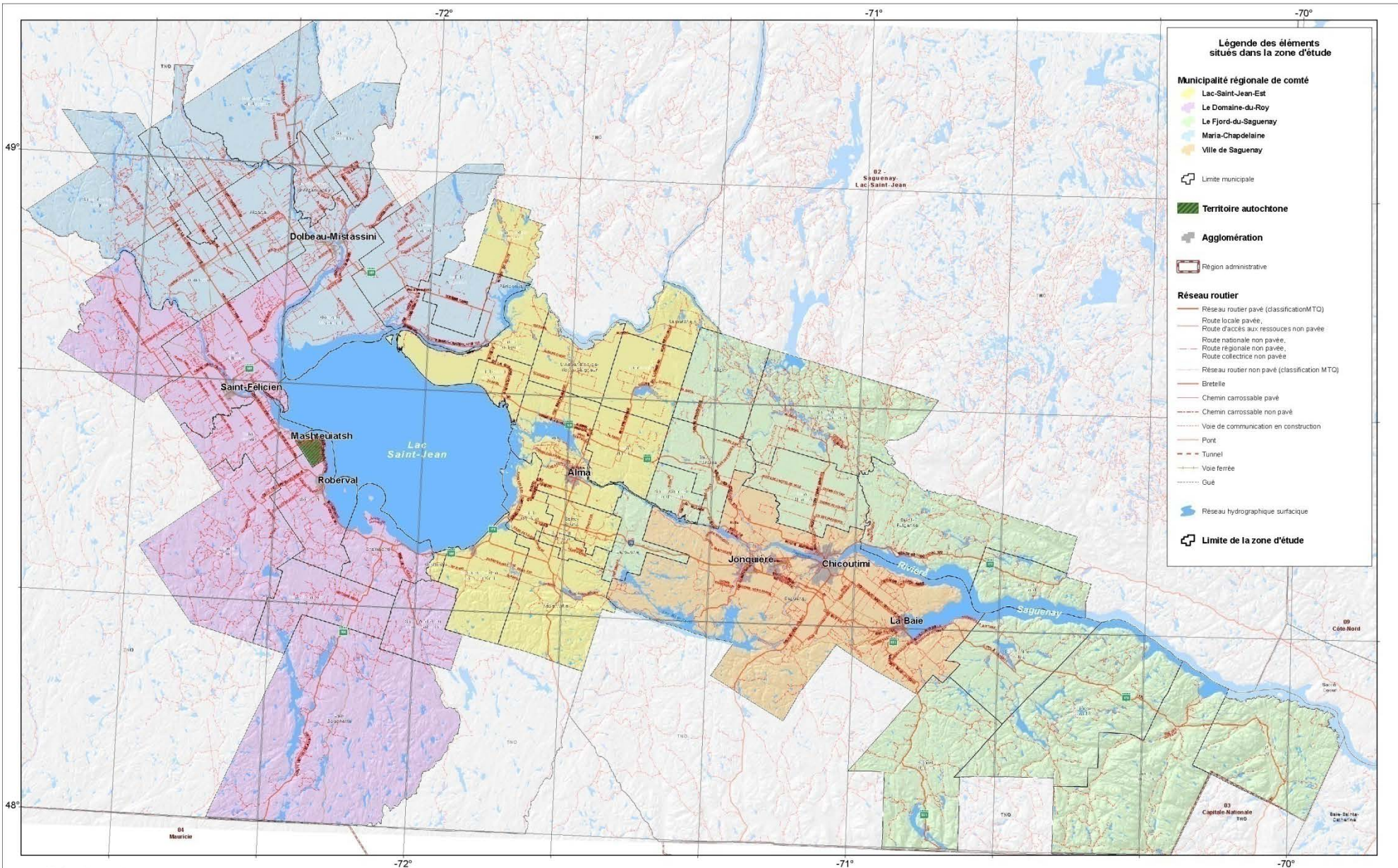
ANNEXES

Annexe 1 : Livrables cartographiques en format 8,5 X 11 po



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



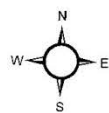


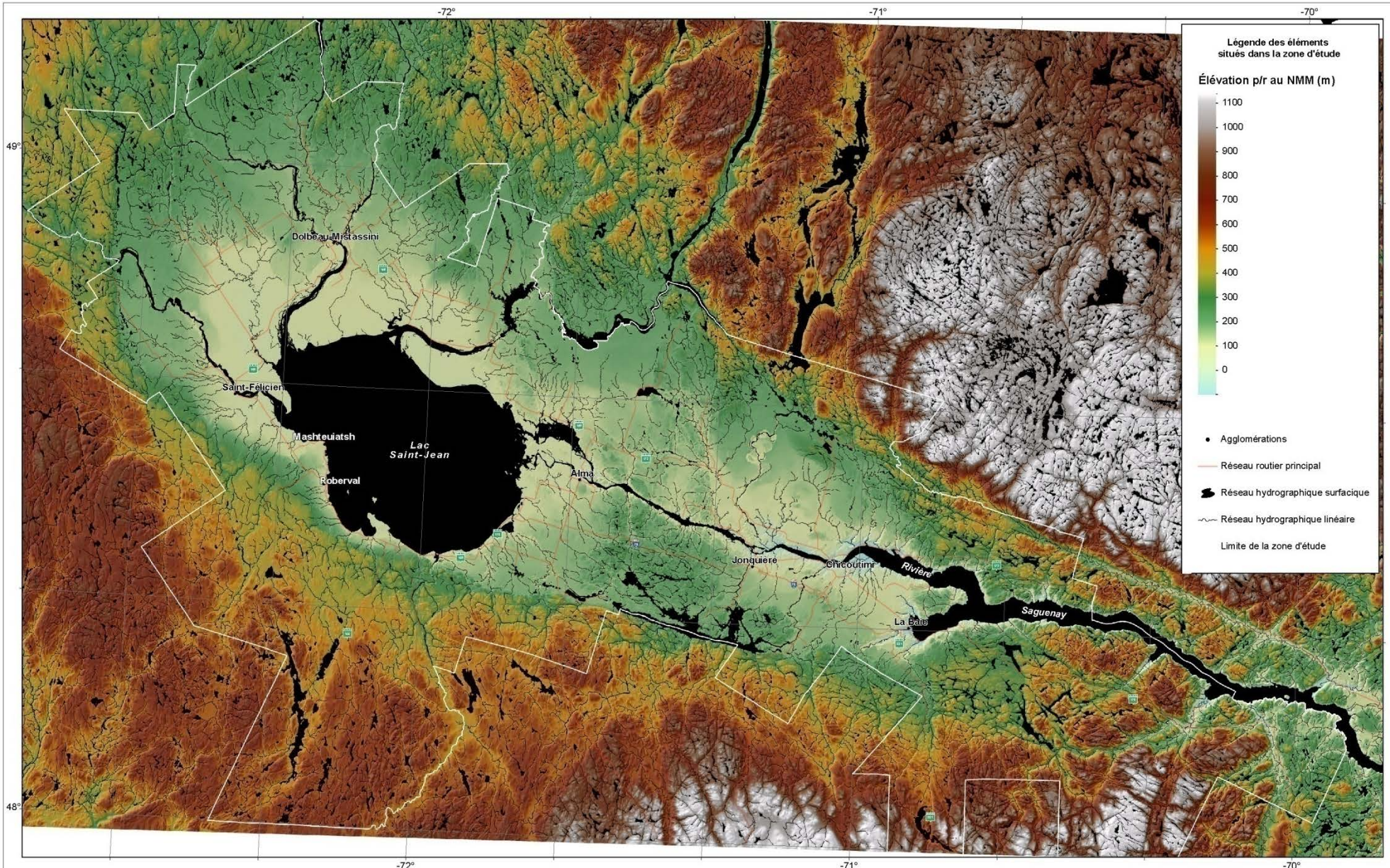
**Routes, limites municipales et toponymie
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

Carte #2

0 10 20 km

Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



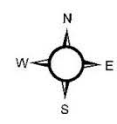


Légende des éléments situés dans la zone d'étude

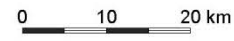
Élévation p/r au NMM (m)

1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite de la zone d'étude



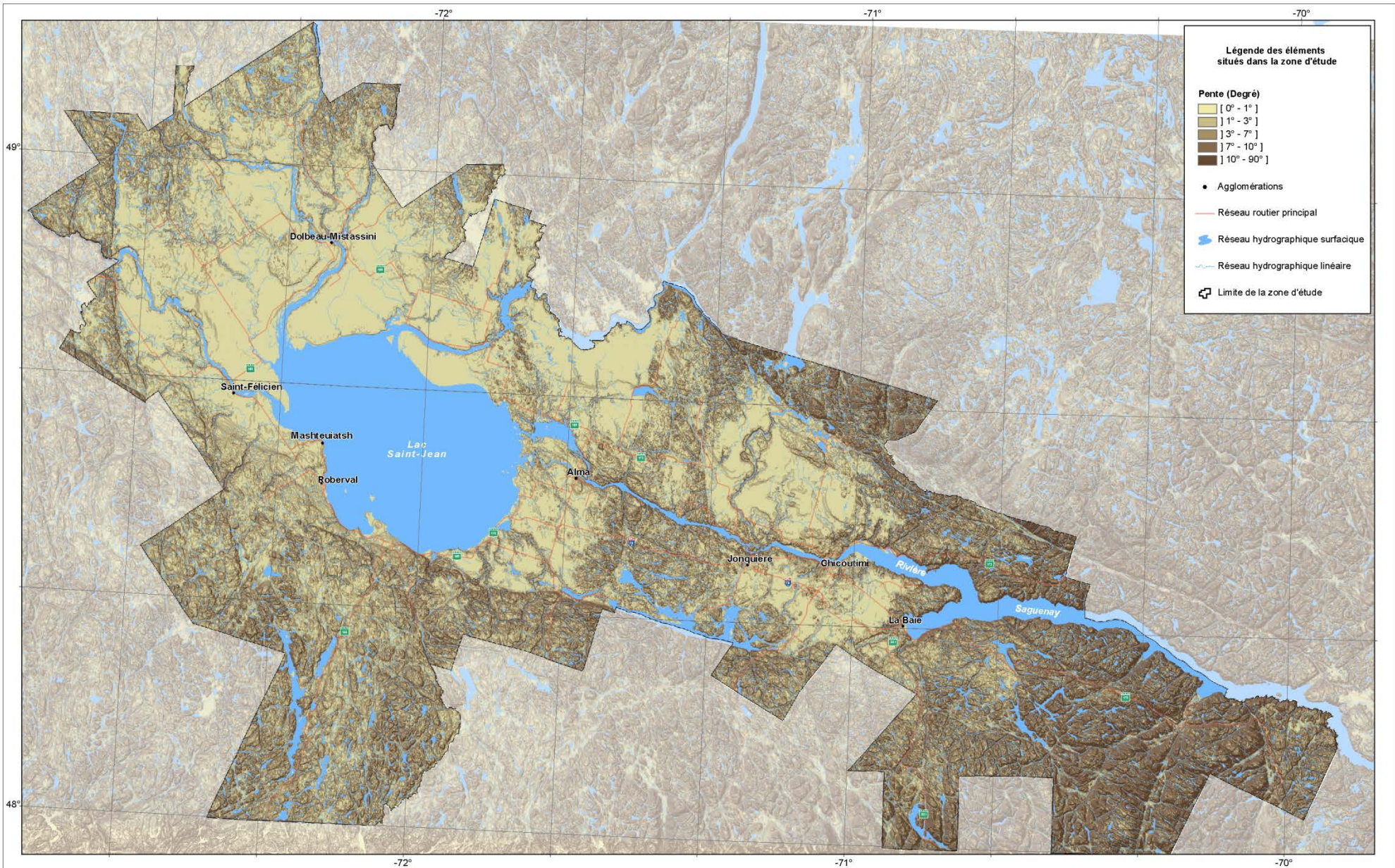
**Modèle numérique d'altitude
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Carte #3



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

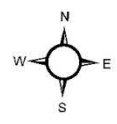


Légende des éléments situés dans la zone d'étude

Pente (Degré)

- [0° - 1°]
- [1° - 3°]
- [3° - 7°]
- [7° - 10°]
- [10° - 90°]

- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- ▭ Limite de la zone d'étude



**Carte des pentes
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



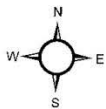
Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

Carte #4





- Légende des éléments situés dans la zone d'étude**
- Réseau hydrographique surfacique (annotation)**
- Cours d'eau
 - Lac
 - Réservoir hydroélectrique
 - Mare
- Réseau hydrographique linéaire**
- Barrage
 - Barrage hydroélectrique
 - Buse
 - Canal
 - Chute
 - Cours d'eau
 - Rapide
- Agglomérations
 - Réseau routier principal
 - Limite de la zone d'étude



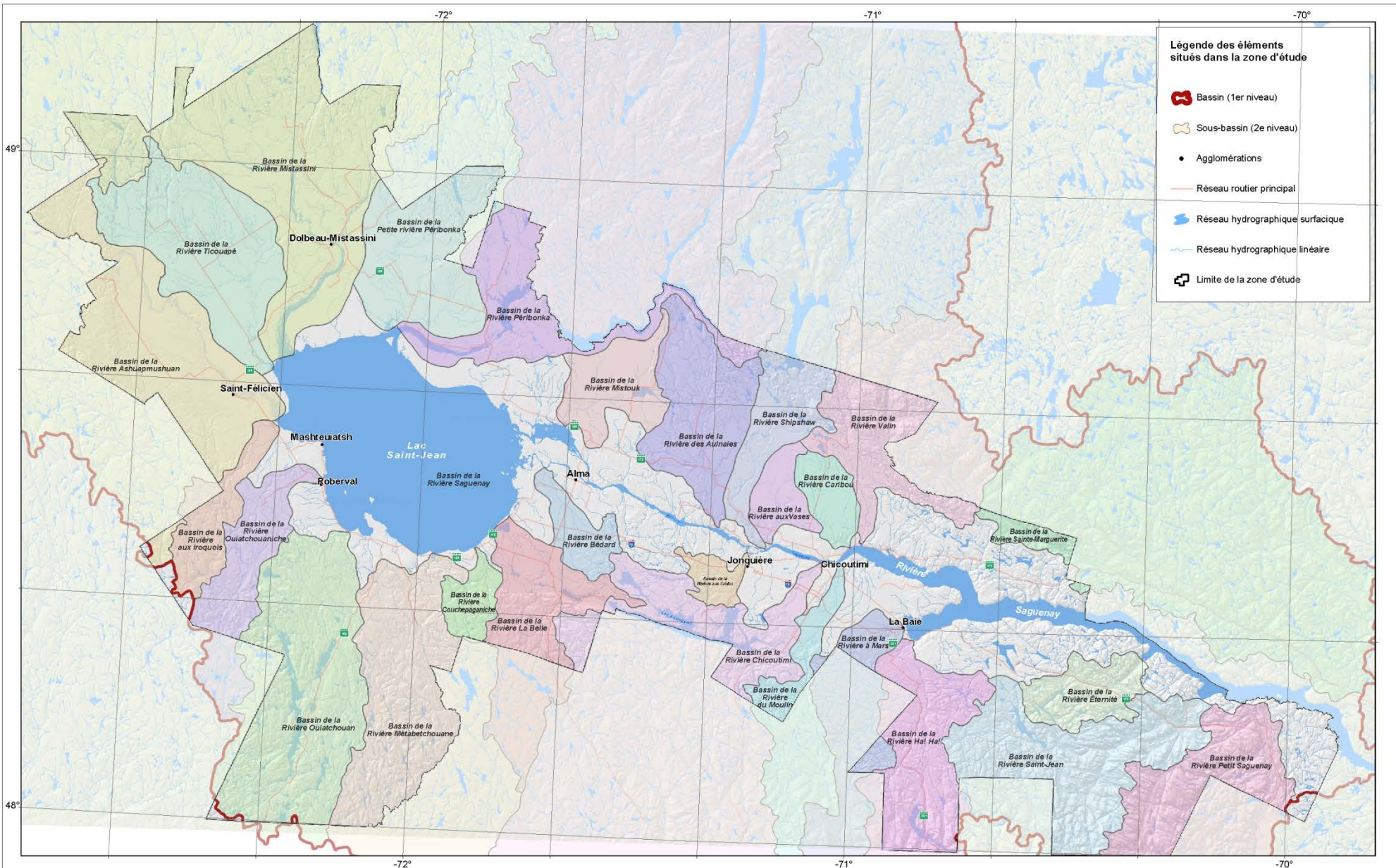
**Réseau hydrographique
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #5

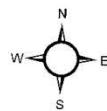


Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



Légende des éléments situés dans la zone d'étude

- Bassin (1er niveau)
- Sous-bassin (2e niveau)
- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite de la zone d'étude



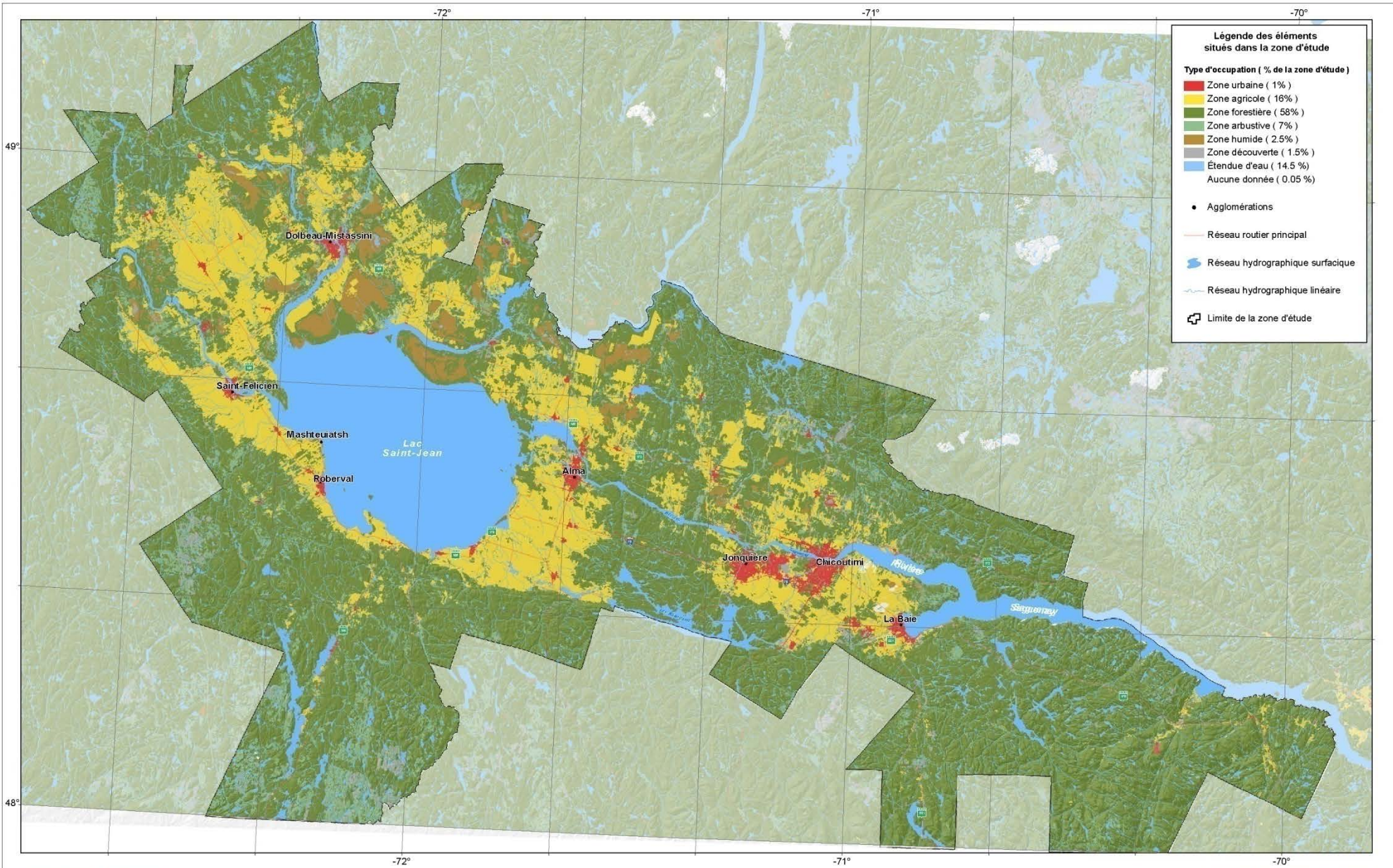
**Bassins et sous-bassins versants
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #6



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

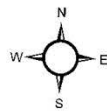


Légende des éléments situés dans la zone d'étude

Type d'occupation (% de la zone d'étude)

- Zone urbaine (1%)
- Zone agricole (16%)
- Zone forestière (58%)
- Zone arbustive (7%)
- Zone humide (2.5%)
- Zone découverte (1.5%)
- Étendue d'eau (14.5%)
- Aucune donnée (0.05%)

- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite de la zone d'étude



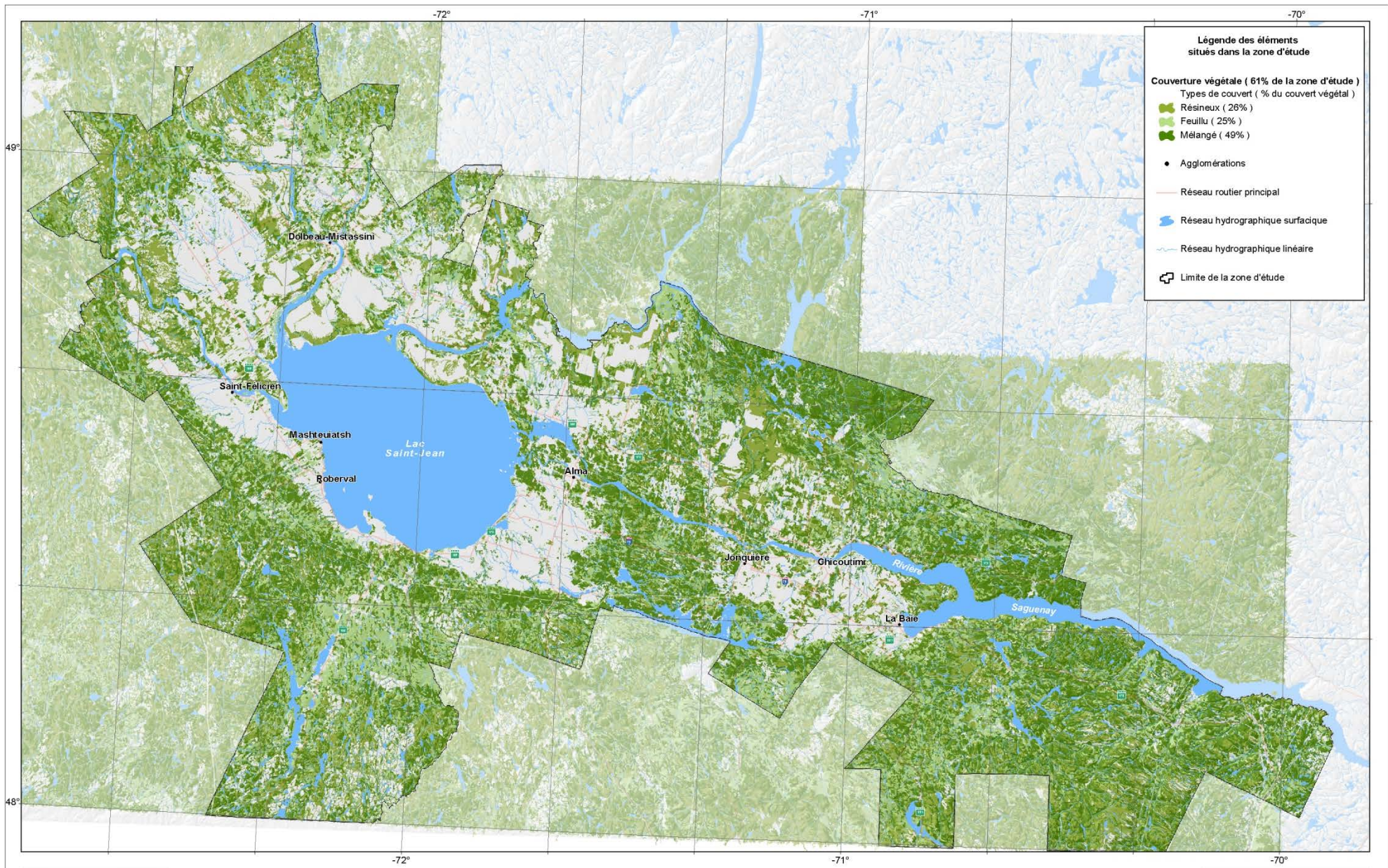
**Occupation du sol
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Carte #7



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

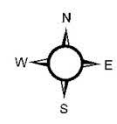


Légende des éléments situés dans la zone d'étude

Couverture végétale (61% de la zone d'étude)
 Types de couvert (% du couvert végétal)

- Résineux (26%)
- Feuillu (25%)
- Mélangé (49%)

- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite de la zone d'étude



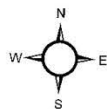
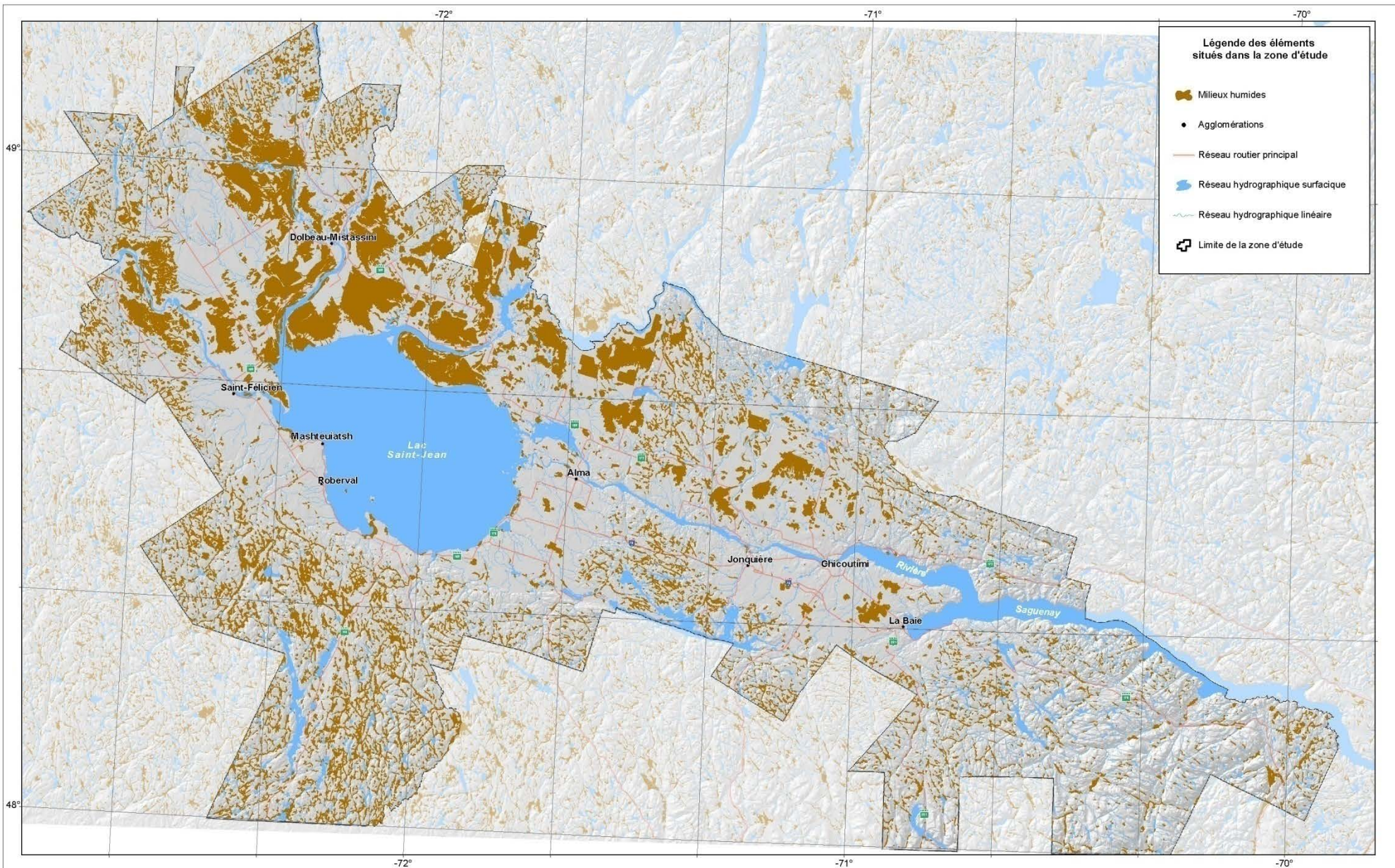
**Couverture végétale
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Carte #8



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
 Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



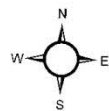
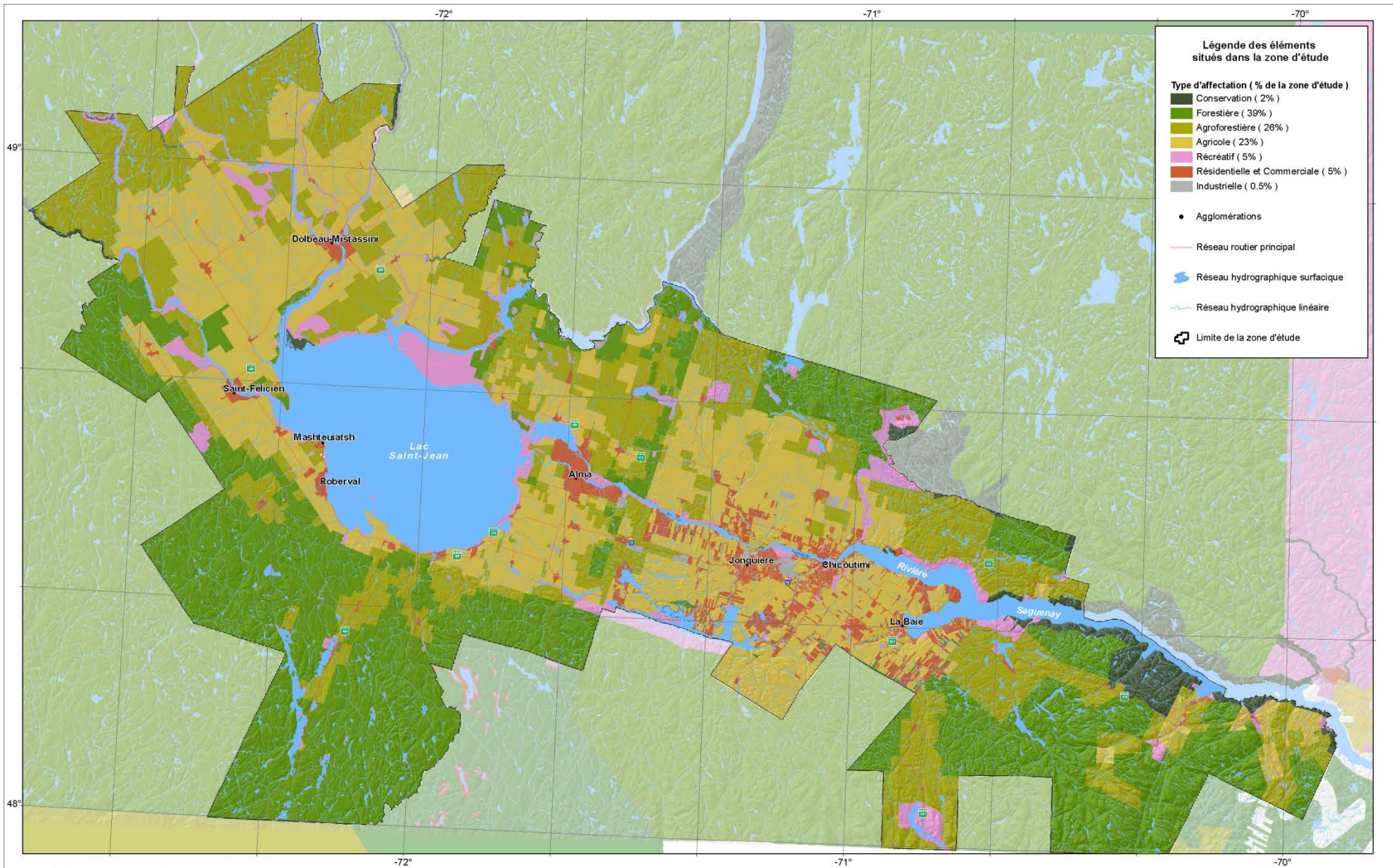
**Milieux humides
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #9



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



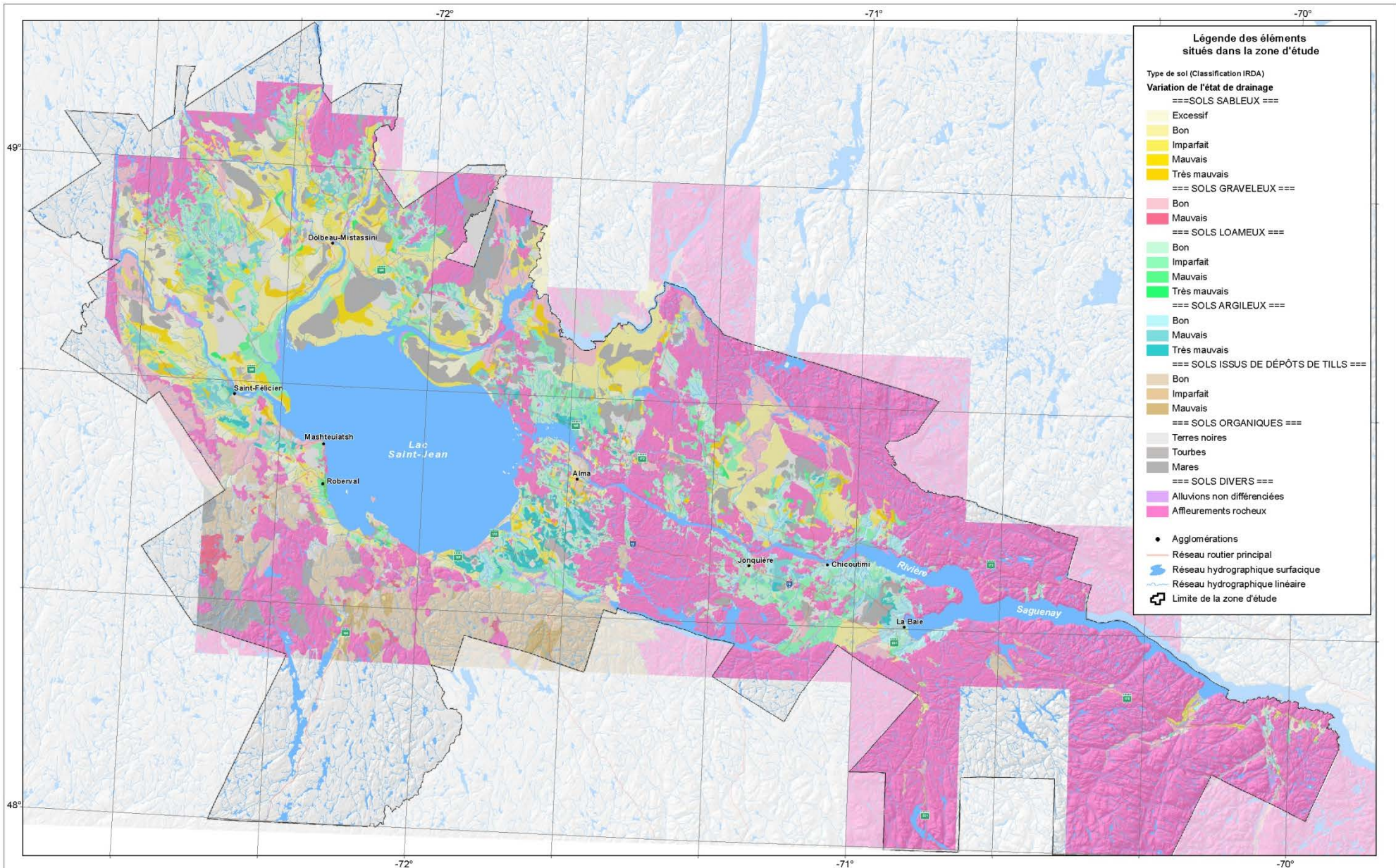
**Affectation du territoire
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #10



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



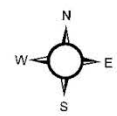
Légende des éléments situés dans la zone d'étude

Type de sol (Classification IRDA)

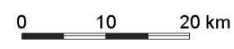
Variation de l'état de drainage

- === SOLS SABLEUX ===
- Excessif
- Bon
- Imparfait
- Mauvais
- Très mauvais
- === SOLS GRAVELEUX ===
- Bon
- Mauvais
- === SOLS LOAMEUX ===
- Bon
- Imparfait
- Mauvais
- Très mauvais
- === SOLS ARGILEUX ===
- Bon
- Mauvais
- Très mauvais
- === SOLS ISSUS DE DÉPÔTS DE TILLS ===
- Bon
- Imparfait
- Mauvais
- === SOLS ORGANIQUES ===
- Terres noires
- Tourbes
- Mares
- === SOLS DIVERS ===
- Alluvions non différenciées
- Affleurements rocheux

- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- ☒ Limite de la zone d'étude



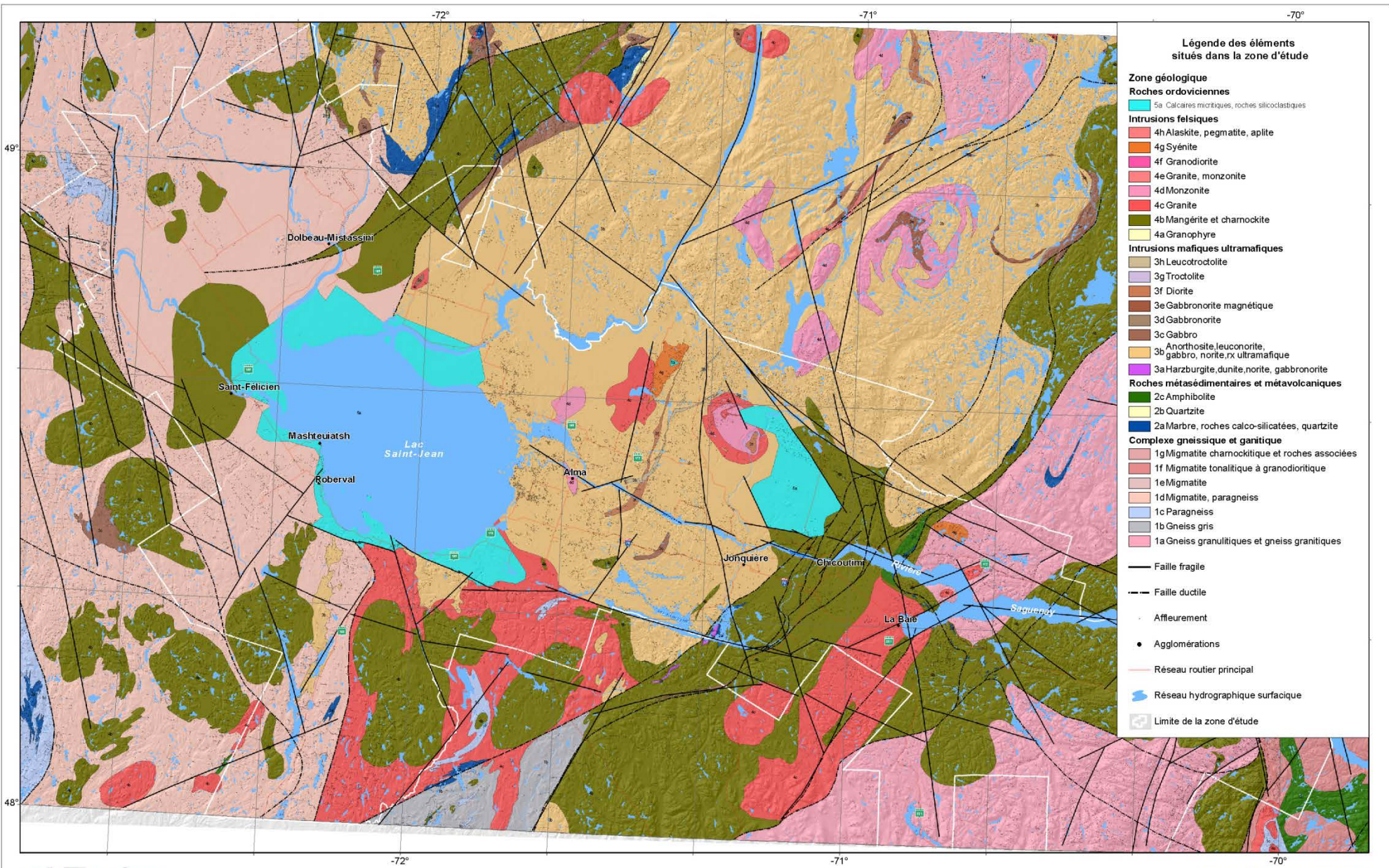
**Pédologie
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Carte #11

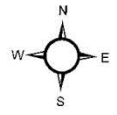
Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)





Légende des éléments situés dans la zone d'étude

- Zone géologique**
- Roches ordoviciennes**
- 5a Calcaires micritiques, roches silicoclastiques
- Intrusions felsiques**
- 4h Alaskite, pegmatite, apélite
 - 4g Syénite
 - 4f Granodiorite
 - 4e Granite, monzonite
 - 4d Monzonite
 - 4c Granite
 - 4b Mangérite et charnockite
 - 4a Granophyre
- Intrusions mafiques ultramafiques**
- 3h Leucotroctolite
 - 3g Troctolite
 - 3f Diorite
 - 3e Gabbronorite magnétique
 - 3d Gabbronorite
 - 3c Gabbro
 - 3b Anorthosite, leuconorite, gabbro, norite, rx ultramafique
 - 3a Harzburgite, dunite, norite, gabbronorite
- Roches métasédimentaires et métavolcaniques**
- 2c Amphibolite
 - 2b Quartzite
 - 2a Marbre, roches calco-silicatées, quartzite
- Complexe gneissique et granitique**
- 1g Migmatite charnockitique et roches associées
 - 1f Migmatite tonalitique à granodioritique
 - 1e Migmatite
 - 1d Migmatite, paragneiss
 - 1c Paragneiss
 - 1b Gneiss gris
 - 1a Gneiss granulitiques et gneiss granitiques
- Faille fragile
- - - Faille ductile
- Affleurement
- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Limite de la zone d'étude



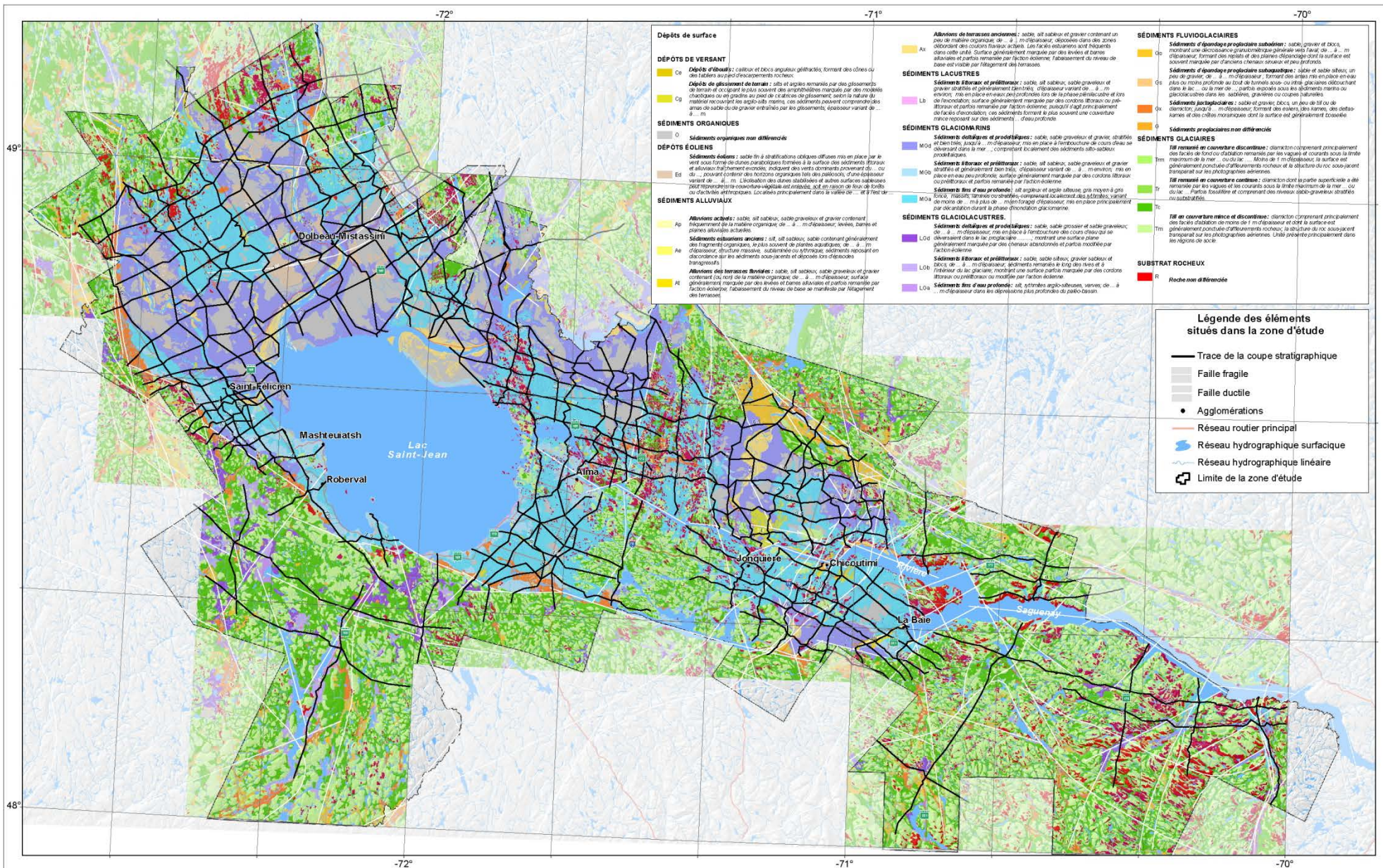
**Géologie du roc
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Carte #13

Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)





Dépôts de surface	DÉPÔTS DE VERSANT	SÉDIMENTS ORGANIQUES	DÉPÔTS ÉOLIENS	SÉDIMENTS ALLUVIAUX	SÉDIMENTS GLACIAIRES	SÉDIMENTS GLACIOCLASTRES	SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES	SÉDIMENTS GLACIAIRES	SUBSTRAT ROCHEUX
<p>Dépôts de surface</p> <p>DÉPÔTS DE VERSANT</p> <p>SÉDIMENTS ORGANIQUES</p> <p>DÉPÔTS ÉOLIENS</p> <p>SÉDIMENTS ALLUVIAUX</p>	<p>Dépôts de versant</p> <p>Sédiments organiques non différenciés</p> <p>Sédiments éoliens</p> <p>Sédiments alluviaux</p>	<p>Sédiments organiques non différenciés</p> <p>Sédiments éoliens</p> <p>Sédiments alluviaux</p>	<p>Sédiments éoliens</p> <p>Sédiments alluviaux</p>	<p>Sédiments alluviaux</p> <p>Sédiments glaciaires</p> <p>Sédiments glacioclastres</p>	<p>Sédiments glaciaires</p> <p>Sédiments glacioclastres</p>	<p>Sédiments glacioclastres</p> <p>Sédiments fluvio-glaciaires</p>	<p>Sédiments fluvio-glaciaires</p> <p>Sédiments glaciaires</p>	<p>Sédiments glaciaires</p> <p>Sédiments glacioclastres</p>	<p>Sédiments glacioclastres</p> <p>Sédiments fluvio-glaciaires</p>

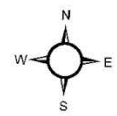
Légende des éléments situés dans la zone d'étude	
	Trace de la coupe stratigraphique
	Faïlle fragile
	Faïlle ductile
	Agglomérations
	Réseau routier principal
	Réseau hydrographique surfacique
	Réseau hydrographique linéaire
	Limite de la zone d'étude

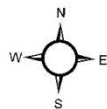
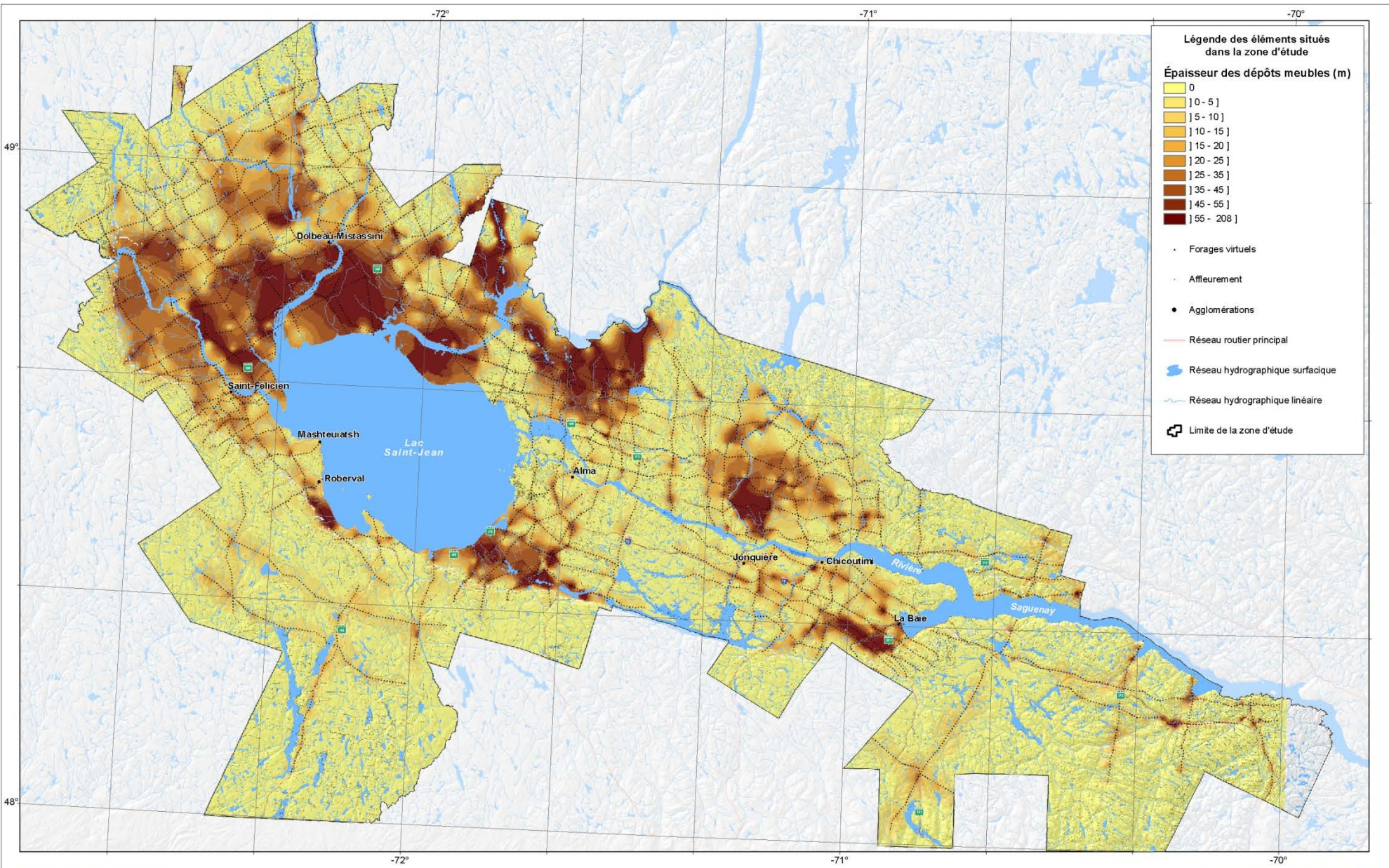
**Localisation des coupes stratigraphiques
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

Carte #14



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)





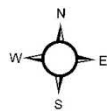
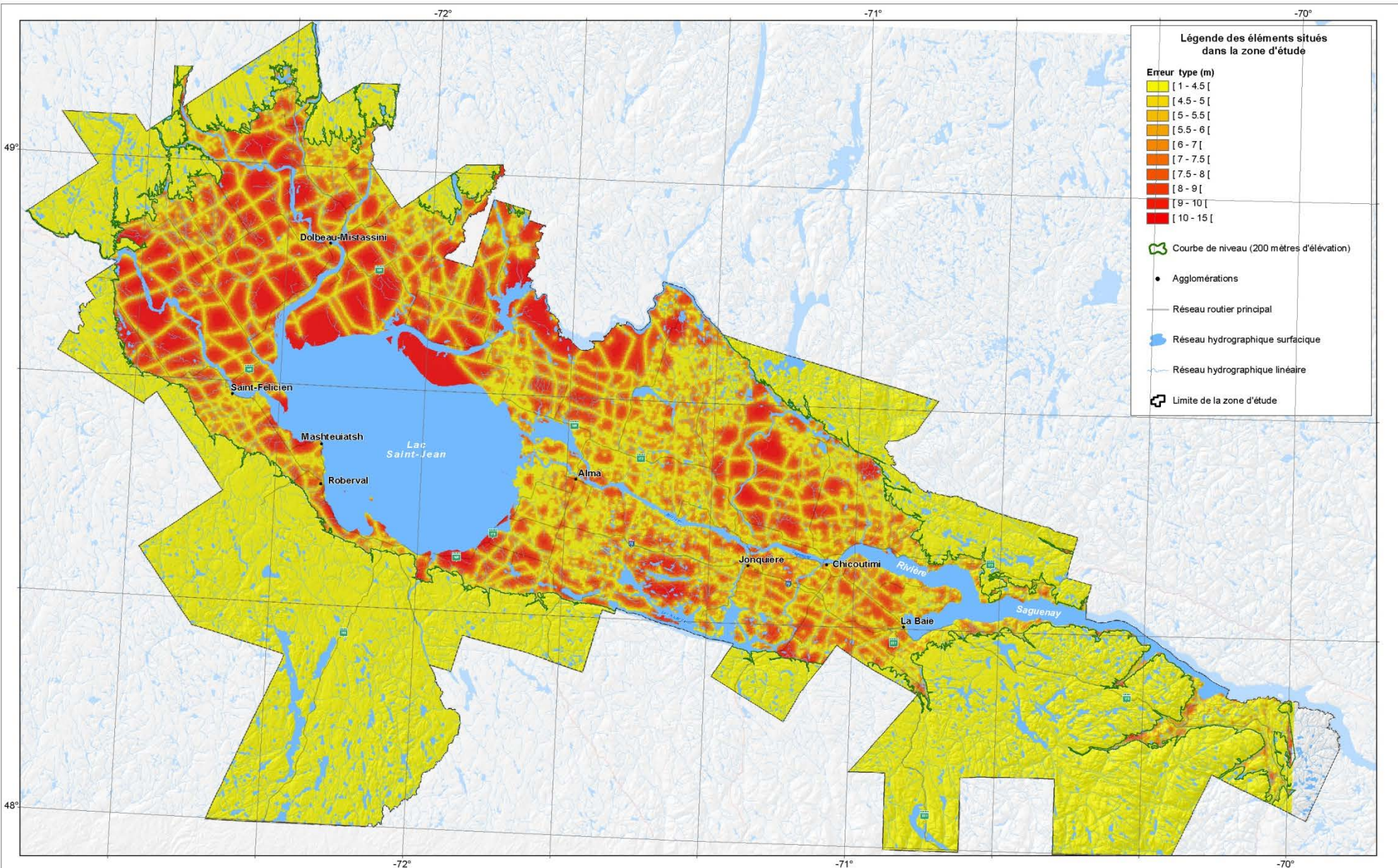
**Épaisseur des dépôts meubles
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #15 (a)



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



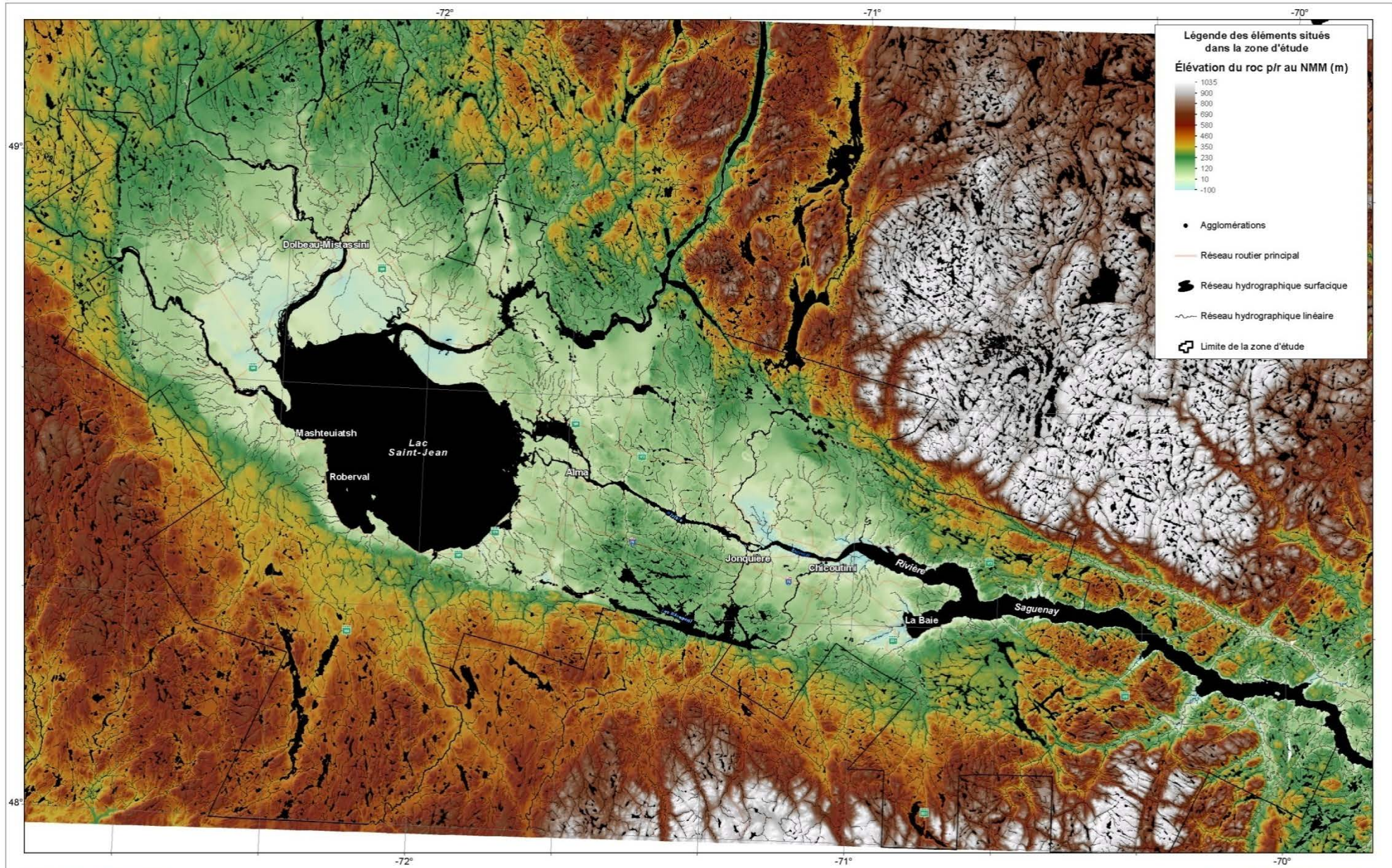
**Erreur type de l'épaisseur des dépôts meubles
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #15 (b)



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

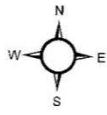


Légende des éléments situés dans la zone d'étude

Élévation du roc p/r au NMM (m)

1035
900
800
690
580
460
350
230
120
10
-100

- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite de la zone d'étude



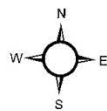
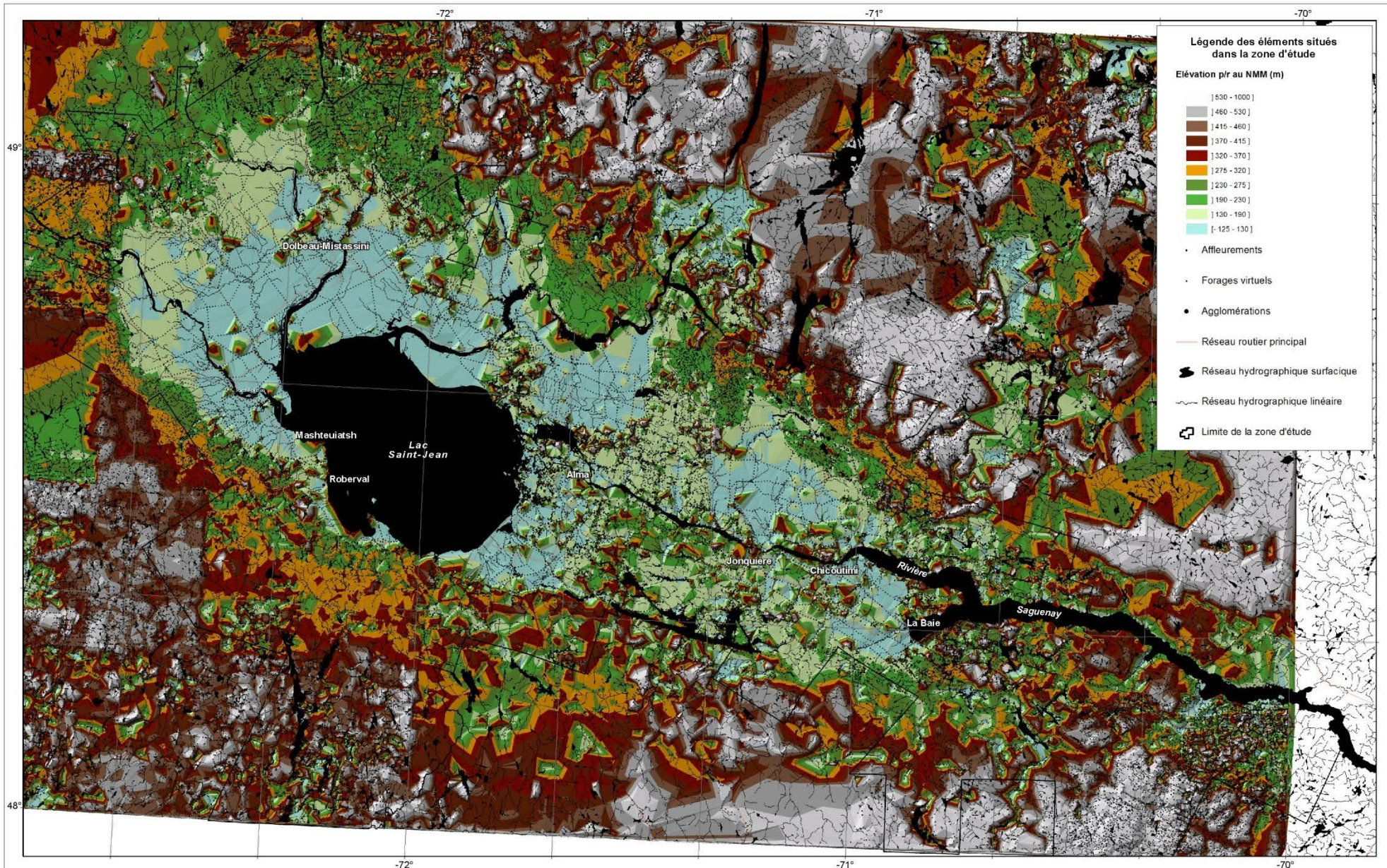
**Topographie du roc
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Carte #16 (a)



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



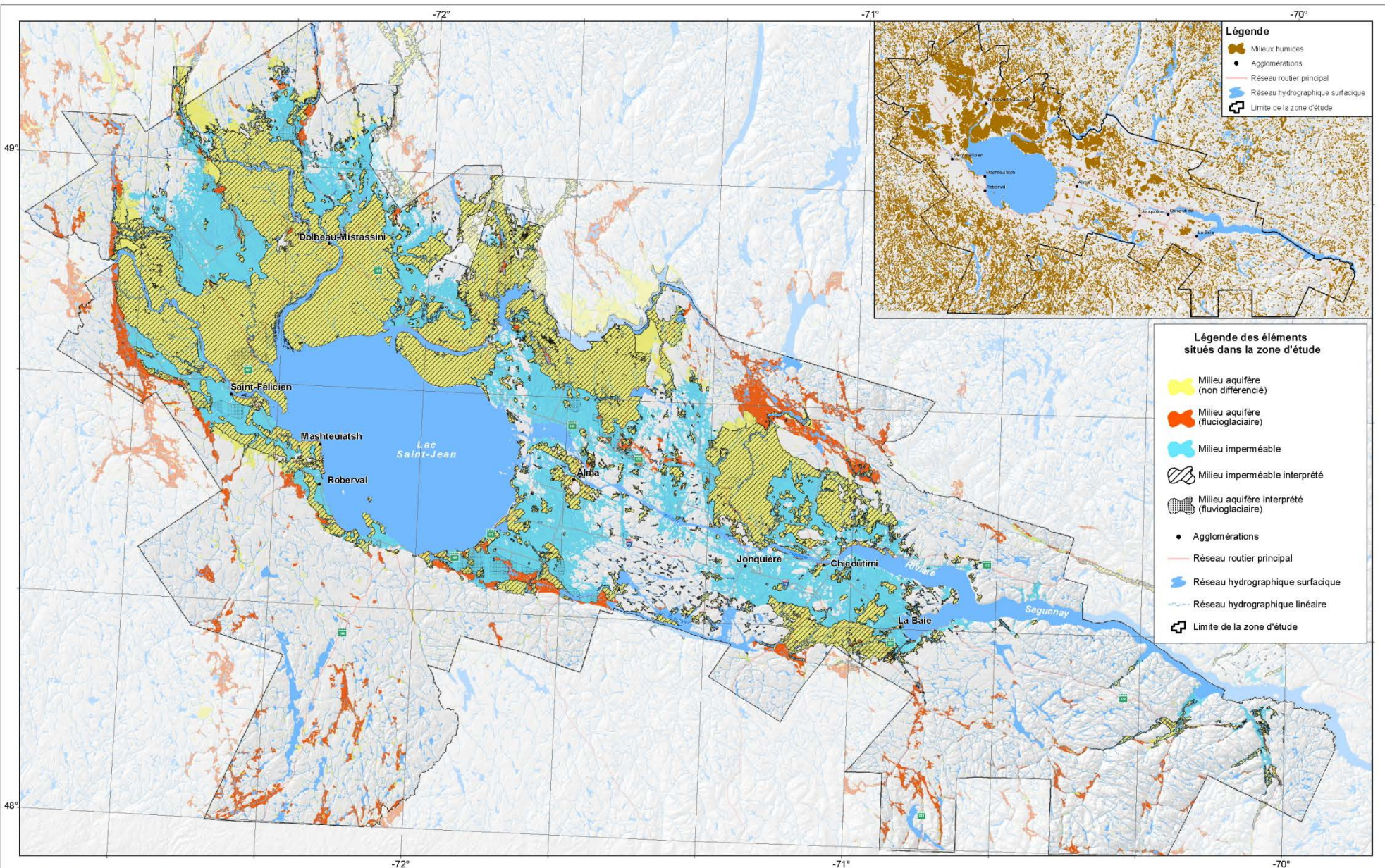
**Topographie du roc
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #16 (b)

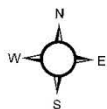
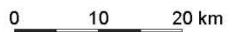


Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



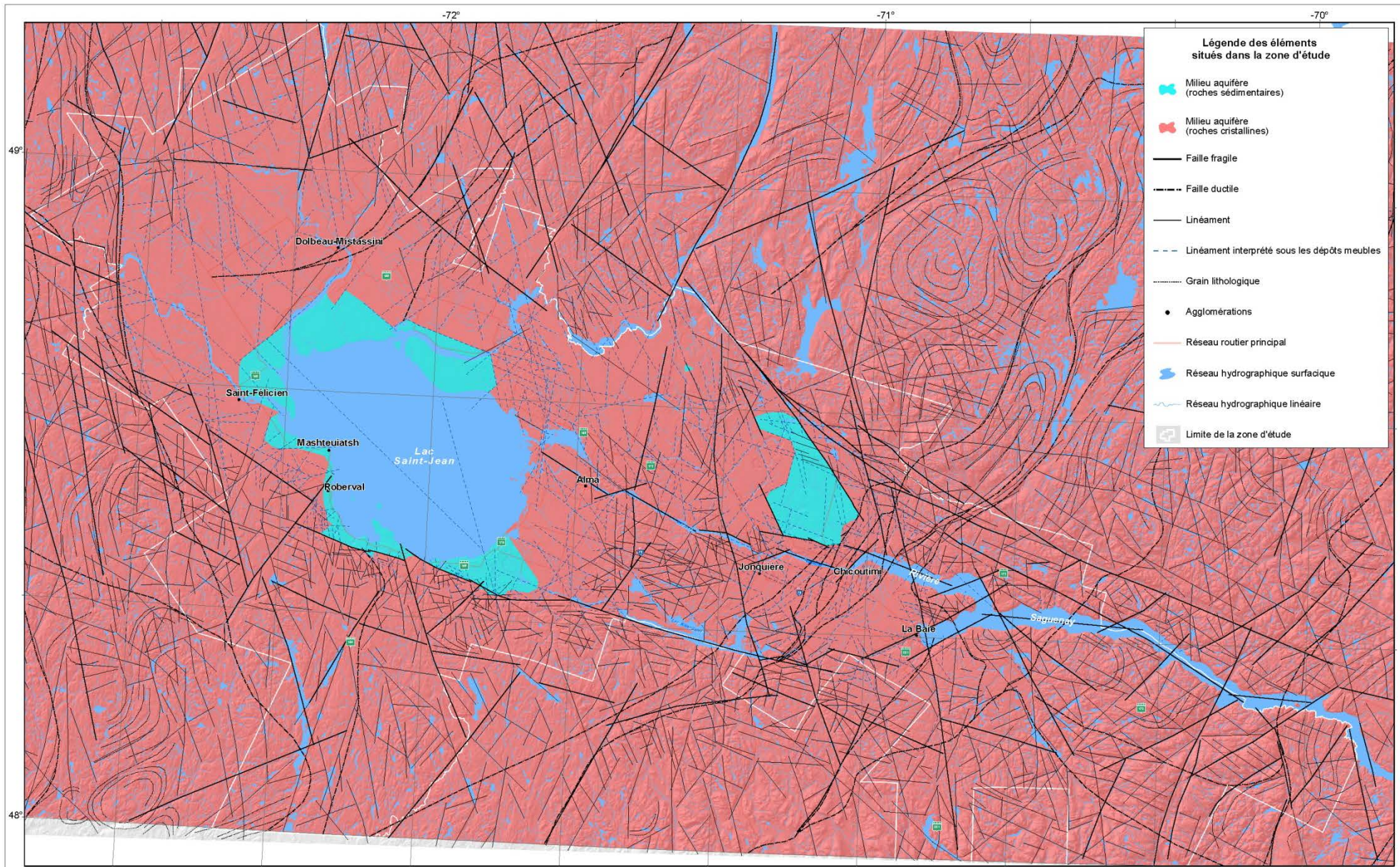
**Limites régionales des milieux aquifères des dépôts meubles
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

Carte #18 (a)



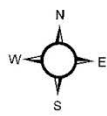
Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)





Légende des éléments situés dans la zone d'étude

- Milieu aquifère (roches sédimentaires)
- Milieu aquifère (roches cristallines)
- Faille fragile
- Faille ductile
- Linéament
- Linéament interprété sous les dépôts meubles
- Grain lithologique
- Agglomérations
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite de la zone d'étude



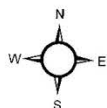
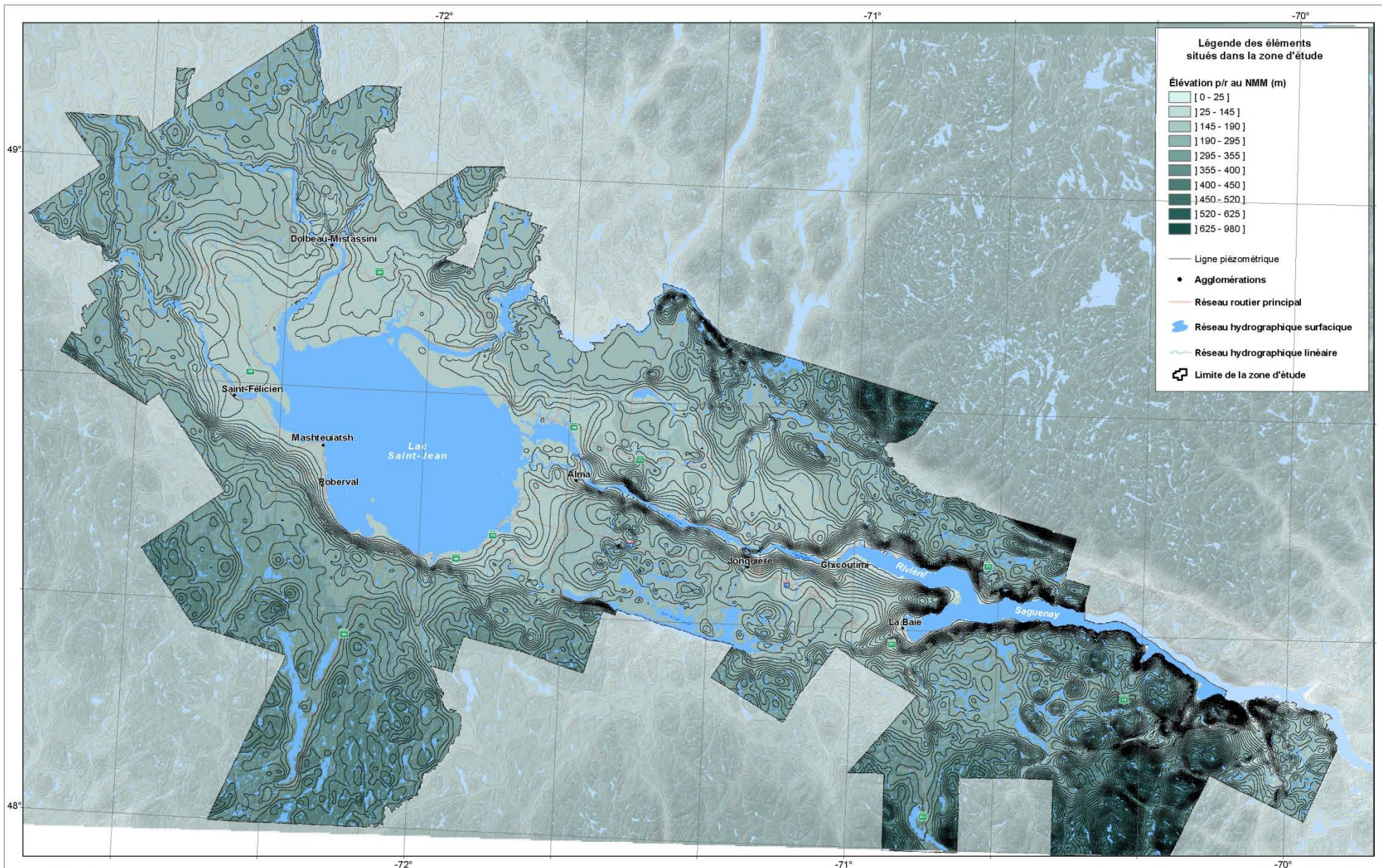
**Limites régionales des milieux aquifères fracturés
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

Carte #18 (b)





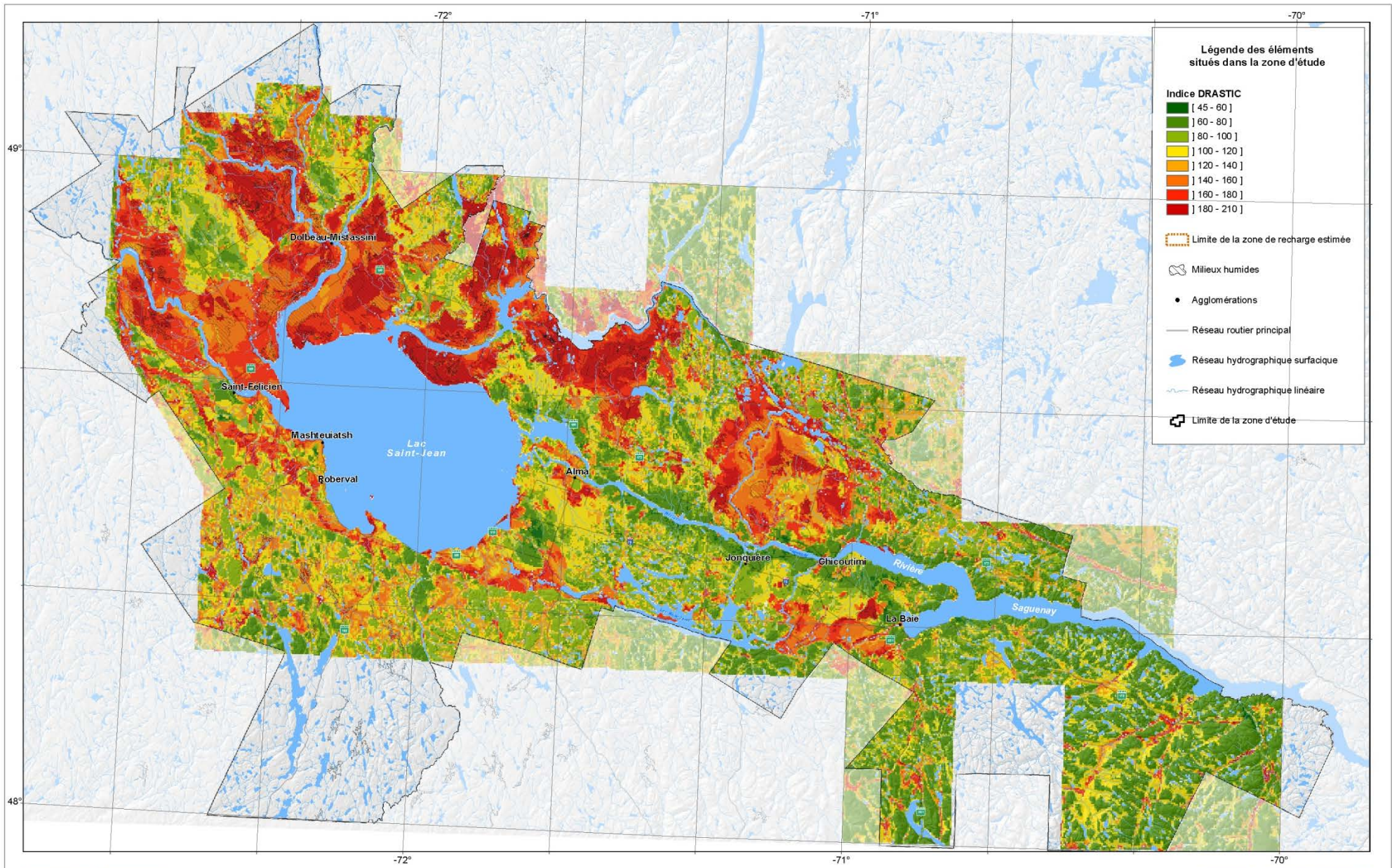
**Piézométrie régionale
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #19

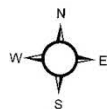


Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



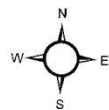
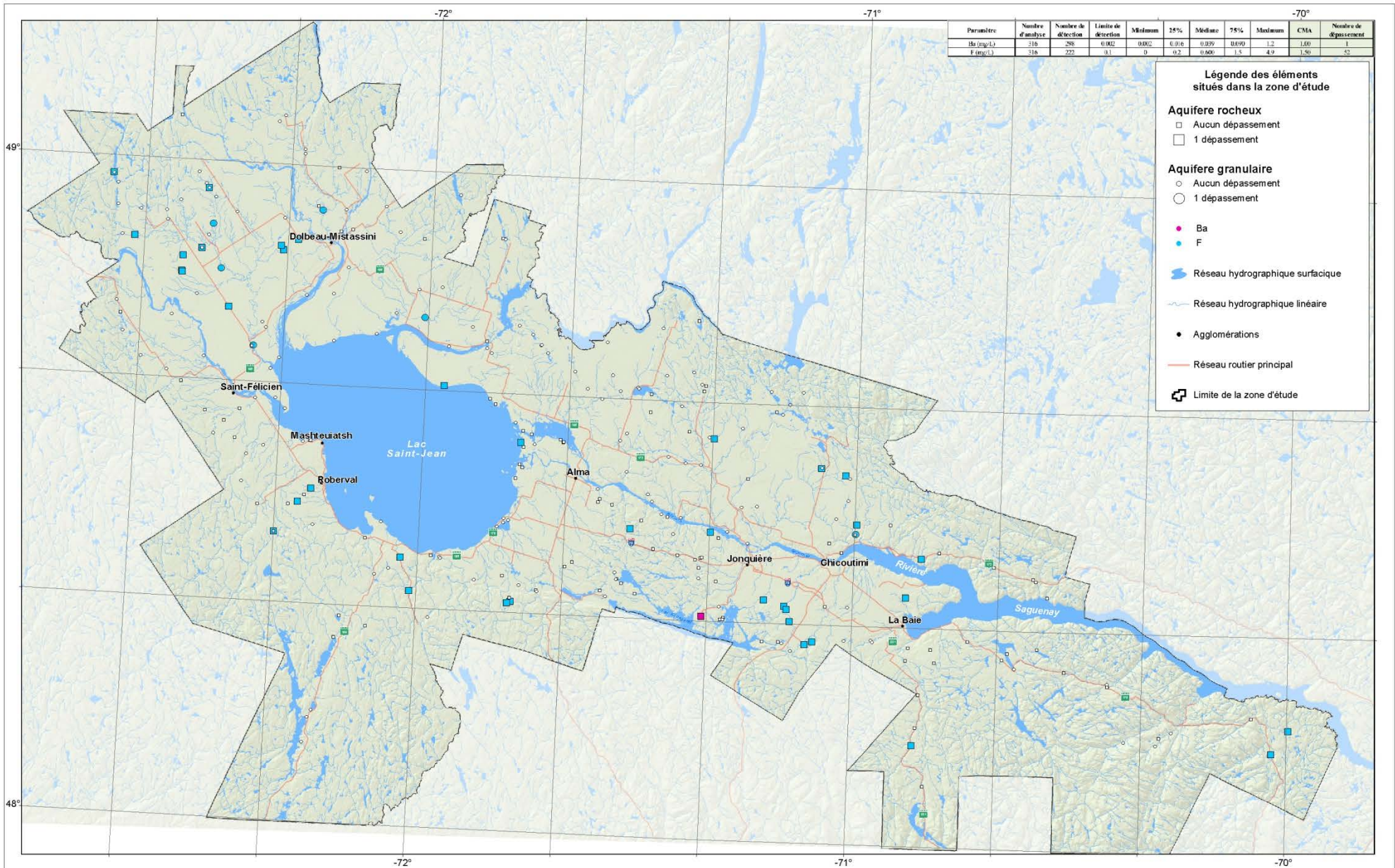
**Vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface selon la méthode DRASTIC
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

Carte #22



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)





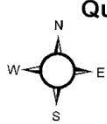
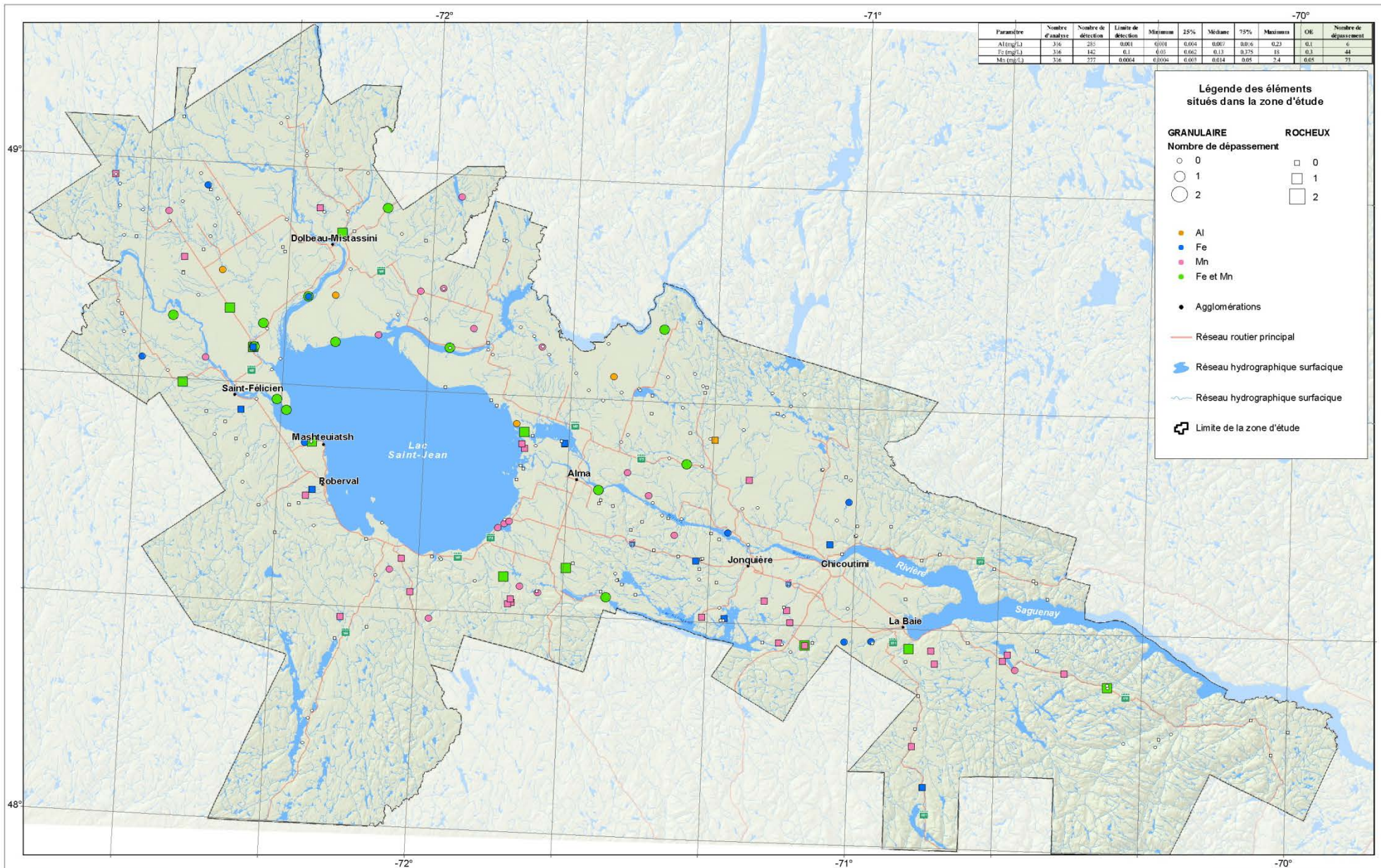
**Qualité de l'eau en fonction des concentrations maximales acceptables (CMA)
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Carte #24



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



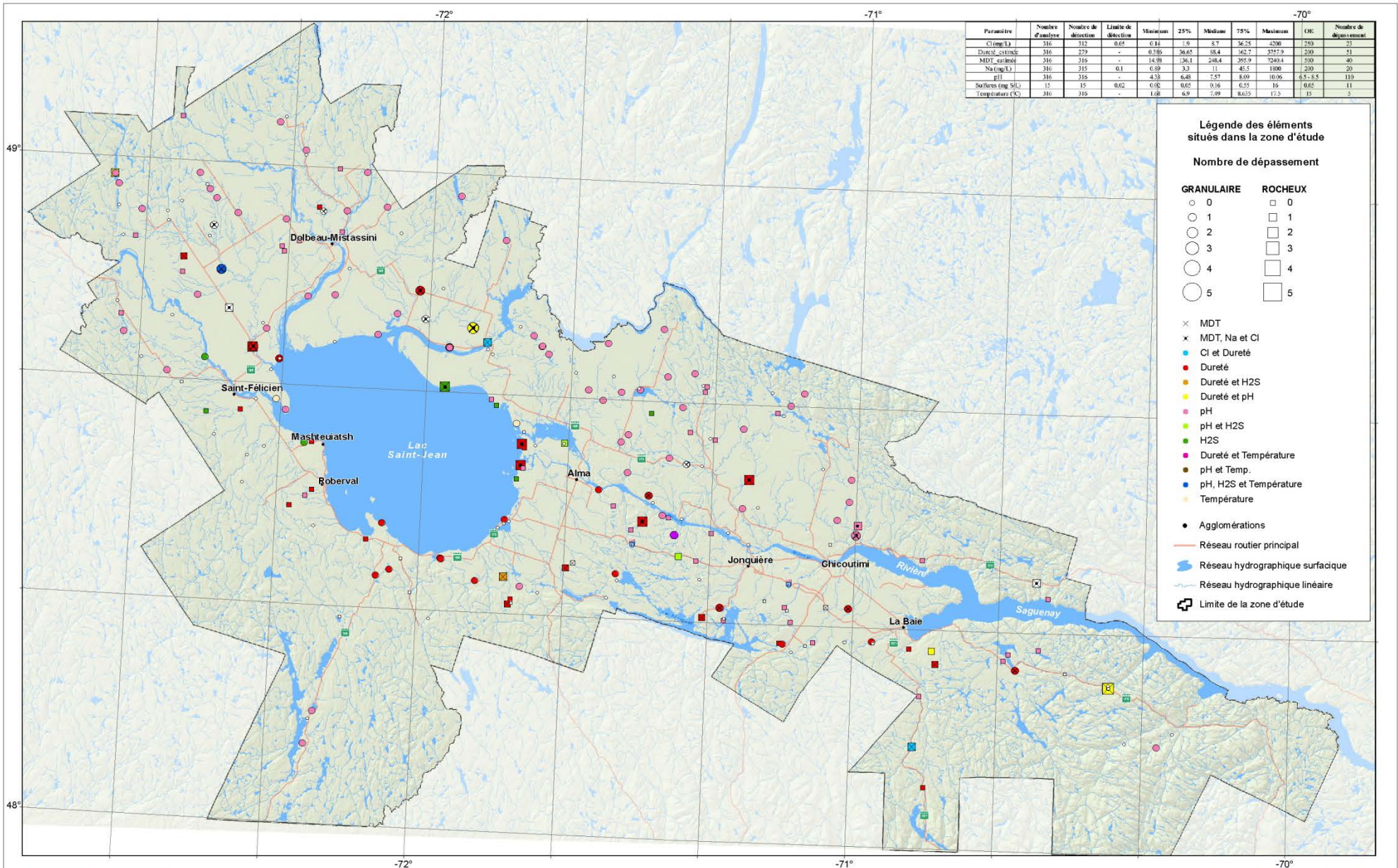
**Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques. Dépassements pour les ions métalliques
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Carte #25 (a)

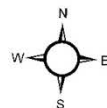


Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)



Qualité de l'eau en fonction des objectifs esthétiques
Dépassements pour les éléments majeurs et pour les paramètres *In situ*
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC

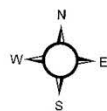
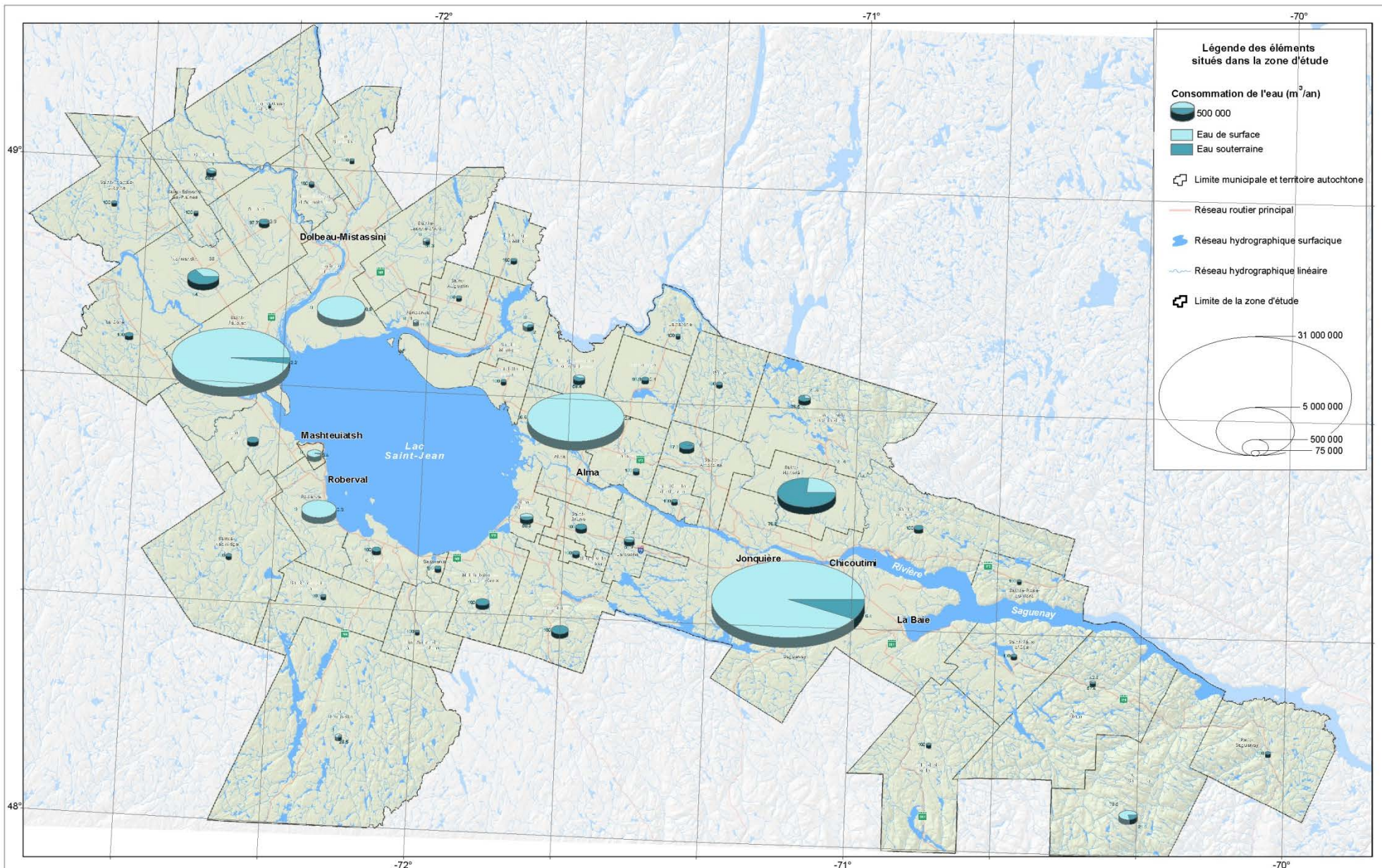
Carte #25 (b)



0 10 20 km

Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)





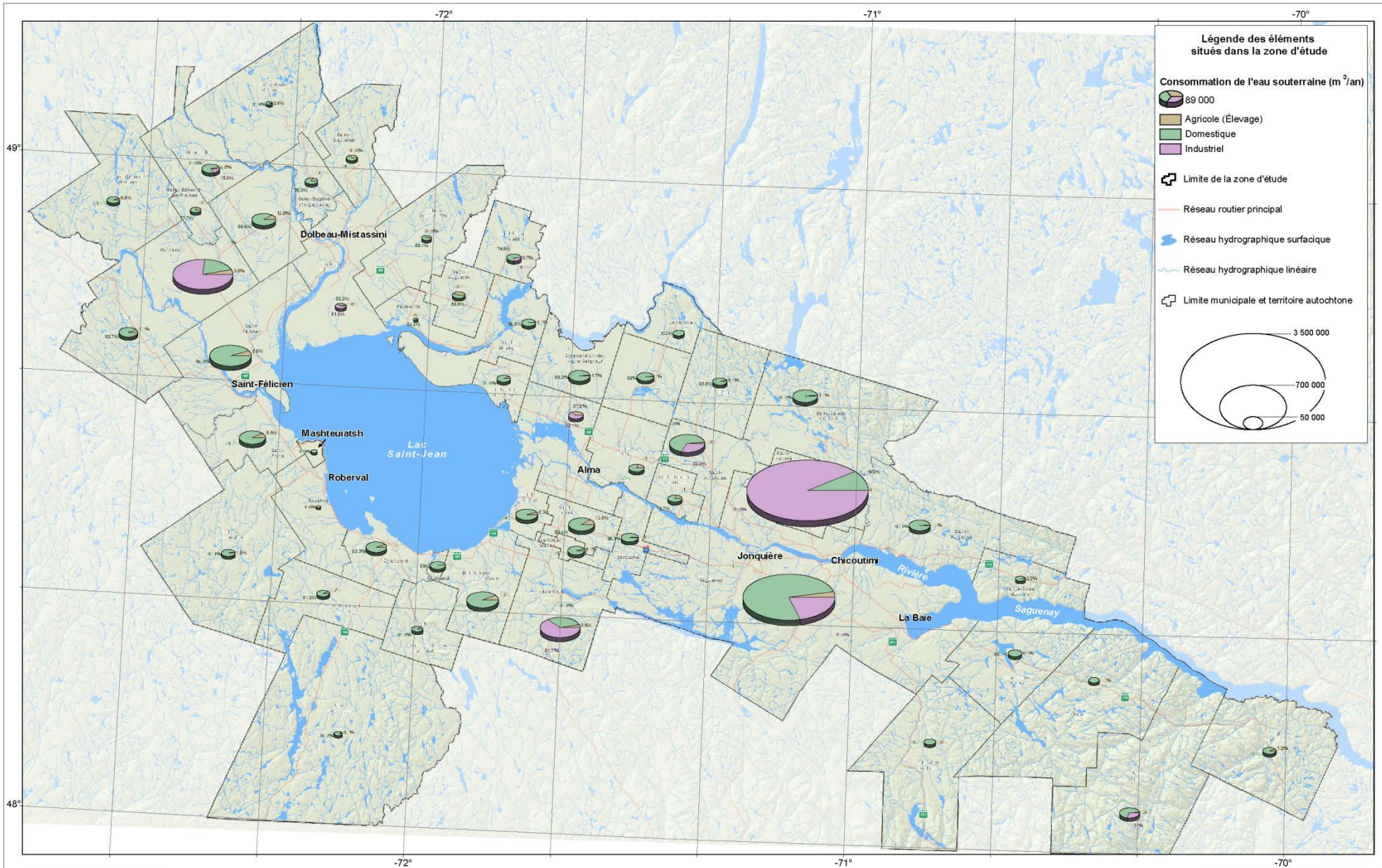
**Utilisation de l'eau
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

Carte #26 (a)





Légende des éléments situés dans la zone d'étude

Consommation de l'eau souterraine (m³/an)

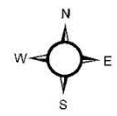
- 3 500 000
- 700 000
- 50 000

Consommation par secteur :

- Agricole (Élevage)
- Domestique
- Industriel

Autres éléments :

- Limite de la zone d'étude
- Réseau routier principal
- Réseau hydrographique surfacique
- Réseau hydrographique linéaire
- Limite municipale et territoire autochtone



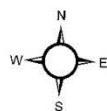
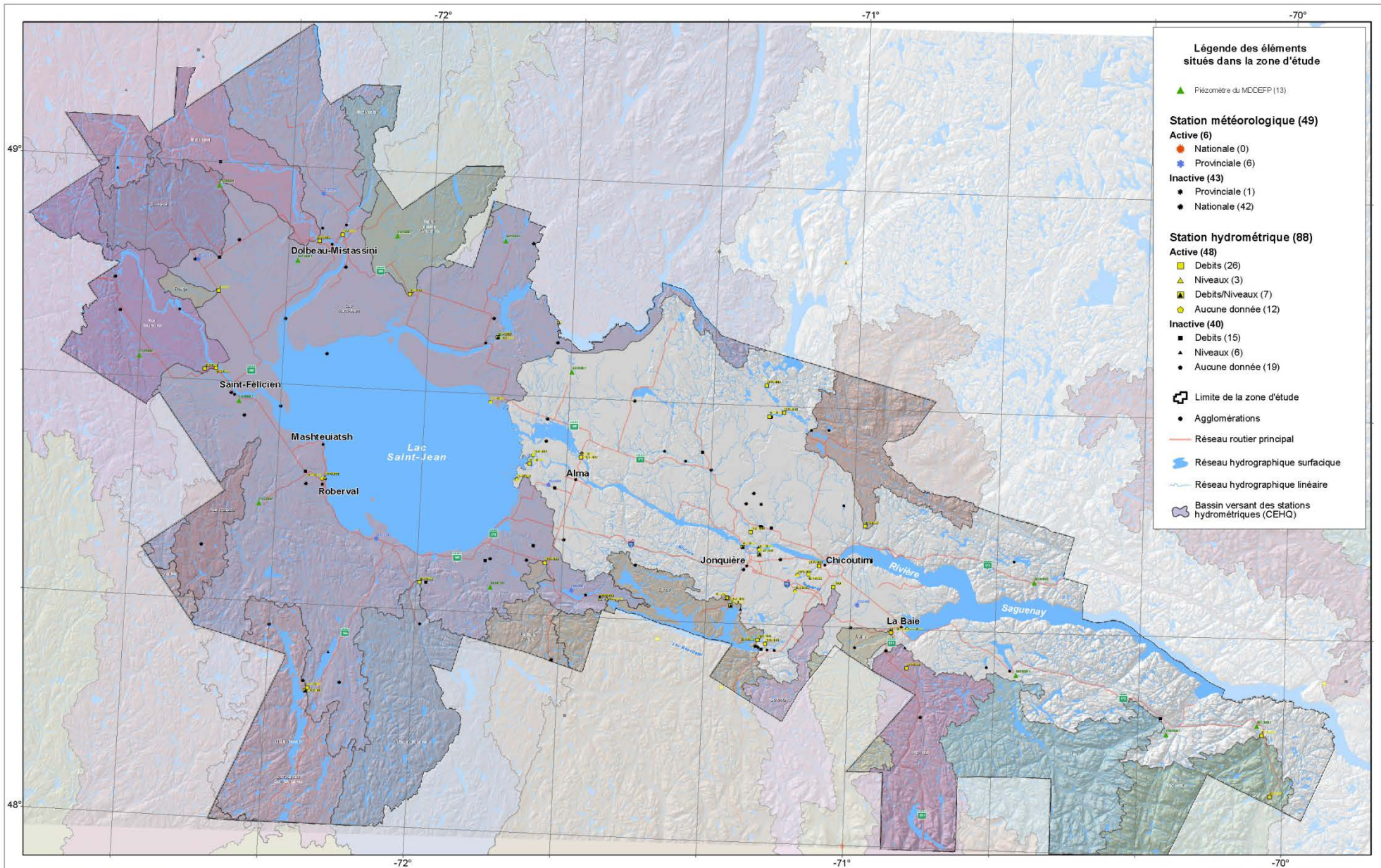
**Utilisation de l'eau souterraine
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**



Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

Carte #26 (b)





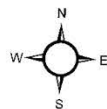
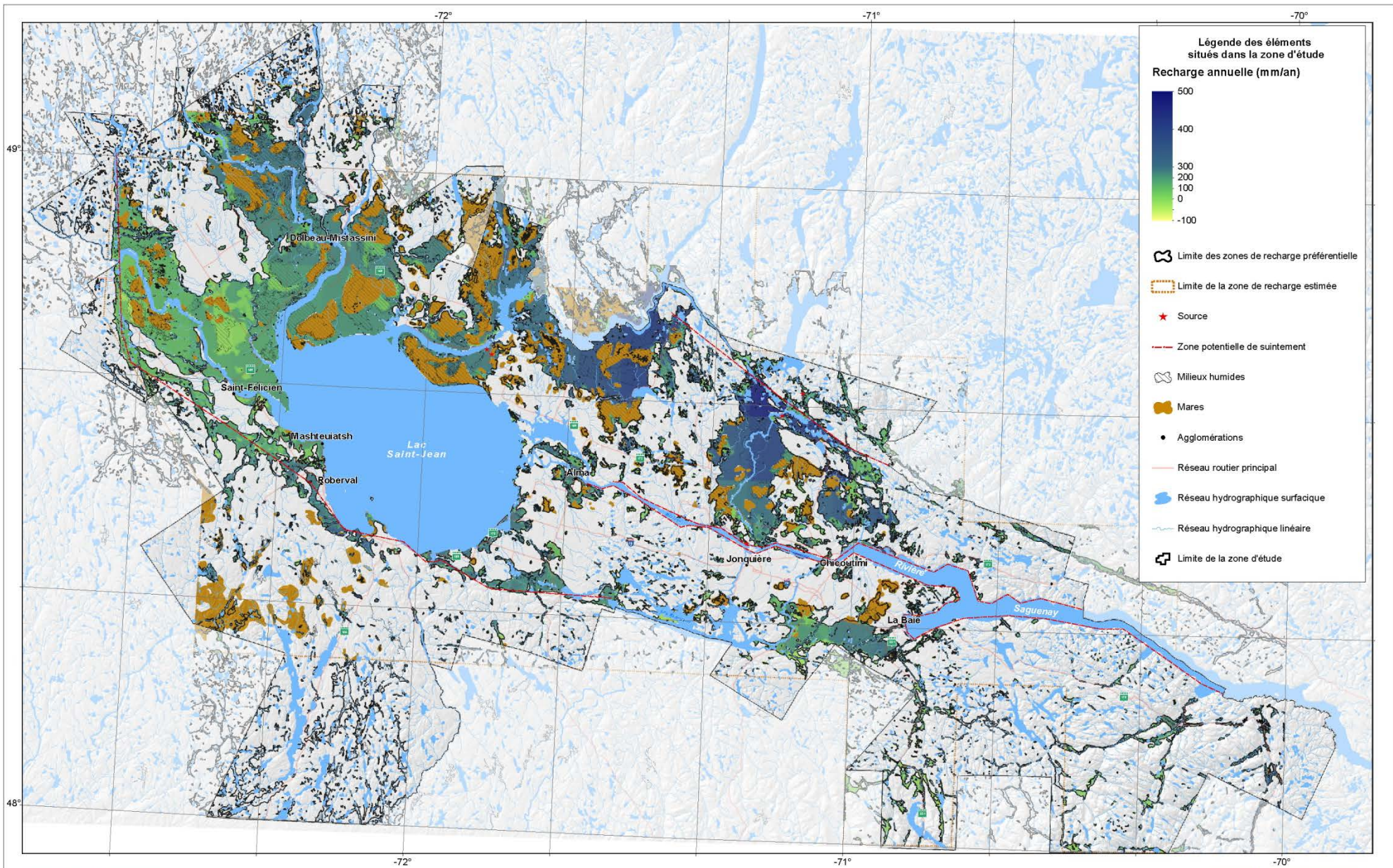
**Stations météorologiques, stations hydrométriques et suivi de la nappe
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

Carte #27

0 10 20 km

Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)





**Zones de recharge préférentielle et de résurgence
SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN
QUÉBEC**

0 10 20 km

Projection conique conforme de Lambert avec deux parallèles d'échelle conservée (46° et 60°)
Système de référence géodésique nord-américain de 1983 (NAD 83)

Carte #28



Annexe 2 : Exemple d'entente et de projet de résolution



COMMUNIQUÉ AUX RESPONSABLES MUNICIPAUX DU SAGUENAY – LAC SAINT-JEAN

OBJET : Données sur les aquifères et les eaux souterraine

Par la présente, nous sollicitons la collaboration des municipalités du Saguenay-Lac-Saint-Jean à un projet de développement des connaissances sur les aquifères et les eaux souterraines de notre région, en nous donnant accès aux données hydrogéologiques dont elles disposent. En effet, la première phase de ce projet qui démarre en mars 2008 vise à mettre à profit les données pertinentes déjà existantes sur le territoire. Une source importante de telles données est constituée par les résultats et les rapports des études et des travaux commandés par les municipalités pour répondre à leurs besoins d'alimentation en eau potable ou en infrastructure. Les données pertinentes sont contenues dans des rapports portant sur diverses préoccupations d'une municipalité, dont les suivantes: 1) l'évaluation des ressources en eau souterraine et la conception de puits de pompage; 2) la détermination de l'aire d'alimentation et des périmètres de protection d'un puits de pompage; 3) l'investigation d'un terrain contaminé ou potentiellement contaminé; 4) l'investigation géotechniques requise lors de nouvelles constructions, pour l'aménagement d'infrastructures d'assainissement des eaux usées, etc. En bref, toute donnée portant sur la description de la géologie des terrains est susceptible d'être pertinente pour notre projet, qu'elle ait été collectée en fonction des eaux souterraines ou non.

Nous souhaitons recevoir une version numérique des données pertinentes mentionnées plus haut, et qui peuvent inclure du texte, des graphiques et des cartes. Si une version numérique n'est pas disponible, nous en demandons une copie sur papier. Les documents d'une municipalité pourront être acheminés à la MRC dont elle fait partie ou remis au chargé de projet lors d'un arrêt de ce dernier aux bureaux de la municipalité.

Ces données seront incorporées dans une base de données à références spatiales, permettant notamment de tracer des cartes thématiques sur les aquifères et les eaux souterraines. Cette base de données sera mise à la disposition des partenaires du projet qui sont la CRÉ, les MRC, la Ville de Saguenay, ainsi que la direction régionale de plusieurs ministères du Gouvernement du Québec. Les ministères participant sont les suivants : Agriculture, des Pêcheries et de l'alimentation (MAPAQ), Affaires municipales et Régions (MAMR), Développement durable, Environnement et Parcs (MDDEP), Ressources Naturelles et Faune (MRNF), ainsi que L'Agence régionale de la Santé et des Services Sociaux (ASSS). Chacune des municipalités aura également accès aux cartes produites à partir de la base de données à références spatiales mentionnée plus haut, à travers sa propre MRC ou par l'intermédiaire d'un système de diffusion de l'information d'un ministère partenaire.

Ce projet est coordonné par le professeur Alain Rouleau, spécialiste en hydrogéologie au CERM de l'UQAC. Le chargé de projet est M. Julien Walter, hydrogéologue (*voir les coordonnées à la fin de ce communiqué*).

Toute municipalité demeurera propriétaire des données qu'elle nous aura ainsi transmises. Cette transmission de données donne le droit au Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi d'en faire la diffusion auprès des partenaires mentionnés plus haut pour cette première phase du projet de développement des connaissances sur les aquifères et les eaux souterraines de notre région. Ce droit d'utilisation des données fera l'objet d'un document d'entente dont le formulaire est annexé à ce communiqué.

Nous soulignons qu'une requête semblable a été faite en 2001 par le CERM auprès de plusieurs municipalités du Saguenay-Lac-Saint-Jean (et d'autres régions du Québec), dans le cadre d'un projet de recherche visant à identifier les différents types de milieux géologiques aquifères présentement exploités au Québec. Un bon nombre des municipalités de notre région ont alors fourni une copie des documents disponibles à cette date. Les municipalités qui désirent économiser une partie des efforts requis à la préparation du matériel demandé par ce communiqué peuvent d'abord contacter le chargé de projet pour vérifier si le CERM dispose déjà de certains des documents visés. Les documents déjà au CERM n'auront évidemment pas à être fournis à nouveau, réduisant d'autant le nombre des documents à reproduire présentement.

En espérant recevoir une réponse favorable de chacune des municipalités de notre région, nous remercions à l'avance les municipalités pour cette contribution importante au développement des connaissances sur les aquifères et les eaux souterraines de notre région.

Coordonnateur

Alain Rouleau, ing. Ph.D.
Professeur d'hydrogéologie
arouleau@uqac.ca
Téléphone : (418) 545-5011, poste 5213

Chargé de projet

Julien Walter, ing. jr.
Julien_Walter@uqac.ca
Téléphone : (418) 545-5011, poste 2526

Adresse postale : Centre d'études sur les ressources minérales
Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1

CERM/UQAC

Le 4 avril 2008

**ENTENTE SUR L'ACCÈS AUX INFORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES
ET SUR LEUR DIFFUSION**

La municipalité de donne accès aux informations hydrogéologiques dont elle dispose (la liste peut en être donnée dans un document annexé), au Centre d'étude sur les ressources minérales (CERM) de l'université du Québec à Chicoutimi (UQAC) dans la cadre de la réalisation d'un portrait des aquifères et des eaux souterraines au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les firmes d'experts conseils qui ont été mandatées par notre municipalité pour l'obtention de ces informations sont également autorisées à remettre au CERM une copie de ces informations.

Il est convenu : 1) que ces informations feront partie des archives créées pour ce projet et 2) qu'elles pourront être intégrées aux documents cartographiques diffusés qui en résulteront. Le CERM s'engage à ne faire aucune utilisation commerciale de ces informations.

Signatures :

NOM	NOM
Pour le CERM de l'UQAC	Pour la municipalité
Date :	Date :

	OUI	NON
Les documents peuvent être obtenus du consultant qui a produit les rapports	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tous les documents sur les eaux souterraines sont transmis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seuls les documents mentionnés sur la page suivante peuvent être transmis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**PROJET DE RÉSOLUTION
À L'INTENTION DES RESPONSABLES MUNICIPAUX
DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN**

- CONSIDÉRANT QUE** le 4 septembre 2008, la ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a annoncé un investissement de 7,5 millions \$ dans un nouveau programme visant à dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines;
- CONSIDÉRANT QUE** ce programme vise aussi à développer des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire afin de favoriser une saine gestion de la ressource;
- CONSIDÉRANT QU'** au mois de mars 2008, le Saguenay-Lac-Saint-Jean avait déjà débuté un projet d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines, sous la supervision d'un comité de partenaires comprenant des représentants des quatre MRC, de la Ville de Saguenay, de la CRÉ, des directions régionales de cinq ministères et du Centre d'étude sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC);
- CONSIDÉRANT QUE** la région désire s'inscrire au programme du MDDEP et, afin de respecter l'un des critères d'adhésion, le projet sera réalisé par le CERM sous l'égide du comité des partenaires;
- CONSIDÉRANT QU'** une source importante de données utiles au projet est constituée par les résultats et les rapports déposés par les municipalités auprès de Ministères et d'organismes gouvernementaux;
- CONSIDÉRANT QUE** mettre ces résultats et rapports à la disposition du CERM peut occasionner une charge de travail importante pour la municipalité;
- CONSIDÉRANT QUE** ces Ministères et organismes pourront rendre disponibles lesdits documents mais qu'ils ont préalablement besoin de l'autorisation en ce sens de la part des municipalités concernées;
- CONSIDÉRANT QUE** ces données seront incorporées dans une base de données à références spatiales permettant de tracer des cartes thématiques sur les aquifères et les eaux souterraines;

CONSIDÉRANT QUE cette base de données sera mise à la disposition des partenaires du projet et du Gouvernement du Québec

POUR CES RAISONS,

Il est proposé par _____, appuyé par _____;

ET RÉSOLU À L'UNANIMITÉ :

QUE la municipalité de _____ donne accès au Centre d'étude sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi à l'ensemble des documents pertinents pour des fins de cartographie hydrogéologique, qui ont été déposés par notre municipalité auprès de Ministères et organismes gouvernementaux;

QUE ces informations feront partie des archives créées pour le projet et qu'elles pourront être intégrées aux documents cartographiques diffusés qui en résulteront. Il est entendu que le CERM de l'UQAC s'engage à ne faire aucune utilisation commerciale de ces informations.

Annexe 3: Description des Tables, Feature Class et Raster Dataset
de la base de données spatiales PACES-SLSJ

Feature Class STATION

Le *feature class* STATION possède une géométrie ponctuelle et contient les stations d'observation de données hydrogéologiques. Une station peut être un puits, un piézomètre, un forage, un trou ou un levé géophysique. Dans le *feature class* central nommé STATION, chaque station est identifiée de façon unique grâce au champ *NoReference*. Pour faciliter l'identification des données existantes des données acquises sur le terrain, une norme a été établie sur l'attribution des identifiants retrouvés dans le champ *NoReference*. Le tableau 1 présente cette norme d'attribution.

Tableau 1 - Norme pour l'attribution des *NoReference* dans la Geodatabase

NoReference	Sources des données
SLSJ0001 - SLSJ19999	Données extraites des : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Rapports d'experts conseil ✓ SIH ✓ MTQ ✓ UQAC (GUHS)
SLSJ20000 - SLSJ29999	Compagne d'hydrogéochimie réalisée par le CERM dans le cadre PACES
SLSJ30000 - SLSJ39999 SLSJ30000 - SLSJ34999 SLSJ35000 - SLSJ39999	Travaux en hydrostratigraphie dans le cadre du PACES Colonne stratigraphique Coupe stratigraphique
SLSJ40000 - SLSJ49999	Forages, CPT et piézomètres réalisés par l'équipe du CERM dans le cadre du PACES
SLSJ50000 - SLSJ59999	Travaux de géophysique réalisés par l'équipe du CERM dans le cadre du PACES
SLSJ70000- SLSJ79999	Projet de cartographie des dépôts quaternaires 2009-2011
SLSJ80000-SLSJ89999	Travaux de diagraphie réalisés par Roger Morin

Le *feature class* STATION possède aussi un deuxième identifiant unique nommé *NumForage*. Cet identifiant permet aussi de distinguer le secteur d'activité mais aussi la provenance des données existantes et acquises sur le terrain. Le tableau 2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la norme d'attribution des valeurs du champ *NumForage*.

Tableau 2 - Norme pour l'attribution des *NumForage* dans la Geodatabase

NumForage	Secteur d'activité
F	Puits, forages, trous extraits des rapports d'experts conseil, rapports MRN et rapports MDDEP
GLS	Les levés géophysiques extraits des rapports d'experts conseil
PZ	Les levés au piézocône extraits des rapports d'experts conseil
SIH	Puits provenant du Système d'information hydrogéologique du MDDEP

MTQ	Forages du Ministère des transports du Québec
GUHS	Forages réalisés dans le cadre du projet Géologie urbaine du Haut-Saguenay de l'UQAC
S	Forages du SIGÉOM du MRN
GEOC & [IDPuits]	Puits visités pendant la campagne hydrogéochimie 2010-2011 - PACES
COL & [IDColonne]	Colonnes produites pendant la campagne d'hydrostratigraphie - PACES
COUPE & [IDCoupe]	Coupes produites pendant la campagne d'hydrostratigraphie - PACES
GEOPHY & [OBJECTIID]	Levés géophysiques - PACES
QUAT & [IDStation]	Stations visitées dans le projet des dépôts quaternaires 2009-2011
DIAG & [IDPuits]	Diagraphies de Roger Morin - PACES
FS & [IDSondage]	Forages, CPT et piézomètres - PACES

Dans la *feature class* STATION, les couples de station formant des doublons sont identifiés à l'aide du champ *IdDoublon*. Les autres champs de la table permettent de décrire la station selon ses coordonnées, son altitude, la source (Consultant, MTQ, SIH, GUHS), sa profondeur, etc.

Table PROPRIÉTAIRE

La table PROPRIÉTAIRE fournit les informations sur le propriétaire de la station. Cette information était principalement disponible pour les puits provenant de la base de données SIH.

Table COMPOSANTEPUITS

La table COMPOSANTEPUITS caractérise la station lorsque cette dernière est un puits ou un piézomètre. Lorsque le puits possède une crépine, cette table contient la longueur et la profondeur de cette dernière. La longueur du tubage, son diamètre et la hauteur de la margelle sont aussi indiqués dans cette table. Ces informations ont été saisies seulement pour 1) les puits ou les piézomètres observés pendant un essai de pompage disponible dans les rapports d'experts conseil, 2) les puits disponibles dans le SIH et 3) les piézomètres réalisés par l'équipe du CERM dans le cadre du PACES.

Table INFRASTRUCTURECAPTAGE

La table INFRASTRUCTURECAPTAGE identifie la méthode de forage (rotation, percussion, etc.), la date de construction de la station et le nom du puisatier. Ces informations ont été peuplées seulement pour le puits provenant de la base de données SIH et les forages réalisés dans le cadre du PACES.

Table NID DE PIEZO

La table NID_DE_PIEZO identifie les stations qui correspondent à des nids de piézomètres.

Table INFOCAPTAGE

La table INFOCAPTAGE permet d'identifier le type de captage (municipal, privé, etc.), le type d'utilisation (approvisionnement en eau potable domestique, industrie, commercial, etc.), le type d'aquifère dans lequel se situe la station et si la nappe d'eau est en milieu libre, confiné ou semi-confiné.

Table TABLESTRATIGRAPHIE

La table TABLESTRATIGRAPHIE contient la diagraphie de la station. La séquence de chaque unité stratigraphique est inscrite dans le champ *Sequence* alors que leur profondeur est inscrite dans les champs *De* et *A*. La description des unités a été codifiée selon la légende de la Commission géologique du Canada. Les lithologies des faciès dominants et secondaires sont inscrits dans les champs *Code Facies Dominant* et *Code Facies Secondaire*. La description textuelle d'origine se retrouve dans le champ *Description*.

Table NIVEAU D'EAU

La table NIVEAU D'EAU contient la profondeur des niveaux d'eau statiques et/ou des niveaux d'eau dynamiques mesurés dans une station donnée. La distinction entre le niveau statique et le niveau dynamique est réalisé grâce au champ *Représentativité* qui contient la valeur *RS* lorsque la profondeur est représentative du niveau statique et *RD* lorsqu'elle fait référence au niveau dynamique. Une valeur de débit de pompage (*Pompage(m3/s)*) est habituellement associée à la profondeur d'un niveau dynamique.

Table GEOCHIMIE

La table GEOCHIMIE contient les analyses hydrogéochimiques réalisées sur l'eau prélevée dans une station. Les valeurs pour les éléments chimiques analysés (fer, manganèse, fluor, calcium, potassium, etc) sont indiquées dans cette table. Le champ *Analyse_Chimique_Ref* contient la référence PDF des analyses originales.

Table PARAMETRESINSITU

La table PARAMETRESINSITU contient les valeurs obtenues pour les paramètres mesurés in situ lors du prélèvement d'un échantillon d'eau.

Table ESTIMATION DEBIT

La table ESTIMATION _DEBIT contient les valeurs obtenues (niveau station, niveau dynamique, rabattement, débit de pompage, etc.) lors d'un essai de pompage de courte durée, de longue durée et simultané. Les champs *NoReference_PuitsPompage* et *NoReference_PuitsObservation* permet de distinguer le puits observé du puits pompé. Le champ *Ref_EssaiPompage* contient le nom du fichier PDF contenant les valeurs originales. Le champ *Nid_de_piezometre* indique si l'essai de pompage a été réalisé sur un nid de piézomètres et permet de connaître l'installation observée. Enfin le champ *Notes* indique la référence des travaux qui ont été réalisés pour obtenir de nouvelles valeurs de propriétés hydrauliques au cours du PACES [Richard, 2011] et [Elliott, 2010].

Table ANALYSEGRANULOMETRIQUE

La table ANALYSEGRANULOMETRIQUE contient tous les paramètres mesurés et calculés pendant une analyse granulométrique. Le champ *CourbeGranuloRef* contient l'identifiant de la courbe granulométrique originale.

Table ESSAIPERMEABILITE

La table ESSAIPERMEABILITE contient tous les paramètres mesurés lors d'un essai de perméabilité. Le champ *NumPermeabilité* contient l'identifiant de l'essai de perméabilité extrait des rapports.

Feature Class AFFLEUREMENT

Le *feature class* AFFLEUREMENT possède une géométrie ponctuelle et contient tous les affleurements compilés dans le cadre du PACES. Les affleurements proviennent du SIGEOM, de cartes géologiques papier, du projet de cartographie des dépôts quaternaires 2009-2011 et des travaux de terrain hydrostructuraux [Pino, 2012]. Le tableau 3 présente les valeurs retrouvées dans les champs *NumAff* et *NoReference* pour chaque type de source de données sur les affleurements.

Tableau 3 - Identifiants uniques attribués à chaque source de données sur les affleurements

NumAff	NoReference	
AFF0001-AFF23583	SLSJ100000-SLSJ102790	Affleurements SIGEOM
AFF23584-AFF39060	SLSJ123583-SLSJ139059	Affleurements extraits des cartes géologiques en format papier
AFF39061-AFF79398	SLSJ139060-SLSJ179397	Affleurements localisés au cours du projet de cartographie des dépôts quaternaires 2009-2011
AFF79399-AFF79622	SLSJ179398-SLSJ179621	Affleurements obtenus par la campagne de levés hydrostructuraux PACES

Feature Class AIREALIMENTATION

Le *feature class* AIREALIMENTATION possède une géométrie polygonale et contient les aires d'alimentation disponibles sur des cartes présentes dans des rapports d'experts conseil.

Feature Class CoupesStratigraphiques Rapports - Traces

Le *feature class* TRACES disponible dans le *dataset* COUPESSTRATIGRAPHIQUES_RAPPORTS possède une géométrie linéaire et contient les traces des coupes stratigraphiques provenant des rapports d'experts conseil ou des rapports du MRN. Ce *feature class* contient aussi les traces des coupes stratigraphiques réalisées dans le cadre de projets de fin d'études du baccalauréat en géologie ou en génie géologique de l'UQAC [Dalpé, 2011], [Beaulieu, 2012], [Maltais, 2012].

Feature Class CARTEPIEZO

Le *feature class* CARTEPIEZO possède une géométrie linéaire et contient les iso contours des cartes piézométriques provenant des rapports d'experts conseil.

Table COTEFIABILITE

La table COTEFIABILITE cote les stations au niveau de leur fiabilité. Les cotes de fiabilité ont pour objectif d'évaluer le degré d'incertitude dans la localisation, la provenance et la qualité de l'information rattachée à une station. Elles se subdivisent en deux grandes catégories :

- ✓ les cotes de Fiabilité sur la Localisation (FL);
- ✓ les cotes de Fiabilité sur la Source (FS).

Les cotes de fiabilité sont attribuées lors de la saisie des données existantes dans les listes de données (section 2.3.1) ou lors du transfert des nouvelles données acquises au cours du PACES dans la base de données spatiales.

Table CRITEREVALIDATION

La table CRITEREVALIDATION distingue les stations valides ou invalides pour un livrable donné. Les critères de validation correspondent à des tests réalisés sur les données sources pour vérifier leur exactitude. Ces tests sont effectués une fois que les données sur les stations ont été transférées dans la base de données spatiales.

Table DOUBLON

La table DOUBLON identifie les stations en double ou en triple dans le *feature class* STATION. En effet, les stations numérisées proviennent de différentes sources (MTQ, SIH, rapports techniques, etc.) ; dans certains cas, plus d'une source fait référence à la même station sur le terrain. L'identification des doublons est réalisée en trois étapes:

- 1) La sélection de tous les couples de stations susceptibles d'être des doublons à partir de trois critères :
 - ✓ la distance euclidienne inférieure à 200 mètres;
 - ✓ la différence de profondeur de la station inférieure à 1 mètre;
 - ✓ le nombre d'unités stratigraphiques identique.

- 2) La comparaison de la stratigraphie traversée par les doublons probables. Cette comparaison est réalisée en se basant sur deux critères :
 - ✓ la description (code) identique;
 - ✓ la différence d'épaisseur des unités inférieures à 0,2 mètre.

- 3) La validation des résultats obtenus aux étapes (1) et (2).

Les deux premières étapes sont automatisées à l'aide d'une programmation en *Visual Basic Application* (VBA), alors que la troisième doit être réalisée manuellement. Suite à l'identification automatique (étapes 1 et 2) des doublons, on obtient une table reliant les couples de doublons probables à l'aide d'un identifiant unique. Par exemple, si les stations SLSJ0001 et SLSJ3875 sont présumées être des doublons, ils posséderont le même identifiant dans le champ *IdDoublon*. Ces doublons probables sont ensuite vérifiés manuellement (étape 3). Chaque couple de doublons probables est vérifié à l'aide des données originales.

Table DUPLICATCOORD

La table DUPLICATCOORD indique les stations qui possèdent exactement les mêmes coordonnées dans le *feature class* STATION, mais qui n'ont pas peut-être pas été identifiées comme doublon dans la table DOUBLON. Souvent deux stations posséderont exactement les mêmes coordonnées lorsqu'un puits existant est foré à nouveau pour atteindre une plus grande profondeur.

Table SELECTION DES FORAGES

La table SELECTIONDESFORAGES permet d'identifier rapidement toutes les stations valides pour un livrable donné. Pour ce faire, des valeurs limites aux critères de validation (table CRITÈRES DE VALIDATION) requis pour un livrable donné ont été établies. Lorsqu'une station répond aux critères minimaux exigés par un livrable, il obtient la valeur "1" dans le champ portant le numéro du livrable. Dans le cas contraire il obtient la valeur "0". Ensuite, la sélection des stations est réalisée à partir des valeurs obtenues à chacun des critères de validation.

Table SELECTION DES FORAGES (SANS DOUBLON)

La table SELECTIONDESFORAGESANSDOUBLONS permet d'identifier rapidement toutes les stations valides et sans doublon pour un livrable donné. Lorsqu'une paire de stations a été identifiée comme doublon, la station la plus fiable seulement est conservée dans l'élaboration d'un livrable. Pour ce faire, les cotes de fiabilité de la table COTE DE FIABILITÉ sont additionnés et seulement la station ayant la meilleure cote de fiabilité totale est retenue pour ce livrable. Dans la table SELECTION DES FORAGES (SANS DOUBLON), la station la plus fiable présente la valeur "1" sous le champ du livrable alors que la seconde station du doublon présente la valeur "0".

Feature Class LOCALISATIONPUITSETPIEZO

Le *feature class* LOCALISATIONPUITSETPIEZO possède une géométrie ponctuelle et permet de localiser les puits en exploitation ainsi que les piézomètres situés à proximité. Les coordonnées des puits ont été obtenues par D-GPS lors de visites réalisées à l'été 2009 par l'équipe du CERM auprès des municipalités s'approvisionnant en eaux souterraines. Ces visites ont aussi permis d'obtenir de l'information décrivant les puits telle que la profondeur, les débits moyen, minimum et maximum.

Table PUITSENEXPLOITATION COLONNESTRATIGRAPHIQUE

La table PUITSENEXPLOITATION_COLONNESTRATIGRAPHIQUE contient la référence de la colonne stratigraphique et la diagraphie du puits en exploitation. Les colonnes stratigraphiques ont été créées dans le cadre d'un stage (Baudement, 2011)

Table PUITSENEXPLOITATION INFOCAPTAGE

La table PUITSENEXPLOITATION_INFOCAPTAGE permet d'identifier le type de captage (municipal, privé, etc.), le type d'utilisation (approvisionnement en eau potable domestique, industrie, commercial, etc.), le type d'aquifère dans lequel se situe le puits en exploitation et si la nappe d'eau est en milieu libre, confiné ou semi-confiné.

Feature Class GEOPHYSIQUE_LN

Le *feature class* GEOPHYSIQUE_LN possède une géométrie linéaire et correspond à une ligne de levé géophysique réalisée par l'équipe du CERM dans le cadre du PACES.

Table LK STATIONS GEOPHYSIQUELN

La table LK_STATIONS_GEOPHYSIQUELN est une table liaison qui permet de relier les stations de levés géophysiques présentes dans le *feature class* STATION avec une ligne de levé géophysique retrouvée dans le *feature class* GEOPHYSIQUE_LN.

Table ELEVATIONDEM

La table ELEVATIONDEM contient l'élévation à partir du niveau moyen des mers (NMM) de la tête de chaque station présente dans le *feature class* STATION. L'élévation est extraite du modèle numérique d'altitude du MNA de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle du 1: 20 000.

Table ELEVATION NIVEAU EAU

La table ELEVATION_NIVEAU_EAU contient l'élévation à partir du NMM de l'eau présente dans les stations (*feature class* STATION). Cette élévation a été obtenue en soustrayant la profondeur de l'eau de l'élévation indiquée dans la table ELEVATIONDEM.

Table ENVIRONNEMENT

La table ENVIRONNEMENT identifie l'environnement dans lequel se trouve chacune des stations du *feature class* STATION. Il y a onze environnements possibles. Les environnements sont séparés de sorte à n'avoir que du granulaire, argile, roc ou parfois till sur roc. De plus, lorsqu'une couche contient du till, elle est jointe à une autre couche (généralement granulaire). Si le till est directement sur le roc ou la description signifie clairement que c'est du till, la couche est alors présente. Voici les onze environnements possibles :

- 1 - G/A/R Ou G/A/T/R
- 2 - G/A/G/R Ou G/A/G/T/R
- 3 - A/R Ou A/T/R
- 4 - G/R Ou G/T/R
- 5 - A/G/R Ou A/G/T/R
- 6 - Anormal, Contenant plus de deux couches d'argile, G/A/G/A, A/G/A/G , autres
- 7 - G/A
- 8 - A
- 9 - G
- 10 - T/R Ou T
- 11 - R.

Table ESTIMATION DEBIT CALCULE

La table ESTIMATION_DEBIT_CALCULE contient les propriétés hydrauliques calculées à partir des puits du SIH. Les calculs ont été réalisés par Sandra Richard [Richard et al., 2011].

Table ESTIMATION DEBIT CALCULE GRANUL

La table ESTIMATION_DEBIT_CALCULE_GRANULOMETRIE contient les propriétés hydrauliques calculées à partir des analyses granulométriques extraites des rapports d'experts conseil ou celles réalisées par l'équipe du CERM dans le cadre du PACES.

Table TABLESTRATIGRAPHIE GEN NIV2 0 9

La table TABLESTRATIGRAPHIE_GEN_NIV2_0_9 contient la stratigraphie des stations généralisée au niveau 2. Le tableau 4 présente le lien entre les codes facies originaux et les codes facies généralisés au niveau 2.

Tableau 4 - Généralisation niveau 2 de la stratigraphie

Code_facies Original	Code_facies niveau 2	Généralisé
S	S (Sable)	
S1	S (Sable)	
S2	S (Sable)	
S3	S (Sable)	
S1-F1	S (Sable)	
G	G (Gravier)	
G1	G (Gravier)	
G2	G (Gravier)	
G3	G (Gravier)	
D3	G (Gravier)	
D	T (Till)	
D1	T (Till)	
B	T (Till)	
F1	A (Argile)	
F1-S1	A (Argile)	
F2	A (Argile)	
R	R (Roc indifférencié)	
O	IN	
X	IN	
IN	IN	
ES	Fusionné avec la stratigraphie de la couche inférieure	
B-G	T (Till)	
D2	T (Till)	
F	A (Argile)	
F1-S1	A (Argile)	
F2	A (Argile)	

Pour les stations qui atteignent le socle rocheux sans le percer, une épaisseur de 0,9 mètre a été ajoutée dans le champ A_m de la table. Cette épaisseur dans le roc permet seulement de pouvoir visionner cette unité stratigraphique lors de l'interprétation des coupes stratigraphiques.

Table [TABLESTRATIGRAPHIE_GEN_NIV3_0_9](#)

La table TABLESTRATIGRAPHIE_GEN_NIV3_0_9 contient la stratigraphie des stations généralisée au niveau 3. Le tableau 5 présente le lien entre les codes facies originaux et les codes facies généralisés.

Tableau 5 - Généralisation niveau 3 de la stratigraphie

Code_facies Original	Code_facies niveau 3 Généralisé
S	G (Granulaire)
S1	G (Granulaire)
S2	G (Granulaire)
S3	G (Granulaire)
S1-F1	G (Granulaire)
G	G (Granulaire)
G1	G (Granulaire)
G2	G (Granulaire)
G3	G (Granulaire)
D3	G (Granulaire)
D	T (Till)
D1	T (Till)
B	T (Till)
F1	A (Argile)
F1-S1	A (Argile)
F2	A (Argile)
R	R (Roc indifférencié)
O	IN
X	IN
IN	IN
ES	Fusionné avec la stratigraphie de la couche inférieure
B-G	T (Till)
D2	T (Till)
F	A (Argile)
F1-S1	A (Argile)
F2	A (Argile)

Pour les stations qui atteignent le socle rocheux sans le percer, une épaisseur de 0,9 mètre a été ajoutée dans le champ A_m de la table. Cette épaisseur dans le roc permet seulement de pouvoir visionner cette unité stratigraphique lors de l'interprétation des coupes stratigraphiques.

Table **MUNICIPALITE LOCALISATION**

La table MUNICIPALITE_LOCALISATION contient la municipalité dans laquelle se localise chacune des stations. La municipalité peut être différente de la municipalité inscrite dans le champ *Municipalite* présent de la table STATION puisque ce champ indique quelle municipalité a fourni le rapport. Les valeurs seront différentes dans les cas où une municipalité a réalisé des projets de recherche en eau sur le territoire d'une municipalité voisine.

Table EPAISSEUR ARGILE GEN

La table EPAISSEUR_ARGILE_GEN contient l'épaisseur d'argile présente dans la table TABLESTRATIGRAPHIE_GEN_NIV2_0_9.

Table PHOTOS

La table PHOTOS contient toutes les photos prises sur le terrain et associées à une station créée par l'équipe du CERM au cours du PACES

Feature Class CretesMorainiquesTransversales

Le *feature class* CRETESMORAINIQUESTRANSVERSALES possède une géométrie linéaire et permet de localiser les crêtes morainiques. La localisation et la forme de ces unités géologiques ont été extraites d'une carte disponible dans le rapport de *LaSalle et Tremblay, 1978*.

Feature Class DEPOT RETRAIT GLACIAIRE

Le *feature class* DEPOT_RETRAIT_GLACIAIRE possède une géométrie polygonale et contient la localisation et la forme des dépôts laissés au cours de la période du retrait glaciaire. La localisation et la forme de ces unités géologiques ont été extraites d'une carte disponible dans le rapport de *LaSalle et Tremblay, 1978*.

Feature Class POSITIONGLACIER

Le *feature class* POSITIONGLACIER possède une géométrie linéaire et contient la localisation des différentes positions qu'a occupées le glacier au cours de la période du retrait glaciaire. La localisation de ces positions a été extraite d'une carte disponible dans le rapport de *LaSalle et Tremblay, 1978*.

Feature Class FORAGE VIRTUEL

Le *feature class* FORAGE_VIRTUEL possède une géométrie ponctuelle et contient la localisation des forages virtuels générés le long des 134 coupes stratigraphiques créées dans le cadre du PACES.

Table TABLESTRATI FORAGE VIRTUEL

La table TABLESTRATIGRAPHIE_FORAGE_VIRTUEL contient la diagraphie généralisée au niveau 2 des forages virtuels. La séquence de chaque unité stratigraphique est inscrite dans le champ *Sequence* alors que leur profondeur est inscrite dans les champs *De* et *A*. La description des unités correspond aux mêmes codes retrouvés dans la table TABLESTRATIGRAPHIE_GEN_NIV2_0_9.

Feature Class COURBE NIVEAU 200M

Le *feature class* COURBE_NIVEAU_200M possède une géométrie polygonale et contient simplement un polygone créé à partir de la courbe de niveau indiquant l'élévation de 200 mètres dans la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1: 20 000.

Raster Dataset PENTEDUSOL DEG

Le *raster dataset* PENTEDUSOL_DEG possède une résolution de 10 mètres et présente la pente du sol en degré calculée à partir du modèle numérique d'altitude (MNA) de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1: 20 000.

Feature Class AFFECTATIONDUTERRITOIRE

Le *feature class* AffectationDuTerritoire possède une géométrie polygonale et contient les types d'affectation du territoire attribués par le MRC du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

Feature Class PEDOLOGIE

Le *feature class* PEDOLOGIE possède une géométrie polygonale et identifie chaque type de sol avec sa valeur de *curve number* attribuée (Baudement, 2012).

Feature Class DEPOTS SURFACE

Le *feature class* DEPOTS_SURFACE possède une géométrie polygonale et contient les dépôts quaternaires numérisés par photo-interprétation au cours du projet de cartographie des dépôts quaternaires du Saguenay-Lac-Saint-Jean complété en 2011.

Feature Class ESKER

Le *feature class* ESKER possède une géométrie linéaire et contient la localisation et la forme des eskers interprétées par photo-interprétation au cours du projet de cartographie des dépôts quaternaires du Saguenay-Lac-Saint-Jean complété en 2011.

Feature Class FAILLESDUCTILES

Le *feature class* FAILLESDUCTILES possède une géométrie linéaire et contient les zones de cisaillement (failles ductiles) interprétées par Réal Daigneault (CERM, UQAC). L'interprétation des zones de cisaillement a été réalisée en se basant sur les données du SIGEOM lorsqu'elles étaient disponibles puis déduites de la carte du champ magnétique et de la dérivée verticale de ce champ fournie dans le SIGEOM. Outre la zone de déformation de Saint-Fulgence décrite par Hébert et Lacoste (1990), toutes les autres zones de cisaillement sont issues d'une nouvelle interprétation.

Feature Class FAILLEFRAGILES

Le *feature class* FAILLEFRAGILES possède une géométrie linéaire et contient les failles interprétées par Réal Daigneault (CERM, UQAC). L'interprétation a été réalisée en se basant sur celles retrouvées dans le SIGEOM lorsqu'elles étaient disponibles puis déduites de la carte du champ magnétique et de la dérivée verticale de ce champ fournie dans le SIGEOM. Seules les failles jugées significatives se retrouvent dans ce *feature class*.

Feature Class LINEAMENTSGRAINLITHO

Le *feature class* LINEAMENTSGRAINLITHO possède une géométrie linéaire et contient les linéaments correspondant aux grains lithologiques interprétés par Réal Daigneault (CERM, UQAC).

Feature Class LINEAMENTS

Le *feature class* LINEAMENTS possède une géométrie linéaire et contient les linéaments interprétés par Réal Daigneault (CERM, UQAC). Ces linéaments représentent des fractures et peuvent correspondre dans certains cas à des failles mineures.

Feature Class LINEAMENTSSOUSCOUVERTURE

Le *feature class* LINEAMENTSSOUSCOUVERTURE possède une géométrie linéaire et contient les linéaments partiellement masqués sous la couverture des dépôts meubles interprétés par Réal Daigneault (CERM, UQAC).

Feature Class ZONESGEOLOGIQUES

Le *feature class* ZONEGEOLOGIQUES possède une géométrie polygonale et contient les zones géologiques généralisées par Réal Daigneault (CERM, UQAC) à partir du Système d'information géominière (SIGEOM, 2010) du ministère des Ressources naturelles (MRN). Cette généralisation consiste à fusionner des polygones contigus de lithologie semblable et les regrouper dans des classes significatives. La délimitation des calcaires ordoviciens a fait l'objet d'une redéfinition à partir des données de forages acquises dans le cadre du PACES-SLSJ ainsi qu'à partir de l'analyse linéamentaire à partir du modèle numérique d'altitude à l'échelle 1: 20 000 (MNA 20K) du MRN.

Feature Class COUPESTRATI-SECTIONLINEAHGW

Le *feature class* SECTIONLINE situé dans le *dataset* COUPESSTATIGRAPHIQUES_AHGW possède une géométrie linéaire et localise la trace des 134 coupes stratigraphiques réalisées par l'équipe du CERM pour le PACES.

Table LK_SECTIONLINE_STATION

La table LK_SECTIONLINE_STATION est une table liaison qui permet de relier les stations du *feature class* STATION qui ont été utilisées dans la création d'une coupe stratigraphique avec la trace de la coupe stratigraphique retrouvée dans le *feature class* SECTIONLINE.

Feature Class COUPESTRATI-GEOSECTIONAHGW

Le *feature class* GEOSECTION situé dans le *dataset* COUPESSTATIGRAPHIQUES_AHGW possède une géométrie *MultiPatch* et contient les interprétations des unités géologiques présentes dans les 134 coupes stratigraphiques.

Raster Dataset EPAISSEURDESDEPOTSMEUBLES

Le *raster dataset* EPAISSEURDESDEPOTSMEUBLES possède une résolution de 250 mètres et présente l'épaisseur des dépôts meubles en mètre obtenue suite à une interpolation par krigeage ordinaire de l'épaisseur des dépôts indiquée par les forages virtuels et par les affleurements.

Raster Dataset TOPOGRAPHIEDUROC

Le *raster dataset* TOPOGRAPHIEDUROC possède une résolution de 10 mètres et présente l'élévation en mètre du toit du roc par rapport au niveau moyen des mers (NMM) obtenue en soustrayant les valeurs du *raster dataset* EpaisseurDesDepotsMeubles du modèle numérique d'altitude (MNA) de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1: 20 000.

TIN TOPOGRAPHIEDUROC TIN

Le *tin* TOPOGRAPHIEDUROC_TIN présente l'élévation en mètre du toit du roc par rapport au niveau moyen des mers (NMM) à partir d'un réseau de triangles irréguliers créés en respectant la méthode de création des triangles de Delaunay. Le réseau de triangle est créé entre les forages virtuels et les affleurements.

Raster Dataset PIEZOMETRIE_REGIONALE

Le *raster dataset* PIEZOMETRIE_REGIONALE possède une résolution de 250 mètres et présente l'élévation en mètre de la nappe d'eau par rapport au niveau moyen des mers (NMM) obtenu suite à l'interpolation avec la méthode *Topo to raster* des points hydrographiques générés à

partir du réseau hydrographique surfacique de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1: 20 000.

Feature Class PIEZOMETRIEREGIONALE_ISOCONTOUR_HT

Le *feature class* PIEZOMETRIEREGIONALE_ISOCONTOUR_HT possède une géométrie linéaire et contient les lignes piézométriques à un intervalle de 20 mètres.

Feature Class PIEZOMETRIEREGIONALE_ISOCONTOUR_BT

Le *feature class* PIEZOMETRIEREGIONALE_ISOCONTOUR_BT possède une géométrie linéaire et contient les lignes piézométriques à un intervalle de 10 mètres.

Feature Class MILIEUXIMPERMEABLES_INTERPRETES

Le *feature class* MILIEUXIMPERMEABLES_INTERPRETES possède une géométrie polygonale et définit la limite des milieux aquitards situés sous la surface.

Feature Class MILIEUXAQUIFERES_FLUVIOGLACIAIRE

Le *feature class* MILIEUXAQUIFERES_INTERPRETES possède une géométrie polygonale et définit la limite des milieux aquifères correspondant à des dépôts d'origine fluvioglaciaire situés en surface.

Feature Class MILIEUXAQUIFERE_FLUVIOGLACIAIRE_INTERPRETES

Le *feature class* MILIEUXAQUIFERES_INTERPRETES possède une géométrie polygonale et définit la limite des milieux aquifères correspondant à des dépôts de fluvioglaciaire situés sous la surface.

Feature Class MILIEUXAQUIFERES_NONDIFFERENCIES

Le *feature class* MILIEUXAQUIFERES_NONDIFFERENCIES possède une géométrie polygonale et définit la limite des milieux aquifères correspondant à différents dépôts granulaires situés en surface.

Feature Class MILIEUXIMPERMEABLES

Le *feature class* MILIEUXIMPERMEABLES possède une géométrie polygonale et définit la limite des milieux aquitards situés en surface.

Raster Dataset D PROFONDEURDELEAU

Le *raster dataset* correspond au paramètre *D – Profondeur de l'eau*, l'un des intrants dans le calcul de la vulnérabilité des aquifères selon DRASTIC. Ce *raster dataset* présente la profondeur de la nappe d'eau obtenue en soustrayant le *raster dataset* *Piezometrie_regionale* du modèle numérique d'altitude (MNA) de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1: 20 000.

Raster Dataset R RECHARGE

Le *raster dataset* correspond au paramètre *R – Recharge*, l'un des intrants dans le calcul de la vulnérabilité des aquifère selon DRASTIC. Ce *raster dataset* possède une résolution de 250 mètres et présente la recharge annuelle obtenue en calculant une moyenne des valeurs de recharge annuelle sur 10 années (de 2000 à 2009). La valeur de recharge annuelle a été calculée avec une méthode développée dans le cadre d'un stage (Baudement, 2012) et qui fait appel aux apports verticaux ainsi qu'à la méthode *Curve Number*. La méthode *Curve Number* nécessite

d'identifier les types de sol et la carte pédologique du MAPAQ a alors été choisie comme source d'information. La recharge a ensuite été calculée en appliquant cette nouvelle méthode à l'ensemble du territoire à l'étude (Gautier, 2012). Cependant, certains secteurs situés à l'intérieur de la zone d'étude ne sont pas couverts par la carte pédologique; aucune valeur de recharge n'a pu leur être assignée. Aussi, les artéfacts retrouvés sur le *raster dataset* R_RECHARGE découlent du fait que les apports verticaux sont estimés sur des parcelles de 10 km² environ.

Raster Dataset A PREMIERAQUIFERERENCONTRE

Le *raster dataset* correspond au paramètre A – *Milieu aquifère*, l'un des intrants dans le calcul de la vulnérabilité des aquifère selon DRASTIC. Ce *raster dataset* possède une résolution de 250 mètres et présente l'unité aquifère située le plus près de la surface.

Raster Dataset S TYPEDESOL

Le *raster dataset* correspond au paramètre S– *Type de sol*, l'un des intrants dans le calcul de la vulnérabilité des aquifère selon DRASTIC. Ce *raster dataset* possède une résolution de 250 mètres et présente le type de sol retrouvé en surface. Les types de sol proviennent du *feature class* *Pedologie*.

Raster Dataset T PENTEDUSOL PCT

Le *raster dataset* correspond au paramètre T - *Pente du terrain*, l'un des intrants dans le calcul de la vulnérabilité des aquifère selon DRASTIC. Ce *raster dataset* possède une résolution de 250 mètres et présente la pente du sol en pourcentage, calculée à partir du modèle numérique d'altitude (MNA) de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) à l'échelle 1: 20 000.

Raster Dataset I IMPACTZONEVADOSE

Le *raster dataset* correspond au paramètre I– *Impact de la zone vadose*, l'un des intrants dans le calcul de la vulnérabilité des aquifère selon DRASTIC. Ce *raster dataset* possède une résolution de 250 mètres et présente le type de dépôt présent en surface. Les types de dépôts proviennent du *feature class* *DepotDeSurface*.

Raster Dataset VULNERABILITE DES AQUIFERES

Le *raster dataset* VULNERABILITE_DES_AQUIFERES possède une résolution de 250 mètres et présente la vulnérabilité de l'aquifère situé le plus près de la surface. La vulnérabilité a été calculée à partir de la méthode DRASTIC. Cette méthode tient compte de sept facteurs qui sont représentés par chacune des lettres de l'acronyme DRASTIC :

D : Profondeur de la nappe d'eau (*Depth to water*);

R : Recharge ou infiltration efficace (*Recharge*);

A : Milieu aquifère (*Aquifer media*);

S : Type de sol (*Soil media*);

T : Pente du terrain (*Topography*);

I : l'impact de la zone vadose (*Impact of vadose*);

C : Conductivité hydraulique (*Conductivity*).

Feature Class UTILISATIONDELEAU

Le *feature class* UTILISATIONDELEAU possède une géométrie ponctuelle qui a été générée à partir des centroïdes des 49 municipalités du Saguenay-Lac-Saint-Jean ainsi que celui du territoire autochtone de Mashteuiatsh. Cette table contient la proportion de l'utilisation de

l'eau de surface et de l'eau souterraine des municipalités. Elle contient aussi la proportion de l'utilisation de l'eau souterraine selon le type d'activité (agricole, industrielle ou domestique).

Table QUALITEEAUSOUTERRAINE

La table QUALITEEAUSOUTERRAINE contient les dépassements identifiés dans les 316 analyses hydrogéochimiques respectant la balance ionique (électroneutralité) de l'eau et obtenues suite à la campagne d'échantillonnage réalisée par l'équipe du CERM au cours de l'été 2010, 2011 et 2012.

Feature Class STATION HYDROMETRIQUE

Le *feature class* STATION_HYDROMÉTRIQUE possède une géométrie ponctuelle et contient la localisation des stations hydrométriques du Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) et de la base de données hydrométriques d'Environnement Canada (HYDAT). Les données descriptives d'une station hydrométrique contiennent le débit en m³/s et/ou le niveau en mètre. De ces données sont extraites des statistiques journalières ou mensuelles (moyenne, minimum, maximum, écart-type, etc.) qui se retrouvent aussi dans les données descriptives des stations. Les données ont été enregistrées entre 1912 et 2010 selon les stations hydrométriques. L'état des stations (actives, inactives) correspond à celui affiché en 2010.

Feature Class STATION METEO

Le *feature class* STATION_METEO possède une géométrie ponctuelle et contient la localisation des stations météorologiques provinciales provenant du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) et des stations fédérales provenant du site d'Environnement Canada. Les stations météorologiques recueillent des données quotidiennes sur les températures (maximale, minimale et moyenne), les précipitations de pluie (en mm), les précipitations de neige (en cm) et sur l'accumulation de la neige au sol (épaisseur). Des données rapportées au mois avec les mêmes indicateurs sont également disponibles. Les données sont exploitables à partir d'un logiciel mis en place par Environnement Canada. L'état des stations (actives, inactives) correspond à celui affiché en 2010.

Feature Class LIMITEZONERECHARGEPREFERENTIELLE

Le *feature class* LIMITEZONERECHARGEPREFERENTIELLE possède une géométrie polygonale et contient la limite des zones de recharge préférentielle. Ces limites correspondent aux limites des milieux aquifères présents en surface localisés sur la carte #18 - Épaisseur et limites des aquifères régionaux.

Raster Dataset ZONESDERECHARGEPREFERENTIELLE

Le *raster dataset* ZONEDERECHARGESPREFERENTIELLES possède une résolution de 250 mètres et contient la recharge annuelle en mm/an à l'intérieur des limites des zones de recharge préférentielle. Les valeurs de recharge annuelle ont été extraites du *raster dataset* R_RECHARGE.

Feature Class LIMITEDELARECHARGEALCULEE

Le *feature class* LIMITEDELARECHARGEALCULEE possède une géométrie polygonale et contient la limite du *raster dataset* RECHARGE. En effet, certains secteurs situés à l'intérieur de la zone d'étude ne sont pas couverts par la carte pédologique qui est une donnée nécessaire pour le calcul de la recharge. Ainsi aucune valeur de recharge n'a pu leur être assignée.

Table UtilisationStationLivvable

La table UTILISATIONSTATIONLIVRABLE indique les stations qui ont été utilisées dans les livrables. Seulement les livrables nécessitant l'information d'une station se retrouvent dans cette table. Ces livrables sont : coupes stratigraphiques (Livable14), épaisseur des dépôts meubles (Livable15), topographie du roc (Livable16), paramètres hydrogéologiques (Livable21), qualité de l'eau - CMA (Livable24), qualité de l'eau – OE (Livable25)

Table ValidationSationLivvable

La table VALIDATIONSTATIONLIVRABLE indique les stations qui ont été utilisées pour la validation des livrables. Seulement les livrables interpolés et pouvant être validés à partir des données fournies sur les stations se retrouvent dans cette table. Ces livrables sont : épaisseur des dépôts meubles (Livable15) et piézométrie régionale (Livable19-20).

Table NiveauDeDiffusion

La table NIVEAUDEDIFFUSION indique le niveau de diffusion permis pour les données rattachées aux stations. Voici à quoi correspondent les valeurs retrouvées dans la base de données spatiales :

Niveau 1 : Utilisation exclusive des données dans le cadre de la réalisation des projets du PACES

Les données de niveau 1 sont nécessaires à la réalisation d'un projet du PACES, mais ne peuvent pas être utilisées à d'autres fins. Au terme d'un projet, les équipes de réalisation et leurs partenaires devront détruire les données. Toutefois, si elles sont transmises au MDDEFP, ces données seront archivées. Advenant une éventuelle mise à jour des résultats d'un projet, le MDDEFP pourra réutiliser ces données.

Niveau 2 : Utilisation interne des données à tout le ministère (Diffusion Intranet)

L'utilisateur Intranet (MDDEFP) pourra se servir des données, mais ne pourra pas les diffuser/transférer d'aucune façon.

Niveau 7 : Aucune restriction légale sur les données

Le MDDEFP possèdera tous les droits lui permettant de communiquer au public, par quelque moyen que ce soit (incluant Internet) les données.

À titre d'exemple, toutes les données produites finales du PACES se retrouveront dans cette catégorie (conformément à la Convention de subvention).

Annexe 4: Attribution des valeurs de CN selon le type de sol (1),
la granulométrie dominante (2) et la granulométrie secondaire (3)

Critères de description du sol	CN	h _s (mm)	h _{ia} (mm)
Graveleux¹			
non-différenciées ²			
Squelettique sableux ³	25	762,00	152,40
Squelettique loameux ³	27	686,74	137,35
Sableux ³	30	592,67	118,53
Sableux¹			
non-différenciées ²			
Sableux ³	33	515,70	103,14
Loameuse Grossière ³	36	451,56	90,31
Argileuse ²			
Sableux ³	39	397,28	79,46
Loameuse Grossière ³	42	350,76	70,15
Limoneuse Grossière ³	45	310,44	62,09
Alluvions Non différenciés¹	47	286,43	57,29
Loameux¹			
Squelettique sableux ²			
Loameuse Grossière ³	48	275,17	55,03
Sableux ²			
Loameuse Grossière ³	51	244,04	48,81
non-différenciées ²			
Loameuse Grossière ³	56	199,57	39,91
Loameuse ³	61	162,39	32,48
Limoneuse Grossière ³	66	130,85	26,17
Limoneuse Fine ³	71	103,75	20,75
Argileuse ²			
Argileuse Fine ³	75	84,67	16,93
Argileuse ²			
Limoneuse Fine ³	80	63,50	12,70
Tills¹			
non-différenciées ²			
Loameuse Grossière ³	84	48,38	9,68
Loameuse ³	86	41,35	8,27
Argileux¹			
non-différenciées ²			
Argileuse Fine ³	88	34,64	6,93
Argileuse très Fine ³	91	25,12	5,02
Tourbes¹	91	25,12	5,02
Terres Noires¹	91	25,12	5,02
Affleurements Rocheux¹	94	16,21	3,24

Annexe 5: Tableaux statistiques de l'hydrogéochimie des 4 groupes d'eaux définis
dans le cadre du PACES-SLSJ

(Na, Ca)-HCO₃ – milieux aquifères fracturés

Paramètres	Lim. détect. (mg/L)	N détect.	Min.	25%	Médiane	75%	Max.
pH	-	127	4,5	7,3	7,9	8,5	9,7
Température (°C)	-	127	1,7	6,9	7,2	8,0	13,2
Ox. dissous (mg/L)	-	127	0	0	0	1,0	25,1
Eh (mV)	-	127	-156	-61,3	-12,3	91,7	139,0
Cond. spé. (uS/cm)	-	127	4	235	324	448	1941
MDT estimée (mg/L)	-	127	75	201	280	362	639
Alc. Tot. (mg/L)	1	127	33	96,5	130	180	290
Si (mg/L)	0,1	127	2,4	4,9	5,5	6,55	16
Na (mg/L)	0,1	127	2	7,5	25	56,5	450
K (mg/L)	0,1	126	0,12	1,3	1,8	3,27	14
Cl (mg/L)	0,05	126	0,49	3,52	10	34	390
Ca (mg/L)	0,1	125	0,12	11	28	46	110
SO ₄ (mg/L)	0,5	124	0,7	8,67	14,5	18	130
Mg (mg/L)	0,02	123	0,02	2,45	4,4	6,95	26
Sr (mg/L)	0,002	123	0,003	0,13	0,34	0,78	4,3
Mn (mg/L)	0,0004	119	0,0004	0,005	0,0140	0,0395	1
Dureté estimée (mg/L)	1	118	0,39	37,74	88,38	150,95	340,55
F (mg/L)	0,1	117	0,1	0,4	0,8	1,6	4,9
B (mg/L)	0,005	116	0,005	0,024	0,049	0,110	0,750
Ba (mg/L)	0,002	115	0,003	0,028	0,077	0,145	1,2
Al (mg/L)	0,001	113	0,001	0,004	0,007	0,011	0,230
NH ₄ (mg N/l)	0,02	113	0,02	0,05	0,1	0,21	0,79
Mo (mg/L)	0,0005	103	0,0005	0,0011	0,0020	0,0032	0,0240
Zn (mg/L)	0,005	103	0,002	0,007	0,013	0,024	0,350
Pb (mg/L)	0,0001	83	0,0001	0,0002	0,0003	0,0006	0,0020
Cu (mg/L)	0,0005	81	0,0005	0,0013	0,0035	0,0120	0,2600
Fe (mg/L)	0,1	52	0,03	0,06	0,12	0,27	13
NO ₂ -NO ₃ (mg/L)	0,1	45	0,02	0,10	0,21	0,70	4,4
Ag (mg/L)	0,0001	43	0,00011	0,00014	0,00022	0,00035	0,0019
U (mg/L)	0,001	42	0,001	0,0014	0,0023	0,0050	0,02
Ni (mg/L)	0,001	30	0,0010	0,0011	0,0013	0,0025	0,02
Cr (mg/L)	0,0005	20	0,0005	0,0007	0,0009	0,0016	0,011
Li (mg/L)	0,01	16	0,010	0,011	0,012	0,016	0,018
Br (mg/L)	0,1	14	0,10	0,20	0,35	0,5	1,6
Sulfures (mg/L)	0,02	9	0,03	0,04	0,11	0,21	16
V (mg/L)	0,002	7	0,0023	0,0026	0,0026	0,0032	0,012
Cd (mg/L)	0,0002	6	0,0003	0,0004	0,0006	0,00067	0,00073
Sb (mg/L)	0,001	5	0,0010	0,0012	0,0016	0,0020	0,0022
P. inorg. (mg/L)	0,03	4	0,05	0,24	0,33	0,39	0,5
Ti (mg/L)	0,001	2	0,0010	0,0011	0,0012	0,0012	0,0013
Be (mg/L)	0,0005	1	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
Bi (mg/L)	0,00025	1	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
Co (mg/L)	0,0005	1	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
Sn (mg/L)	0,001	1	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
Se (mg/L)	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
As (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-

(Na, Ca)-HCO₃ – milieux aquifères granulaires

Paramètres	Lim. détect. (mg/L)	N détect	Min.	25%	Médiane	75%	Max.
pH	-	144	4,4	6,0	6,9	7,8	9,3
Température (°C)	-	144	4,0	6,8	7,7	9,5	17,5
Ox. dissous (mg/L)	-	144	0	1,4	3,95	7,64	43,7
Eh (mV)	-	144	-125,5	45,1	91,5	109,5	143,4
Cond. spé. (uS/cm)	-	144	9	65	152	284	769
MDT estimée (mg/L)	-	144	15	60	167	279	778
Alc. Tot. (mg/L)	1	144	6	25	70	140	370
Ca (mg/L)	0,1	144	1,20	7,17	16,50	45,00	130
Mg (mg/L)	0,02	144	0,15	0,95	2,4	6,25	27
Si (mg/L)	0,1	144	0	4,5	5,7	7,6	14
Sr (mg/L)	0,002	144	0,01	0,04	0,08	0,19	0,96
Na (mg/L)	0,1	143	0,89	1,75	3,40	9,30	140
K (mg/L)	0,1	142	0,14	0,69	1,30	2,70	7,50
SO ₄ (mg/L)	0,5	142	0,20	3,30	5,15	9,85	41
Cl (mg/L)	0,05	141	0,14	0,80	3,10	9,60	150
Ba (mg/L)	0,002	138	0,002	0,010	0,021	0,048	0,3
Dureté estimée (mg/L)	1	132	4,03	21,65	67,87	133,21	431,67
Al (mg/L)	0,001	130	0,0015	0,0044	0,0081	0,021	0,16
Zn (mg/L)	0,005	121	0,002	0,010	0,018	0,057	0,71
Mn (mg/L)	0,0004	117	0,0004	0,0014	0,007	0,047	2,4
Cu (mg/L)	0,0005	115	0,0005	0,0020	0,0055	0,0135	0,35
Pb (mg/L)	0,0001	111	0,0001	0,0002	0,0003	0,0007	0,0073
NH ₄ (mg N/l)	0,02	101	0,02	0,04	0,06	0,09	0,85
NO ₂ -NO ₃ (mg/L)	0,1	94	0,02	0,10	0,32	0,98	8,60
B (mg/L)	0,005	79	0,005	0,007	0,012	0,020	0,220
F (mg/L)	0,1	71	0,1	0,1	0,2	0,5	2,3
Fe (mg/L)	0,1	59	0,03	0,06	0,13	1	13
Mo (mg/L)	0,0005	55	0,0005	0,0007	0,0015	0,0025	0,0086
Ni (mg/L)	0,001	37	0,0010	0,0014	0,0018	0,0039	0,011
Ag (mg/L)	0,0001	36	0,00010	0,00013	0,00018	0,00030	0,00095
Cr (mg/L)	0,0005	22	0,0005	0,0007	0,0010	0,0014	0,0021
V (mg/L)	0,002	13	0,0020	0,0022	0,0027	0,0039	0,0069
U (mg/L)	0,001	13	0,0010	0,0011	0,0018	0,0023	0,0089
Co (mg/L)	0,0005	11	0,0006	0,0011	0,0021	0,0026	0,0066
P. inorg. (mg/L)	0,03	9	0,04	0,05	0,07	0,08	0,5
Sb (mg/L)	0,001	4	0,0011	0,0013	0,0023	0,0036	0,0052
Sulfures (mg/L)	0,02	4	0,02	0,05	0,18	0,31	0,32
Li (mg/L)	0,01	3	0,011	0,012	0,013	0,015	0,018
Cd (mg/L)	0,0002	3	0,00021	0,00025	0,00028	0,00031	0,00033
Br (mg/L)	0,1	2	0,200	0,250	0,300	0,35	0,40
Be (mg/L)	0,0005	1	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Sn (mg/L)	0,001	1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ti (mg/L)	0,001	1	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Bi (mg/L)	0,00025	0	-	-	-	-	-
As (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
Se (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-

(Na, Ca)-Cl – milieux aquifères fracturés

Paramètres	Lim. détect.	N détect.	Min.	25%	Médiane	75%	Max.
pH	-	26	7,0	7,6	7,7	8,1	10,1
Température (°C)	-	26	6,6	7,1	7,4	8,4	10
Ox. dissous (mg/L)	-	26	0	0	0	0,07	7,6
Eh (mV)	-	26	-115,4	-53,3	-30,0	80,7	195,2
Cond. spé. (uS/cm)	-	26	510	671	1981	3394,5	10140
MDT estimée (mg/L)	-	26	390	497	916	1886	7240
Alc. Tot. (mg/L)	1	26	5	96,75	130	190	620
Ca (mg/L)	0,1	26	2,1	33,25	75,5	177,5	1500
Mg (mg/L)	0,02	26	3	5,48	12	24,5	140
K (mg/L)	0,1	26	0,54	2,02	3,6	8,17	37
Si (mg/L)	0,1	26	0,22	5,05	5,5	7,33	11
Sr (mg/L)	0,002	26	0,19	0,7	1,6	6,28	37
Ba (mg/L)	0,002	26	0,01	0,03	0,09	0,25	0,41
B (mg/L)	0,005	26	0,01	0,07	0,23	0,35	0,75
F (mg/L)	0,1	26	0,1	0,72	1,05	1,68	4,3
Cl (mg/L)	0,05	26	64	130	330	867,5	4200
Dureté estimée (mg/L)	1	26	49,68	131,88	231,26	699,54	3757,86
Na (mg/L)	0,1	26	20	77,25	205	455	1800
SO4 (mg/L)	0,5	26	1	15,5	39	78	420
Al (mg/L)	0,001	25	0,002	0,004	0,006	0,009	0,058
Mn (mg/L)	0,0004	24	0,001	0,023	0,054	0,078	1,1
Mo (mg/L)	0,0005	23	0,0006	0,0013	0,0023	0,006	0,019
NH4 (mg N/l)	0,02	23	0,03	0,11	0,51	1,25	3
Zn (mg/L)	0,005	22	0,0016	0,0056	0,012	0,020	0,100
Br (mg/L)	0,1	20	0,2	1,8	2,8	11	45
Fe (mg/L)	0,1	20	0,03	0,09	0,15	0,35	18
Pb (mg/L)	0,0001	15	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0015
Li (mg/L)	0,01	13	0,01	0,01	0,04	0,08	0,57
Cu (mg/L)	0,0005	13	0,001	0,001	0,002	0,013	0,054
Ag (mg/L)	0,0001	10	0,0001	0,0002	0,0005	0,0013	0,0090
U (mg/L)	0,001	8	0,001	0,002	0,002	0,003	0,010
Ni (mg/L)	0,001	6	0,001	0,001	0,002	0,008	0,015
P. inorg. (mg/L)	0,03	5	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07
Cr (mg/L)	0,0005	3	0,0009	0,0013	0,0017	0,0021	0,0024
NO2-NO3 (mg/L)	0,1	3	0,10	0,11	0,11	0,66	1,20
V (mg/L)	0,002	2	0,0021	0,0021	0,0022	0,0023	0,0023
Sulfures (mg/L)	0,02	2	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40
Co (mg/L)	0,0005	1	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
Be (mg/L)	0,0005	0	-	-	-	-	-
Bi (mg/L)	0,00025	0	-	-	-	-	-
Sn (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
Ti (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
Sb (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
As (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
Cd (mg/L)	0,0002	0	-	-	-	-	-
Se (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-

(Na, Ca)-Cl – milieux aquifères granulaires

Paramètres	Lim. détect.	N détect	Min.	25%	Médiane	75%	Max.
pH	-	19	4,9	5,5	6,7	7,4	8,7
Température (°C)	-	19	7,4	7,8	8,9	9,9	16,5
Ox. dissous (mg/L)	-	19	0	1	1,94	4,14	7,2
Eh (mV)	-	19	-29,0	27,9	93,7	108,2	133,9
Cond. spé. (uS/cm)	-	19	64	287	829	1945	8940
MDT estimée (mg/L)	-	19	49	132	507	1250	5559
Alc. Tot. (mg/L)	1	19	2	17	100	215	570
Ca (mg/L)	0,1	19	2,2	12,5	21	72,5	200
Mg (mg/L)	0,02	19	0,31	1,05	13	16,5	100
K (mg/L)	0,1	19	0,4	1,3	2,8	13,5	55
Si (mg/L)	0,1	19	1,3	4,3	6	7,95	14
Sr (mg/L)	0,002	19	0,02	0,14	0,36	0,72	7,8
Ba (mg/L)	0,002	19	0,01	0,04	0,06	0,09	0,65
Cl (mg/L)	0,05	19	9,5	48	180	325	2700
Dureté estimée (mg/L)	1	19	6,77	54,66	121,56	305,36	588,67
Na (mg/L)	0,1	19	3,3	15	89	275	1600
SO4 (mg/L)	0,5	19	1,9	5,15	12	44,5	330
Al (mg/L)	0,001	17	0,002	0,005	0,013	0,029	0,17
Mn (mg/L)	0,0004	17	0,004	0,011	0,031	0,071	0,3
Pb (mg/L)	0,0001	16	0,0001	0,0002	0,0003	0,0009	0,0021
Zn (mg/L)	0,005	16	0,01	0,01	0,01	0,03	0,15
NH4 (mg N/l)	0,02	15	0,04	0,05	0,37	0,65	2,20
B (mg/L)	0,005	13	0,01	0,01	0,1	0,36	0,57
NO2-NO3 (mg/L)	0,1	12	0,06	0,33	0,6	1,23	3,7
Cu (mg/L)	0,0005	11	0,001	0,002	0,01	0,02	0,08
Fe (mg/L)	0,1	11	0,04	0,14	0,19	3,2	13
Mo (mg/L)	0,0005	8	0,001	0,002	0,002	0,003	0,01
F (mg/L)	0,1	8	0,1	0,72	1,35	1,73	2,9
Ag (mg/L)	0,0001	6	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003
Br (mg/L)	0,1	6	1,1	1,53	4,3	7,75	10
Ni (mg/L)	0,001	5	0,001	0,002	0,002	0,003	0,01
Co (mg/L)	0,0005	4	0,0008	0,0009	0,0010	0,0010	0,0012
P. inorg. (mg/L)	0,03	4	0,05	0,058	0,065	0,08	0,11
Li (mg/L)	0,01	3	0,012	0,015	0,018	0,024	0,031
Cr (mg/L)	0,0005	3	0,0005	0,0007	0,0010	0,0024	0,0038
U (mg/L)	0,001	3	0,0011	0,0014	0,0018	0,0019	0,0021
Sn (mg/L)	0,001	2	0,0012	0,0018	0,0023	0,0029	0,0034
As (mg/L)	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Be (mg/L)	0,0005	0	-	-	-	-	-
Bi (mg/L)	0,00025	0	-	-	-	-	-
Ti (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
V (mg/L)	0,002	0	-	-	-	-	-
Sb (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
Cd (mg/L)	0,0002	0	-	-	-	-	-
Se (mg/L)	0,001	0	-	-	-	-	-
Sulfures (mg/L)	0,02	0	-	-	-	-	-

Annexe 6 : Chartes de consommation végétale et animale MAPAQ

CODE ET DESCRIPTION DES TYPES DE PRODUCTIONS VÉGÉTALES					
Code	Description	Taux (mm/an) (par unité de surface de 1 ha -	Surface irriguée (%)	Source (taux)	Source (surf. irr.)
UEV_NO_MAT	Numéro matricule de l'unité d'évaluation				
ABRI_AUTRF	Cultures abritées - Autres fleurs coupées	800	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_CONCO	Cultures abritées - Concombres	882	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_FINEH	Cultures abritées - Fines herbes	819	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_FLEUR	Cultures abritées - Fleurs annuelles en caissette, jard	276	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_LAITU	Cultures abritées - Laitue	821	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_PIMEN	Cultures abritées - Piments	882	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_PLANT	Cultures abritées - Plantes vertes	709	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_PLA_1	Cultures abritées - Plantes vivaces	422	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_PLA_2	Cultures abritées - Plants de légumes en caissette jar	213	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_PLA_3	Cultures abritées - Plants de légumes en caissette ch	484	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_PLANF	Cultures abritées - Plants forestiers	502	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_POTEE	Cultures abritées - Potées fleuries	240	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_ROSEC	Cultures abritées - Roses coupées	800	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
ABRI_TOMAT	Cultures abritées - Tomates	882	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
FRUI_BLEUC	Fruits - Bleuets Corymbes ou géants	224	90	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem
FRUI_BLEUN	Fruits - Bleuets Nains	60	90	Technorem	MAPAQ, cité par technorem
FRUI_CANNE	Fruits - Canneberges	13500	100	BPR	BPR
FRUI_CANTA	Fruits - Cantaloups	75	70	MAPAQ (Comm. pers.	MAPAQ (Comm. pers. Mario Leblanc)
FRUI_FRAIS	Fruits - Fraises à Haute densité	224	75	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
FRUI_FRA_1	Fruits - Fraises conventionnelles	224	75	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
FRUI_FRA_2	Fruits - Fraises d'automne	224	75	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
FRUI_FRA_3	Fruits - Fraisiers	224	75	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
FRUI_FRAMB	Fruits - Framboises	224	75	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
FRUI_FRA_4	Fruits - Framboises d'automne	224	75	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
FRUI_MELON	Fruits - Melon	75	70	MAPAQ (Comm. pers.	MAPAQ (Comm. pers. Mario Leblanc)
HOCO_ARBRE	Horticulture ornementale en conteneur - Arbres feuillus	502	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
HOCO_ARBUS	Horticulture ornementale en conteneur - Arbustes	502	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
HOCO_CONIF	Horticulture ornementale en conteneur - Conifères	502	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
HOCO_PLANT	Horticulture ornementale en conteneur - Plantes vivace	422	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
HOCO_PLANF	Horticulture ornementale en conteneur - Plants forestie	502	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
HOCO_ROSIE	Horticulture ornementale en conteneur - Rosiers	800	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_AIL	Légumes frais - Ail	75	20	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_ASPEP	Légumes frais - Asperge	50	20	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_AUBER	Légumes frais - Aubergine	80	80	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_BETTE	Légumes frais - Betterave	25	10	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_BROCO	Légumes frais - Brocoli	100	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CAROT	Légumes frais - Carotte	75	20	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CELER	Légumes frais - Céleri	200	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CEL_1	Légumes frais - Céleri-rave (céleri-racine, céleri-racine)	200	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CERIS	Légumes frais - Cerise de terre	75	70	MAPAQ (Comm. pers. Mario	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CHOU	Légumes frais - Chou	50	30	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CHOUC	Légumes frais - Chou chinois	50	30	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CHOUB	Légumes frais - Chou de Bruxelles	50	30	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_CHOUF	Légumes frais - Chou-fleur	125	90	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_CITRO	Légumes frais - Citrouille	40	15	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_CONCO	Légumes frais - Concombre	60	70	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Isabelle Couture du
LEGF_COURG	Légumes frais - Courge	60	70	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Isabelle Couture du
LEGF_ECHAF	Légumes frais - Échalote française	75	25	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Isabelle Couture du
LEGF_EPINA	Légumes frais - Épinard	100	80	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_FINEH	Légumes frais - Fines herbes	30	30	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_GOURG	Légumes frais - Gourgane	50	10	(Comm. pers. Isabelle	(Comm. pers. Isabelle Beaudin)
LEGF_HARIC	Légumes frais - Haricot	50	10	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_LAITU	Légumes frais - Laitue	125	100	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_MAISS	Légumes frais - Maïs sucré	60	5	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_MESCL	Légumes frais - Mesclun	250	100	MAPAQ (Comm. pers. Mario	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_NAVET	Légumes frais - Navet (rabiote, chair blanche)	175	30	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_OIGNO	Légumes frais - Oignon	75	25	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_OIGNE	Légumes frais - Oignon espagnol	75	25	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_OIGNV	Légumes frais - Oignon vert	75	25	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_ECHAL	Légumes frais - Oignon vert (échalote)	60	80	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_PANAI	Légumes frais - Panais	75	20	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_PIMEF	Légumes frais - Piment fort	125	95	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_POIRE	Légumes frais - Poireau	175	30	Lemelin et Beaudoin	
LEGF_POIS	Légumes frais - Pois	50	5	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_POIVR	Légumes frais - Poivron	125	95	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_POMMT	Légumes frais - Pomme de terre	60	30	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_RADIS	Légumes frais - Radis	20	5	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_RAD_1	Légumes frais - Radis à bottelet	20	5	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_RAD_2	Légumes frais - Radis à cello	20	5	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_RHUBA	Légumes frais - Rhubarbe	50	20	MAPAQ (Comm. pers. Mario	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_RUTAB	Légumes frais - Rutabaga	175	30	Lemelin et Beaudoin	MAPAQ, cité par technorem (validé par Mario Leblanc du MAPAQ)
LEGF_TOMAT	Légumes frais - Tomate	75	70	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem
LEGF_ZUCCH	Légumes frais - Zucchini	60	70	MAPAQ, cité par technorem	MAPAQ, cité par technorem (validé par Isabelle Couture du

CODE ET DESCRIPTION DES TYPES DE PRODUCTIONS ANIMALES			
Code	Description	Taux (L/an/tete)	Source
UEV_NO_MAT	Numéro matricule de l'unité d'évaluation		
AUTP_ALPAG	Autres productions - Alpagas (femelles)	5762	Lemelin et Beaudoin, 2008
AUTP_AUCER	Autres productions - Autres cervidés (femelles)	9006	Lemelin et Beaudoin, 2008
AUTP_BISON	Autres productions - Bisons (femelles)	16425	MAPAQ, cité par Technorem
AUTP_CEVIR	Autres productions - Cerfs de Virginie (femelles)	9006	Lemelin et Beaudoin, 2008
AUTP_CEROU	Autres productions - Cerfs rouges (femelles)	9006	Lemelin et Beaudoin, 2008
AUTP_CHANG	Autres productions - Chèvres angoras (une mise bas et plus)	5762	MAPAQ, cité par Technorem
AUTP_CHBOU	Autres productions - Chèvres de boucherie (une mise bas et plus)	5762	Lemelin et Beaudoin, 2008
AUTP_CHLAI	Autres productions - Chèvres laitières (une mise bas et plus)	5762	Lemelin et Beaudoin, 2008
AUTP_LAMAS	Autres productions - Lamas (femelles)	5762	Lemelin et Beaudoin, 2008
AUTP_LAREP	Autres productions - Lapines de production (femelles accouplées)	172	MAPAQ, cité par Technorem
AUTP_LAENG	Autres productions - Lapins d'engrais (une mise bas et plus)	172	MAPAQ, cité par Technorem
AUTP_LAFUT	Autres productions - Lapins futurs reproducteurs, relève	172	MAPAQ, cité par Technorem
AUTP_SANGL	Autres productions - Sangliers (femelles)	2555	MAPAQ, cité par Technorem
AUTP_VIREP	Autres productions - Visons reproducteurs (femelles)	172	MAPAQ, cité par Technorem
AUTP_WAPIT	Autres productions - Wapitis (femelles)	9006	MAPAQ, cité par Technorem
BOUC BOFIN	Bovins de boucherie - Bovins de finition	5631	Lemelin et Beaudoin, 2008
BOUC BOSEM	Bovins de boucherie - Bovins de semi-finition	4073	Lemelin et Beaudoin, 2008
BOUC GENIS	Bovins de boucherie - Génisses	8296	Lemelin et Beaudoin, 2009
BOUC TAREP	Bovins de boucherie - Taureaux reproducteurs	14993	Lemelin et Beaudoin, 2010
BOUC TAURE	Bovins de boucherie - Taures de remplacement	11615	Lemelin et Beaudoin, 2011
BOUC VACHE	Bovins de boucherie - Vaches (une mise bas et plus)	17838	Lemelin et Beaudoin, 2012
BOUC VEAUX	Bovins de boucherie - Veaux d'embouche	3318	Lemelin et Beaudoin, 2013
LAIT GENIS	Bovins laitiers - Génisses	8505	Lemelin et Beaudoin, 2014
LAIT TOROS	Bovins laitiers - Taureaux	14993	Lemelin et Beaudoin, 2015
LAIT TAURE	Bovins laitiers - Taures	12483	Lemelin et Beaudoin, 2016
LAIT VACHE	Bovins laitiers - Vaches	39630	Lemelin et Beaudoin, 2017
CHEV JUMCO	Chevaux gardés pour l'élevage - Juments - Course	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
CHEV JUMSE	Chevaux gardés pour l'élevage - Juments - Selle	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
CHEV JUMTR	Chevaux gardés pour l'élevage - Juments - Trait	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
CHEV MALCO	Chevaux gardés pour l'élevage - Mâles - Course	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
CHEV MALSE	Chevaux gardés pour l'élevage - Mâles - Selle	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
CHEV MALTR	Chevaux gardés pour l'élevage - Mâles - Trait	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
CHEV POULA	Chevaux gardés pour l'élevage - Poulains et pouliches	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
CHEV HONGR	Chevaux gardés pour l'élevage - Hongres	16425	Lemelin et Beaudoin, 2008
OVIN AGNLA	Ovins - Agneaux de lait	2920	MAPAQ, cité par Technorem
OVIN AGNLE	Ovins - Agneaux légers	240	Lemelin et Beaudoin, 2008
OVIN AGNLO	Ovins - Agneaux lourds	360	Lemelin et Beaudoin, 2008
OVIN AGNEL	Ovins - Agnelles de remplacement	1220	Lemelin et Beaudoin, 2008
OVIN BELIE	Ovins - Béliers	2920	MAPAQ, cité par Technorem
OVIN BREBI	Ovins - Brebis	2920	Lemelin et Beaudoin, 2008
OVIN BREBO	Ovins - Brebis de boucherie	2920	MAPAQ, cité par Technorem
OVIN BRELA	Ovins - Brebis laitières	2920	MAPAQ, cité par Technorem
PORC JTRUI	Porcs - Jeunes truies de remplacement	7665	MAPAQ, cité par Technorem
PORC TRUIE	Porcs - Truies	6205	BPR Groupe-conseil, 2002, cité par Rutherford et al., 2005
PORC VERRA	Porcs - Verrats	5475	Lemelin et Beaudoin, 2008
PORC POENG	Porcs - porcs d'engraissement	2555	MAPAQ, cité par Technorem
PORC POSEV	Porcs - Porcelets sevrés	912	BPR Groupe-conseil, 2002, cité par Rutherford et al., 2005
VAUL VGRAI	Veaux lourds - Veaux de grain	3318	Lemelin et Beaudoin, 2008
VAUL VLAIT	Veaux lourds - Veaux de lait	1775	Lemelin et Beaudoin, 2008
VOAU AUTRU	Volailles (autres) - Autruches	146	Technorem, 2008 (ann. 9)
VOAU AUELE	Volailles (autres) - Autruches d'élevage	146	Technorem, 2008 (ann. 9)
VOAU AUJUV	Volailles (autres) - Autruches juvéniles	146	Technorem, 2008 (ann. 9)
VOAU CAILL	Volailles (autres) - Cailles	2	Lemelin et Beaudoin, 2008
VOAU CANAR	Volailles (autres) - Canards	7	Lemelin et Beaudoin, 2008
VOAU EMEUS	Volailles (autres) - Émeus	183	Lemelin et Beaudoin, 2008
VOAU EMELE	Volailles (autres) - Émeus d'élevage	146	Technorem, 2008 (ann. 9)
VOAU EMJUV	Volailles (autres) - Émeus juvéniles	146	Technorem, 2008 (ann. 9)
VOAU FAISA	Volailles (autres) - Faisans	146	Technorem, 2008 (ann. 9)
VOAU PINTA	Volailles (autres) - Pintades	146	Technorem, 2008 (ann. 9)
VOLA DIGRI	Volailles (poulets et dindons) - Dindons à griller	29	Lemelin et Beaudoin, 2008
VOLA DIREP	Volailles (poulets et dindons) - Dindons de reproduction	182.5	BPR Groupe-conseil, 2002, cité par Rutherford et al., 2005
VOLA DILOU	Volailles (poulets et dindons) - Dindons lourds	56	Lemelin et Beaudoin, 2008
VOLA GRPOU	Volailles (poulets et dindons) - Gros poulets	14	Lemelin et Beaudoin, 2009
VOLA POINC	Volailles (poulets et dindons) - Poules et poulettes pour œufs d'incubation	73	Lemelin et Beaudoin, 2010
VOLA POCON	Volailles (poulets et dindons) - Poules pour œufs de consommation (20 semaines)	73	Lemelin et Beaudoin, 2011
VOLA POGRI	Volailles (poulets et dindons) - Poulets à griller	73	Lemelin et Beaudoin, 2012
VOLA POZ0S	Volailles (poulets et dindons) - Poulettes de moins de 20 semaines pou	35	Lemelin et Beaudoin, 2008