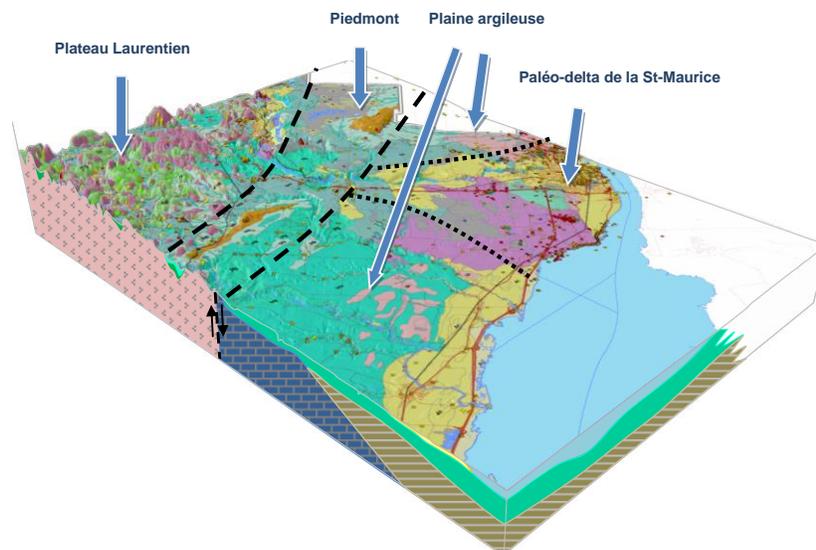


# CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE DU SUD-OUEST DE LA MAURICIE

Rapport final déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs  
dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec

Juin 2013



Yves Leblanc  
Guillaume Légaré  
Karine Lacasse  
Michel Parent  
Stéphane Campeau

---

### Citation

Leblanc, Y., Légaré, G., Lacasse, K., Parent, M. et Campeau, S. (2013). **Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie**. Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 134 p., 15 annexes et 30 documents cartographiques (1:100 000).

Département des sciences de l'environnement  
Centre de Recherche sur les Interactions bassins Versants - Ecosystèmes aquatiques (RIVE)  
Université du Québec à Trois-Rivières  
[Stephane.Campeau@uqtr.ca](mailto:Stephane.Campeau@uqtr.ca)  
[www.uqtr.ca/geographie/hydro](http://www.uqtr.ca/geographie/hydro)

---

## ÉQUIPE DE RÉALISATION ET PARTENAIRES

### Équipe de réalisation

#### Coordination

Stéphane Campeau Ph.D. (UQTR)  
Yves Leblanc ing. M.Sc. (UQTR)

#### Géomatique

Guillaume Légaré B.Sc. (UQTR)  
Denis Leroux Ph.D. (UQTR)  
Pierre-André Bordeleau M.Sc. (UQTR)

#### Compilation géologique

Michel Parent Ph.D. (CGC)  
François Hardy (Génivar)  
Claude Hébert M.Sc.

#### Hydrostratigraphie

Guillaume Légaré B.Sc. (UQTR)

#### Hydrogéochimie

Karine Lacasse B.Sc. (UQTR)  
Vincent Cloutier Ph.D. (UQAT)

#### Hydrologie

Thomas Rousseau-Baumier M.Sc. (UQTR)  
Ali Assani Ph.D. (UQTR)  
Raphaëlle Landry B.Sc. (UQTR)

#### Téléédétection

Denis Gratton Ph.D. (UQTR)

#### Assistants

Francis Clément B.Sc. (UQTR)  
Précillia Descoteaux (UQTR)  
Jean Philippe Baril Boyer (UQTR)  
Audrey Leclerc B.Sc. (UQTR)  
Isabelle Prévost B.Sc. (UQTR)  
Jean-Francois Dauphinais B.Sc. (UQTR)  
Francis Baril B.Sc. (UQTR)  
Fanny Fortier Fradette (CEGEP de Thetford-Mines)  
Philippe Davignon (CEGEP de Thetford-Mines)  
Brian Bélisle (UQAM)

### Partenaires

Myrabelle Chicoine et Luc Desaulniers  
Conférence régionale des Élus de la Mauricie

Isabelle Lessard et Yannick Clément  
MRC de Maskinongé

André Pugin  
Commission géologique du Canada

Fernand Gendron et Yves Deguire  
Ville de Trois-Rivières

### Sous-traitants

Laboratoire d'analyses Maxxam Analytique  
Laboratoire d'analyses Biolab  
Laboratoire de minéralogie IOS  
Laboratoire de chimie isotopique de Waterloo  
Laboratoire de datation Beta analytics  
Laboratoire GEOTOP (UQAM)  
Institut national de la recherche scientifique (ETE)  
Entrepreneur en puits et forages Groupe Puitbec  
Entrepreneur en puits et forages Samson et Frères  
Entrepreneur en puits et forages RJ Lévesque & Fils



## REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le **ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs** (MDDEFP) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. La **Conférence régionale des élus de la Mauricie** et la **MRC de Maskinongé** ont également soutenu financièrement le projet. Entre 2009 et 2013, des collaborations étroites ont également été établies avec la **Commission géologique du Canada** et la **Ville de Trois-Rivières** qui ont participé à la réalisation des travaux de terrain. Nous tenons à remercier particulièrement **Myrabelle Chicoine** (CRÉ Mauricie), **Isabelle Lessard** (MRC de Maskinongé) et **Alain Rouleau** (UQAC), sans qui ce projet n'aurait jamais vu le jour. Les auteurs désirent de plus remercier les personnes suivantes pour leur collaboration tout au long du projet :

- M. Fernand Gendron et M. Yves Deguire, Ville de Trois-Rivières
- M. André Pugin, Commission géologique du Canada
- M. Luc Desaulniers, géomaticien, CRÉ de la Mauricie
- M. Yannick Clément, technicien, MRC de Maskinongé
- M. Sébastien Desnoyers, géographe, MRC des Chenaux
- M. Jacques Saulnier, technicien en géomatique, M. Gaëtan Béchar, DG et Mme Diane Trudel, Ville de Shawinigan
- M. Vincent Cloutier, professeur, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
- Mme Marie Larocque, professeur, Université du Québec à Montréal
- M. Alain Rousseau, professeur, Institut national de la recherche scientifique (ETE)
- M. Charles Lamontagne, M. Raynald Lacouline, Mme Édith Bourque, Mme Diane Myrand, Mme Nadine Roy et M. Alain Demers, MDDEFP, service des eaux souterraines
- Mme Murielle Coutu et Mme Nathalie Houle, MDDEFP, direction régionale de la Mauricie
- Mme Danielle Villemure, DG, municipalité de Charette
- Mme Anne-Marie Sauvageau, DG, municipalité de Saint-Sévère
- M. Denis Lafrenière, inspecteur municipal, Saint-Édouard-de-Maskinongé
- Mme Anne-Claude Hébert-Moreau, responsable de l'émission des permis, Saint-Élie
- M. Louis Allard et M. Patrick Baril, municipalité de St-Alexis-des-Monts
- M. Jean Bélanger, directeur, Régie d'aqueduc de Grand-Pré
- M. Gilles Bergeron, directeur des travaux publics, municipalité de Saint-Paulin
- M. Stéphane Buisson, municipalité de Yamachiche
- Mme Gabrielle Lessard, DG, municipalité de Saint-Léon-le-Grand
- Mme Patricia Cormier, inspectrice municipale, municipalité de Saint-Mathieu-du-parc
- Mme Diane Faucher, DG, municipalité de Sainte-Ursule
- M. Yves Nobert, inspecteur municipal, municipalité de Notre-Dame-du-Mont Carmel
- M. Denis Gélinas, DG, municipalité de Saint-Barnabé
- Mme Nathalie Vallée, DG, municipalité de Saint-Étienne-des-Grès
- M. Jacques Caron et M. Michel Mongrain, municipalité de Saint-Boniface
- Mme Francine Gervais, DG, municipalité de Maskinongé
- M. Jean Charland, DG, municipalité de Sainte-Angèle-de-Prémont
- M. René Boilard, ville de Louiseville
- M. Michel Cousineau, DG, Saint-Justin

## RÉSUMÉ

En 2008, le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) a démarré le **Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines** (PACES) afin de dresser des portraits régionaux des eaux souterraines au Québec. Dans le cadre de ce programme, l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) a eu le mandat de procéder à la caractérisation des eaux sous-terraines du sud-ouest de la Mauricie. Le projet a été soutenu par plusieurs partenaires régionaux et a obtenu notamment un support financier de la Conférence régionale des élus de la Mauricie et de la MRC de Maskinongé. Entre 2009 et 2013, des collaborations étroites ont également été établies avec la Commission géologique du Canada et la Ville de Trois-Rivières qui ont participé à la réalisation des travaux de terrain.

Le **territoire à l'étude** couvrait les 17 municipalités de la MRC de Maskinongé, les villes de Trois-Rivières et de Shawinigan ainsi que la municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel (MRC Des Chenaux). L'objectif général du projet était de dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines (quantité et qualité) dans le sud-ouest de la Mauricie. Le projet devait répondre aux questions suivantes :

- 1) Quelle est la nature des formations géologiques qui contiennent de l'eau souterraine ?
- 2) D'où vient l'eau souterraine ?
- 3) Où va-t-elle ?
- 4) Est-elle potable et quels usages pouvons-nous en faire ?
- 5) Quelles sont les quantités exploitables ?

Le projet visait à offrir aux intervenants locaux les outils nécessaires afin qu'ils puissent s'assurer que la ressource en eau sera protégée et exploitée de façon durable et, d'autre part, des données géoscientifiques qui pourront être utilisées par les experts-conseils dans le cadre de mandats locaux. Ce rapport présente les principaux résultats de l'étude. Il est accompagné de 15 annexes (2000 pages), d'une trentaine de documents cartographiques à l'échelle 1:100 000, d'une base de données contenant tous les résultats compilés et d'une base de données géoréférencée de type « geodatabase ». Un rapport vulgarisé destiné au grand public est également disponible.

### Méthodologie de l'étude

Le projet a été réalisé en **trois phases** entre 2009 et 2013. Plus d'une vingtaine de chercheurs, professionnels et assistants ont travaillé, à un moment ou à un autre, sur ce projet. La première partie de l'étude (2009-2010) consistait à colliger l'information existante afin de créer un modèle conceptuel hydrogéologique et d'identifier les secteurs où il était nécessaire de procéder à des travaux de caractérisation. Au cours de la première phase, plus de **6 400 données ponctuelles** (puits, piézomètres et autres forages) ont été compilées à partir d'études antérieures. Les travaux de terrain ont été

réalisés au cours de la **phase 2** (2010-2012) afin de combler les lacunes identifiées lors de la première phase. Les travaux réalisés incluent 75 sondages de résistivité électrique, 50 relevés de sismique réfraction et **63 km linéaires de sismique-réflexion haute-résolution**. De plus, 11 essais de pénétration au cône et **23 forages** ont été réalisés à l'aide de différentes techniques. Ces travaux ont permis de documenter la stratigraphie des secteurs moins bien connus et d'installer des puits d'observation. Des essais hydrauliques et des mesures de niveau d'eau ont également été réalisés et **243 puits privés et municipaux** ont été échantillonnés afin de mesurer la qualité des eaux souterraines de la Mauricie. La **phase 3** (2012-2013) fut consacrée à compléter la base de données, à cartographier les eaux souterraines et à modéliser les écoulements. Les méthodes utilisées afin de produire les livrables sont détaillées dans des **protocoles** qui ont été établis en collaboration avec toutes les universités ayant participé au programme PACES.

### **Les aquifères du sud-ouest de la Mauricie**

À partir des données archivées et des résultats des travaux de terrain, un **modèle géologique tridimensionnel** simplifié a été élaboré. Il est composé de **six couches** superposées, du socle rocheux jusqu'aux sédiments superficiels, qui représentent les principales unités qui se retrouvent sur le territoire, incluant les sédiments quaternaires anciens, les sédiments glaciaires et fluvioglaciaires, les sédiments marins d'eau profonde, les sédiments du complexe de Saint-Narcisse et les sédiments sableux superficiels de toute origine. L'épaisseur des sédiments rencontrés sur le territoire varie de zéro, sur les affleurements rocheux, à **150 m** à Trois-Rivières.

Le modèle tridimensionnel a permis d'identifier les **contextes hydrogéologiques** suivants :

- 1) Le **plateau Laurentien**, au nord du territoire, est caractérisé par un aquifère régional à nappe libre constitué par le réseau de fissures du socle rocheux, lequel est parfois recouvert de dépôts d'origine glaciaire (till). Cet aquifère, peu productif, est surtout exploité par des puits domestiques.
- 2) Dans les **vallées des rivières** Maskinongé, du Loup et Yamachiche, on retrouve des aquifères constitués de matériaux granulaires perméables, mis en place par les eaux de fonte au contact ou à proximité du glacier, surmontés par endroits de sédiments fins. Au cours de l'épisode de la mer de Champlain (il y a entre 13 000 et 10 000 ans), ces sédiments fins constitués de silt et d'argile se sont déposés en eaux calmes, alors que des **sédiments deltaïques**, constitués de sable et de gravier, se sont déposés à la sortie des vallées des principaux cours d'eau par lesquels s'écoulaient les eaux de fonte du glacier. Les matériaux glaciaires et deltaïques ont été remaniés par la mer pour former les sédiments de hautes terrasses et de basses terrasses. Ces aquifères sont parfois en condition de nappe libre, parfois en condition de nappe captive. Les municipalités de Saint-Édouard-de-Maskinongé, Sainte-Ursule, Saint-Alexis-des-Monts, Saint-

Élie-de-Caxton, Charette, Saint-Mathieu-du-Parc, ainsi que la régie d'aqueduc de Grand-Pré s'approvisionnent en eau potable à partir de ces aquifères.

- 3) Dans le **piedmont**, on retrouve la **moraine frontale de Saint-Narcisse**, formée lors d'une réavancée glaciaire. La moraine forme fréquemment des aquifères doubles composés d'une nappe libre dans les sables superficiels, de l'aquitard, puis d'une nappe captive dans les sédiments fluvio-glaciaires reposant sur le socle rocheux. Ces aquifères sont isolés hydrauliquement les uns des autres, comme par exemple les aquifères exploités par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré. On retrouve trois principaux segments de la moraine de Saint-Narcisse, situés sur le territoire des municipalités de Notre-Dame-du-Mont-Carmel, Charette, Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin. La municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel puise son eau potable dans le segment situé sur son territoire, de même que la municipalité de Saint-Paulin. Le segment Sainte-Angèle-de-Prémont/Saint-Paulin est aussi exploité par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré. Le segment de Charette n'est pas exploité, bien que les travaux de forage réalisés en 2011 dans le cadre de ce projet aient confirmé la présence d'un aquifère à nappe libre et d'un aquifère à nappe captive dans ce segment.
- 4) Les **dépôts de la faille de Saint-Cuthbert** sont des aquifères captifs qui résultent de l'accumulation de sédiments granulaires dans une série de dépressions du socle rocheux, observées le long de l'axe de la faille de Saint-Cuthbert. Ces aquifères, de même que les aquifères captifs sous la plaine argileuse, sont connus indirectement via l'interprétation de relevés tels que la sismique réflexion. Ils ne sont pas exploités pour l'approvisionnement de réseaux d'aqueducs et il est possible que l'eau qu'ils contiennent ne soit pas propre à la consommation.
- 5) Le **paléodelta de la rivière Saint-Maurice** constitue l'aquifère le plus important du territoire. Cet aquifère à nappe libre est exploité par la Ville de Trois-Rivières. À Saint-Boniface, Shawinigan, Saint-Étienne-des-Grès et Notre-Dame-du-Mont-Carmel, la nappe libre est de faible épaisseur et il n'est possible d'y installer un puits pour fins d'approvisionnement municipal que dans les chenaux d'érosion des sédiments fins sous-jacents, où l'épaisseur y est plus grande et les sables, mieux triés. Les secteurs Pointe-du-Lac, Trois-Rivières, Trois-Rivières Ouest, Saint-Louis-de-France, Cap-de-la-Madeleine et Sainte-Marthe-du-Cap recourent, quant à eux, de plus importantes épaisseurs de sables formant une nappe libre. Une nappe captive est également identifiée dans le secteur de Trois-Rivières et Trois-Rivières Ouest. Cette dernière, associée à l'unité stratigraphique des Sables des Vieilles Forges, est toutefois peu exploitée et peu de données sont disponibles sur celle-ci.

- 6) En bordure Nord du lac St-Pierre, on retrouve une grande **plaine argileuse** déposée par-dessus le till et les roches ordoviciennes. Ces sédiments fins, déposés dans la mer de Champlain, constituent un aquitard qui maintient captive une nappe d'eau fossilisée fortement minéralisée avec des accumulations de gaz naturel par endroits, ce qui la rend impropre à la consommation. Certains puits privés puisent toutefois leur eau dans **les grès et les calcaires** de ce secteur.

### **La recharge et les prélèvements d'eau souterraine**

La **précipitation moyenne annuelle** sur l'ensemble du territoire est de 3,5 milliards de mètres cubes d'eau dont une partie ruisselle directement vers les cours d'eau, une partie retourne à l'atmosphère via le processus d'évapotranspiration et une partie **recharge les aquifères**. Le pourcentage de la lame d'eau annuellement précipitée contribuant à la recharge des aquifères est de 21% pour l'ensemble du territoire, ce qui représente **743 millions de mètres cubes d'eau**. Les **zones de recharge** élevée correspondent aux portions du territoire où le relief est surélevé et où les surfaces sont principalement composées de sable. À l'inverse, les **zones de résurgence** sont localisées en bordure des dépôts à forte recharge, généralement en pied de talus et/ou au contact de terrains peu perméables et dans les milieux humides. Sur le terrain, ces zones sont souvent à la tête des réseaux hydrographiques.

Les **temps de résidence** des eaux souterraines ont été calculés à l'aide d'isotopes tels que le tritium, le deutérium, l'oxygène 18 et le carbone 14. Les **eaux souterraines les plus jeunes** (< 5 ans) sont de type bicarbonaté-calcique et chloruré-sodique et sont en condition de nappe libre dans les dépôts meubles. Les eaux ayant un temps de séjour entre 5 et 20 ans proviennent de nappes libres dans les dépôts meubles et de nappes captives dans les dépôts et le socle rocheux. **Les eaux âgées de plus de 10 000 ans** sont de type chloruré-sodique et proviennent de la nappe captive située dans le réseau de fissures des roches sédimentaires paléozoïques sous une épaisse couche de sédiments fins.

Mises à part les villes de Shawinigan et de Trois-Rivières, les municipalités du territoire s'approvisionnent presque exclusivement à partir des eaux souterraines. Dans le cas de la **ville de Trois-Rivières, 61% de la population** est desservie par des eaux souterraines. La ville exploite actuellement **62 puits** distribués dans tous les secteurs. La **ville de Shawinigan** s'approvisionne quant à elle exclusivement à partir des eaux de surface. Au total, 55% de la population du territoire visé est approvisionnée à partir des eaux souterraines, soit 122 768 habitants. De ce nombre, 106 212 personnes sont desservies par un réseau municipal et 16 556 personnes sont desservies par des ouvrages de captage individuels. La population des 17 municipalités incluses dans le territoire de la **MRC de Maskinongé** est à 98% alimentée en eau potable par l'eau souterraine. On dénombre, sur ce territoire, 50 ouvrages municipaux de captage alimentés par des nappes d'eau souterraine alors que trois prises d'eau de surface desservent un réseau d'aqueduc privé.

Le **prélèvement annuel total d'eau** sur le territoire à l'étude, incluant les eaux de surface et les eaux souterraines, est de l'ordre de **100 millions de mètres cubes**. Les prélèvements annuels d'eaux souterraines représentent 20% de ce total, soit près de **20 millions de mètres cubes**. La consommation annuelle d'eau est répartie comme suit : 20% de l'eau prélevée est consommée en usage résidentiel, 1% en usage agricole et 78% en usage industriel, commercial et institutionnel. Les plus grands préleveurs d'eau souterraine sont la **Ville de Trois-Rivières** (11 Mm<sup>3</sup>/an), suivie de la Régie d'aqueduc de Grand-Pré (3 Mm<sup>3</sup>/an) qui capte de l'eau souterraine sur les territoires de Saint-Édouard-de-Maskinongé, Sainte-Ursule et Saint-Angèle-de-Prémont.

La ville de Trois-Rivières, la Régie d'aqueduc de Grand-Pré et le MDDEFP effectuent, respectivement depuis 1972, 1997 et 2006, des suivis du niveau des eaux souterraines dans un réseau de piézomètres de surveillance. Ces suivis permettent d'observer les fluctuations annuelles et saisonnières de la nappe phréatique. À Trois-Rivières, les fluctuations annuelles de la piézométrie sont de l'ordre de **1,5 m**. On observe toutefois **un cycle de fluctuations de sept à huit ans** au cours duquel le niveau piézométrique peut fluctuer dans une enveloppe d'environ **deux mètres**. Les fluctuations annuelles de la piézométrie de la nappe captive de Sainte-Angèle de-Prémont semblent plus aléatoires. Mais dans les deux cas, **les aquifères ne semblent pas être en condition de surexploitation**.

### **La qualité des eaux souterraines**

L'eau potable provenant des puits municipaux est en général de bonne qualité. Les problèmes rencontrés sont plutôt d'ordre esthétique et sont surtout reliés à des concentrations élevées en manganèse, en fer et en chlorures dans certains puits. La situation est différente en ce qui concerne les puits domestiques dans lesquels des problèmes de contamination bactériologique s'ajoutent aux problèmes d'ordre esthétique. **Près de 40% des puits résidentiels échantillonnés dépassaient au moins une des normes bactériologiques**. En ce qui concerne plus spécifiquement les coliformes fécaux, 12% des puits n'étaient pas conformes. Il est à noter que la qualité bactériologique des puits municipaux ne fut pas évaluée dans le cadre de cette étude puisqu'elle fait déjà l'objet d'un suivi régulier. La contamination bactériologique des puits privées est attribuable à la proximité des sources de bactéries (fosses septiques et champs d'épuration, épandages agricoles, etc.) combinée soit à la vulnérabilité élevée de l'aquifère (nappe libre, matériau de surface perméable, taux de recharge élevé) ou à la vulnérabilité des puits eux-mêmes (puits de surface, accumulation d'eau autour du puits, absence de collerette étanche, margelle insuffisante) facilitant l'infiltration d'eaux de surface contaminées vers le puits. Les puits les plus vulnérables sont les puits de surface, situés dans les aquifères granulaires à nappe libre, dans les zones urbaines ou à vocation agricole. **Lorsque ces quatre facteurs de risque sont réunis, la probabilité que les puits soient contaminés est de 70%**.

Mises à part les normes bactériologiques, **7% des puits échantillonnés dépassaient une des normes d'eau potable** reliées notamment aux concentrations en **fluorures**, en **baryum** et en **nitrites**. Les

dépassements en fluorure (4% des puits) et en baryum (2%) sont d'origine naturelle. Les matériaux en place contiendraient une forte proportion de **fluorures** expliquant la concentration élevée de cet anion par le passage de l'eau dans les fissures du socle rocheux, principalement dans les nappes captives. Les dépassements en **baryum** ont également été observés en condition confinée dans la plaine argileuse et dans le paléo-delta de la rivière Saint-Maurice et semblent être liés à la présence d'eau salée fossile. En ce qui concerne les **nitrites**, bien qu'il n'y ait qu'un seul dépassement de la norme, 19 puits (8%) présentaient des concentrations entre 3 et 10 mg/L, ce qui est considéré comme étant au-dessus du bruit de fond naturel. Une analyse isotopique (tritium et N15), dans un des secteurs touchés par les nitrites, suggère que les concentrations élevées seraient entre autres liées à l'épandage de fertilisants agricoles. L'analyse de la distribution spatiale des puits suggère que les portions du territoire possédant une vocation agricole, particulièrement dans les aquifères granulaires à nappe libre, présentent des risques accrus de contenir des concentrations élevées en nitrites. Les installations septiques résidentielles et la fuite de réseaux d'égouts pourraient également être des sources de nitrites, bien que dans une moindre mesure.

En ce qui concerne les **recommandations d'ordre esthétique**, les problématiques les plus fréquentes sont reliées à des concentrations excessives en manganèse, en fer, en solides totaux dissous, en chlorures, en sodium et en sulfures. La dureté de l'eau et le pH sont également hors norme dans certains puits. Sur les 243 puits résidentiels et municipaux échantillonnés, **34% dépassaient la recommandation esthétique concernant le manganèse et 20% dépassaient la recommandation esthétique du fer**. Cette problématique est fréquente sur l'aquifère à nappe libre du paléodelta de la rivière Saint-Maurice, à l'intérieur des limites de la ville de Trois-Rivières, pour laquelle il s'agit d'un enjeu économique important, puisque des activités de traitement d'eau et de réhabilitation de puits sont souvent nécessaires. Ces métaux sont souvent présents à l'état naturel en raison de l'altération météorique des roches et des minéraux. Au stade actuel des recherches en cours, l'hypothèse la plus plausible pouvant expliquer les variations spatiales dans les concentrations en fer et manganèse à l'intérieur du même aquifère serait la dégradation de la matière organique en surface. Cette hypothèse est basée notamment sur la présence de **milieux humides** en amont de la majorité des puits possédant de fortes concentrations en Fe et Mn. La présence de matière organique diminue les concentrations en oxygène et en nitrites dans les eaux souterraines, créant un milieu réducteur, ce qui peut accélérer la solubilisation du fer et du manganèse puisque ces ions agissent comme donneurs d'électrons. La matière organique proviendrait principalement des milieux humides et potentiellement de fuites dans le réseau d'égout.

Les **matières dissoutes totales** sont composées de sels inorganiques et de petites quantités de matières organiques. Près de 7% des puits dépassaient la recommandation esthétique reliée aux matières dissoutes, surtout au sud de la Mauricie. Les dépassements en nappe captive peuvent être expliqués par des causes naturelles, telles la présence d'une eau salée fossile ou la géologie en place,

alors que les dépassements en nappe libre peuvent être reliés à des fuites du réseau d'égout, au ruissellement en milieux urbain, agricole ou industriel et aux sels déglaçants. Dans le cas des dépassements esthétiques en **chlorures (5% des puits) et en sodium (3%)**, les concentrations élevées dans les nappes libres seraient liées à l'épandage de sels déglaçants, alors que les concentrations élevées dans les nappes captives seraient liées à la séquestration d'eau marine fossile de la mer de Champlain il y a plus de 10 000 ans. Aucune recommandation n'existe en ce qui concerne la **dureté de l'eau**. Toutefois, les concentrations >500 mg/L sont considérées comme étant inacceptables pour l'eau potable. Au total, neuf dépassements ont été observés, souvent associés à la présence d'eau salée fossile ou à de fortes concentrations en différents ions.

### **La vulnérabilité des eaux souterraines**

La vulnérabilité des eaux souterraines dépend entre autres de la profondeur de la nappe, de la nature de l'aquifère et du taux de recharge. Les sables superficiels associés au paléodelta de la rivière Saint-Maurice et aux alluvions possèdent une vulnérabilité élevée, soit un indice **DRASTIC** estimé entre 140 et 200. Les sables et graviers superficiels associés aux vallées du plateau Laurentien et les crêtes de la moraine de Saint-Narcisse dans la zone du Piedmont possèdent également une vulnérabilité élevée, soit un indice DRASTIC entre 160 et 200.

Au total, plus de 2500 activités anthropiques ayant un **potentiel de contamination** variant de faible à très élevé ont été répertoriées au sud-ouest de la Mauricie. Ces activités sont concentrées dans les zones urbaines et industrielles et le long des axes routiers. De plus, 134 terrains contaminés ont été identifiés sur le territoire.

### **Conclusions et recommandations**

Les principales conclusions et recommandations de l'étude sont les suivantes :

1. Le bilan hydrique régional démontre que la recharge est d'environ 743 Mm<sup>3</sup>/an alors que les prélèvements totaux d'eau souterraine sont de l'ordre de 20 Mm<sup>3</sup>/an, ce qui représente environ 3% de la recharge. Globalement, les ressources en eau souterraine de la Mauricie ne semblent donc pas surexploitées. Il subsisterait même dans certains secteurs un potentiel d'exploitation intéressant. Toutefois, localement, certaines nappes peuvent être à la limite de leur capacité.
2. Le suivi piézométrique à long terme démontre que les niveaux d'eau semblent stables. Les suivis historiques suggèrent toutefois qu'il existe des cycles de sept à huit ans au cours desquels les niveaux d'eaux peuvent descendre de 2 m. Les années où les précipitations sont moins abondantes, le niveau d'eau dans certains puits peut être critique et limiter l'exploitation de la nappe. **Recommandation 1 : Il sera important de poursuivre le suivi des piézomètres actuels**

**et d'étendre le réseau pour couvrir les principaux aquifères de la région. Une analyse plus détaillée des relations entre le régime des précipitations et la piézométrie des nappes sera nécessaire pour évaluer l'impact des changements climatiques en cours sur l'exploitation des aquifères régionaux.**

3. Bien que la ressource soit abondante, elle est mal répartie sur le territoire. Certaines municipalités ont peu ou pas d'aquifères exploitables (Louiseville, Maskinongé, Saint-Sévère), alors que d'autres municipalités possèdent des ressources en eau importantes. Les municipalités de la MRC de Maskinongé ont contourné ce problème en créant la Régie d'aqueduc de Grand-Pré qui puise l'eau là où elle se trouve et la redistribue régionalement. Cette initiative, qui doit être soutenue, est une particularité de la Mauricie et est un exemple de concertation régionale en matière de gestion des eaux souterraines.
4. Les aquifères composés de dépôts meubles localisés dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice et dans les vallées du piedmont sont les plus productifs et les plus exploités. Ces aquifères alimentent en eau potable plus de la moitié de la population de la Mauricie.
5. Certains aquifères, peu exploités, semblent présenter un potentiel intéressant. C'est le cas notamment des dépôts comblant la dépression de la faille de Saint-Cuthbert. Les données actuelles sont toutefois insuffisantes et il sera nécessaire de procéder à davantage de travaux de caractérisation afin d'évaluer le potentiel réel de ces aquifères.
6. Le chauffage et la climatisation par géothermie sont une pratique relativement récente au Québec. En Mauricie, des institutions telles que l'hôpital Cooke et le Technoparc, à Trois-Rivières, et l'hôtel Sacacomie, à Saint-Alexis-des-Monts, sont actuellement chauffées et climatisées par géothermie. Compte tenu de la température relativement élevée des eaux souterraines (environ 10 degrés Celsius à Trois-Rivières), du fort potentiel aquifère de la région et du caractère inépuisable de cette ressource énergétique, il est probable que la géothermie connaisse un essor important dans le futur.
7. Près de 40% des puits domestiques de la Mauricie ne respecte pas les normes en ce qui concerne la contamination bactériologique. En ce qui concerne plus spécifiquement les coliformes fécaux, 12% des puits ne sont pas conformes. Cette contamination est toutefois probablement associée à une mauvaise installation et un mauvais entretien des puits. À cet effet, un manque de sensibilisation des utilisateurs a été observé au cours de l'étude. Lors de l'échantillonnage, près de 50% des propriétaires confirmaient qu'ils n'étaient pas au fait des procédures à suivre pour nettoyer ou pour décontaminer leur puits. **Recommandation 2 : Il**

serait souhaitable de sensibiliser davantage les propriétaires quant à l'aménagement de leur puits et la réalisation d'analyses régulières de qualité d'eau.

8. Les concentrations excessives en manganèse et en fer pourraient potentiellement être reliées à la présence de milieux humides dans l'aire d'alimentation des puits. **Recommandation 3 : Il est recommandé d'analyser plus en détail la relation entre les milieux humides et les concentrations en manganèse et en fer afin de mieux comprendre la dynamique de ces métaux dans les aquifères et de mieux planifier l'aménagement des puits municipaux.**
9. L'épandage de sels déglaçants sur le réseau routier semblent provoquer une augmentation des concentrations en chlorures dans l'eau des puits. **Recommandation 4 : Il est recommandé de diminuer les quantités de sels épandus dans l'aire d'alimentation des puits ou de trouver des solutions alternatives aux méthodes et aux produits d'épandage utilisés actuellement.**
10. L'analyse de la distribution spatiale des puits suggère que les portions du territoire possédant une vocation agricole, particulièrement dans les aquifères granulaires à nappe libre, présentent des risques accrus de contenir des concentrations élevées en nitrates. **Recommandation 5 : Il est recommandé de porter une attention particulière aux types de culture et à la fertilisation appliquée sur les sols sablonneux afin de limiter le lessivage des nitrates vers la nappe phréatique, particulièrement dans l'aire d'alimentation des puits résidentiels et municipaux. La présence de grandes cultures sur le delta de la rivière Saint-Maurice semble notamment présenter un risque élevé en ce qui concerne les concentrations en nitrates.**
11. L'empiètement graduel de l'urbanisation sur les aquifères, comme le pavage des rues et la construction de bâtiments, réduit la surface d'infiltration nécessaire au renouvellement des ressources en eau souterraine et augmente le risque de contamination. Dans les régions urbanisées telles qu'à Trois-Rivières, où la nappe libre est très vulnérable et où le réseau d'aqueduc dépend en grande partie des ressources en eaux souterraines, la protection des eaux souterraines doit être réalisée de manière concertée. Le développement du territoire doit tenir compte des aires de protection des ouvrages de captage d'eau souterraine. Un exemple de gestion adéquate du territoire dans les aires d'alimentation des puits est la création d'un espace destiné aux activités telles que la course à pied, la marche, le vélo et le ski de randonnée dans le secteur de Cap-de-la-Madeleine, entre l'autoroute 40 et le champ de captage du secteur. **Recommandation 6 : L'impact du développement urbain sur la recharge et la qualité des eaux souterraines à Trois-Rivières devrait être évalué.**

12. L'une des plus grandes sources de conflits d'usage avec les eaux souterraines est reliée à l'exploitation des granulats dans la région du piedmont. En effet, la moraine de Saint-Narcisse présente des épaisseurs considérables de sable et de gravier avec un niveau de nappe très profond. Toutefois, à ce jour, aucune problématique de contamination des nappes d'eaux souterraines reliée à l'exploitation d'une sablière n'a été documentée. En effet, les aquifères exploités dans le piedmont sont presque tous en condition de nappe captive ou semi-captive, ce qui leur confère un certain degré de protection. Néanmoins, la gestion de ces activités doit être effectuée de façon à éviter tout déversement en conservant les équipements en dehors des aires d'excavation, en évitant l'entreposage d'hydrocarbures et autres matières dangereuses et en gardant une distance minimale entre le fond des excavations et le niveau de la nappe d'eau souterraine.
13. L'information présentée dans ce document et dans la base de données qui l'accompagne pourra être utilisée par les aménagistes et les urbanistes, les organismes de bassins versants, les responsables de la gestion des eaux souterraines de la ville de Trois-Rivières et de la Régie d'Aqueduc de Grand-Pré, ainsi que par les experts-conseils et les entrepreneurs en puits et forage dans le cadre de projets de captage d'eau ou de géothermie.
14. Il est capital de connaître l'emplacement des grands préleveurs sur un territoire si l'on désire être en mesure de protéger les sources d'alimentation en eau des communautés et des commerces et industries et d'éviter les conflits d'usage. **Recommandation 7 : Il est recommandé de rendre public la localisation géographique de tous les grands préleveurs.**
15. Le mode de fonctionnement actuel du système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEFP est intéressant, mais ce dernier pourrait être amélioré en intégrant notamment des données de qualité de l'eau. Rappelons que le « Règlement sur le captage des eaux souterraines » oblige la réalisation d'une analyse d'eau dans les trente jours suivant le forage d'un nouveau puits. Cet article du règlement n'est malheureusement pas suffisamment appliqué et les données ne sont pas colligées et conservées dans une base de données. De plus, le SIH actuel ne renferme presque exclusivement que des données de forages résidentiels décrits par des entrepreneurs puisatiers. Il faudrait étendre les sources d'information, de manière à ce que tout forage, qu'il soit réalisé dans un cadre municipal, industriel ou commercial, pour de la recherche en eau ou pour de la géothermie, soit inclus dans la base de données. Les forages effectués à des fins de caractérisation environnementale, de caractérisation géotechnique, ou d'exploration minière, gazière ou pétrolière devraient également y être intégrés.

# TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Description du projet	1
1.2	Objectifs	2
1.3	Contenu du rapport	2
1.4	Portée de l'étude	3
<b>2</b>	<b>Activités réalisées dans le cadre du projet</b>	<b>4</b>
2.1	Compilation de l'information existante	4
2.1.1	Lithostratigraphie	5
2.1.2	Données piézométriques	5
2.1.3	Propriétés hydrogéologiques	5
2.1.4	Données sur la qualité des eaux souterraines	6
2.2	Travaux de caractérisation	6
2.2.1	Relevés Quaternaires	8
2.2.2	Résistivité électrique	9
2.2.3	Sismique réfraction	10
2.2.4	Sismique-réflexion haute-résolution	11
2.2.5	Essais de pénétration au cône	11
2.2.6	Forages	13
2.2.7	Analyses granulométriques	15
2.2.8	Analyses minéralogiques	16
2.2.9	Essais hydrauliques et mesures de niveaux d'eau	17
2.2.10	Datation C14 de fossiles	18
2.2.11	Analyses de microfossiles	18
2.2.12	Échantillonnage d'eau souterraine	18
2.3	Base de données	23
<b>3</b>	<b>Description du territoire à l'étude</b>	<b>25</b>
3.1	Routes et limites territoriales	25
3.2	Populations	27
3.3	Occupation du territoire	29
3.3.1	Classification des images Landsat	29
3.3.2	Couverture végétale et milieux humides	33
3.4	Physiographie	35
3.5	Hydrographie et hydrologie	39
3.5.1	Hydrographie	39
3.5.2	Hydrologie	39
3.6	Historique d'exploitation des ressources géologiques	44
3.6.1	Exploitation des eaux souterraines	44
3.6.2	Exploitation du fer	45
3.6.3	Exploitation du Gaz naturel	45
3.6.4	Exploitation du potentiel géothermique	46
<b>4</b>	<b>Contexte géologique</b>	<b>47</b>
4.1	Géologie du socle rocheux	47
4.1.1	Stratigraphie	47
4.1.2	Géologie Structurale	49
4.1.3	Répartition géographique	50
4.1.4	Topographie du socle rocheux	53
4.2	Géologie du Quaternaire	55
4.2.1	Stratigraphie	55

4.2.2	Répartition géographique	57
4.2.3	Épaisseur des dépôts meubles	60
4.2.4	Modèle géologique tridimensionnel	62
<b>4.3</b>	<b>Sols</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>Conditions hydrogéologiques</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>Contextes hydrogéologiques</b>	<b>66</b>
5.1.1	Unités hydrostratigraphiques	66
5.1.2	Contextes hydrogéologiques	67
5.1.3	Répartition géographique	67
5.1.4	Description des aquifères	72
<b>5.2</b>	<b>Propriétés hydrauliques</b>	<b>78</b>
<b>5.3</b>	<b>Piézométrie et écoulement</b>	<b>81</b>
5.3.1	Piézométrie de la nappe libre et des nappes captives et semi-captives	81
5.3.2	Séries chronologiques	85
<b>5.4</b>	<b>Recharge et bilan hydrologique</b>	<b>87</b>
<b>5.5</b>	<b>Zones de recharge et de résurgence</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>Qualité des eaux souterraines</b>	<b>92</b>
<b>6.1</b>	<b>Types d'eau en fonction des contextes hydrogéologiques</b>	<b>92</b>
<b>6.2</b>	<b>Problématiques de qualité</b>	<b>99</b>
6.2.1	Dépassements des critères de concentration maximale acceptable (CMA)	99
6.2.2	Dépassements des critères d'objectif esthétique (OE)	100
<b>6.3</b>	<b>Problématiques spécifiques</b>	<b>104</b>
6.3.1	Problématique du fer et du manganèse	104
6.3.2	Problématique des chlorures	107
6.3.3	Problématique des nitrates	109
<b>7</b>	<b>Gestion durable des eaux souterraines en Mauricie</b>	<b>112</b>
<b>7.1</b>	<b>Usage de la ressource et potentiel d'exploitation</b>	<b>112</b>
<b>7.2</b>	<b>Vulnérabilité des nappes</b>	<b>119</b>
<b>7.3</b>	<b>Risques pour les eaux souterraines</b>	<b>124</b>
<b>8</b>	<b>Conclusions et Recommandations</b>	<b>126</b>
<b>8.1</b>	<b>Priorités de gestion et d'exploitation</b>	<b>126</b>
8.1.1	Exploitation des eaux souterraines	126
8.1.2	Protection des eaux souterraines	127
<b>8.2</b>	<b>Diffusion et mise à jour de l'information</b>	<b>129</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Sources et types d'informations compilées .....	4
Tableau 2.2 Paramètres utilisés et contenants d'échantillonnage .....	21
Tableau 2.3 Identification du point de mesure.....	23
Tableau 2.4 Coordonnées et évaluation de la fiabilité de la localisation.....	23
Tableau 2.5 Hydrogéologie .....	24
Tableau 2.6 Séquence lithostratigraphique .....	24
Tableau 2.7 Qualité de l'eau .....	24
Tableau 3.1 Municipalités du territoire à l'étude .....	25
Tableau 3.2 Population des municipalités du territoire à l'étude.....	27
Tableau 3.3 Superficie des couverts issus de la classification des images satellitaires (2009) .....	29
Tableau 3.4 Superficie des cultures selon la BDCA et la classification des images satellitaires (2009) .....	30
Tableau 3.5 Bassins versants du territoire à l'étude.....	39
Tableau 4.1 Stratigraphie des unités qui composent le socle rocheux.....	47
Tableau 4.2 Stratigraphie régionale des dépôts meubles.....	55
Tableau 4.3 Datation au radiocarbone de fossiles récupérés par forage .....	57
Tableau 5.1 Description des principaux aquifères .....	74
Tableau 5.2 Sommaire des propriétés hydrauliques .....	79
Tableau 5.3 Sommaire du bilan hydrique par bassin versant (A) et par municipalité (B).....	89
Tableau 6.1 Sommaire des caractéristiques des eaux souterraines .....	97
Tableau 6.2 Corrélations entre la composition des sols et la chimie de l'eau souterraine .....	105
Tableau 6.3 Résultats de l'analyse des isotopes .....	110
Tableau 7.1 Populations desservies par les eaux souterraines (MDDEFP, 2012).....	113
Tableau 7.2 Synthèse des prélèvements et de la consommation d'eau .....	115
Tableau 7.3 Bilan des prélèvements et de la consommation d'eau en réseau.....	116
Tableau 7.4 Bilan des prélèvements et de la consommation d'eau hors réseau.....	116

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Localisation des travaux de caractérisation .....	7
Figure 2.2 Localisation des puits échantillonnés.....	20
Figure 3.1 Routes, limites municipales et toponymie.....	26
Figure 3.2 Affectations du territoire .....	28
Figure 3.3 Couverture du sol .....	32
Figure 3.4 Couverture végétale .....	33
Figure 3.5 Milieux humides et aires protégées.....	34
Figure 3.6 Carte topographique du territoire à l'étude .....	36
Figure 3.7 Modèle numérique d'élévation du territoire .....	37
Figure 3.8 Pente du terrain .....	38
Figure 3.9 Hydrographie et bassins versants .....	40
Figure 4.1 Géologie du socle rocheux .....	52
Figure 4.2 Topographie du socle rocheux.....	54
Figure 4.3 Géologie du Quaternaire .....	59
Figure 4.4 Épaisseur totale des dépôts meubles .....	61
Figure 4.5 Modèle géologique tridimensionnel.....	64
Figure 4.6 Pédologie .....	65
Figure 5.1 Contextes hydrogéologiques et degré de confinement.....	69
Figure 5.2 Épaisseur et limites des aquifères régionaux à nappe libre .....	71
Figure 5.3 Profil hydrostratigraphique Nord-Ouest Sud-Est, de Saint-Élie-de-Caxton à Pointe-du-Lac.....	77
Figure 5.4 Profil hydrostratigraphique Nord-Ouest Sud-Est, de Shawinigan à Cap-de-la-Madeleine.....	77
Figure 5.5 Profil hydrostratigraphique Sud-Ouest Nord-Est, de Saint-Justin à Notre-Dame-du-Mont-Carmel .....	77
Figure 5.6 Profil hydrostratigraphique Sud-Ouest Nord-Est, de Saint-Alexis-des-Montas à Saint-Jean-des-Piles .....	77
Figure 5.7 Piézométrie de la nappe libre .....	83
Figure 5.8 Piézométrie des nappes captives et semi-captives.....	84
Figure 5.9 Suivi piézométrique MAUR00961 – Nappe libre de Trois-Rivières, secteur Cap-de-la-Madeleine.....	86
Figure 5.10 Suivi piézométrique MAUR00606 – Nappe captive de Sainte-Angèle-de-Prémont.....	86
Figure 5.11 Méthodes d'estimation de la recharge.....	88
Figure 5.12 Zones de recharge préférentielles et de résurgence .....	91
Figure 6.1 Types d'eau souterraine en fonction du contexte hydrogéologique .....	94
Figure 6.2 Temps de résidence des eaux souterraines dans les aquifères .....	95
Figure 6.3 Qualité bactériologique des eaux souterraines .....	102
Figure 6.4 Qualité physico-chimique des eaux souterraines .....	103
Figure 6.5 Origine des chlorures dans les eaux souterraines.....	108
Figure 6.6 Localisation des puits ayant une concentration élevée en nitrates .....	111
Figure 7.1 Distribution des prélèvements d'eau par municipalité.....	117
Figure 7.2 Distribution de l'utilisation de l'eau souterraine par municipalité .....	118
Figure 7.3 Méthode de calcul de la vulnérabilité des eaux souterraines.....	120
Figure 7.4 Vulnérabilité des nappes libres selon la méthode DRASTIC.....	122
Figure 7.5 Vulnérabilité des nappes captives et semi-captives selon la méthode DRASTIC .....	123
Figure 7.6 Densité des activités anthropiques potentiellement polluantes .....	125

## LISTE DES ANNEXES

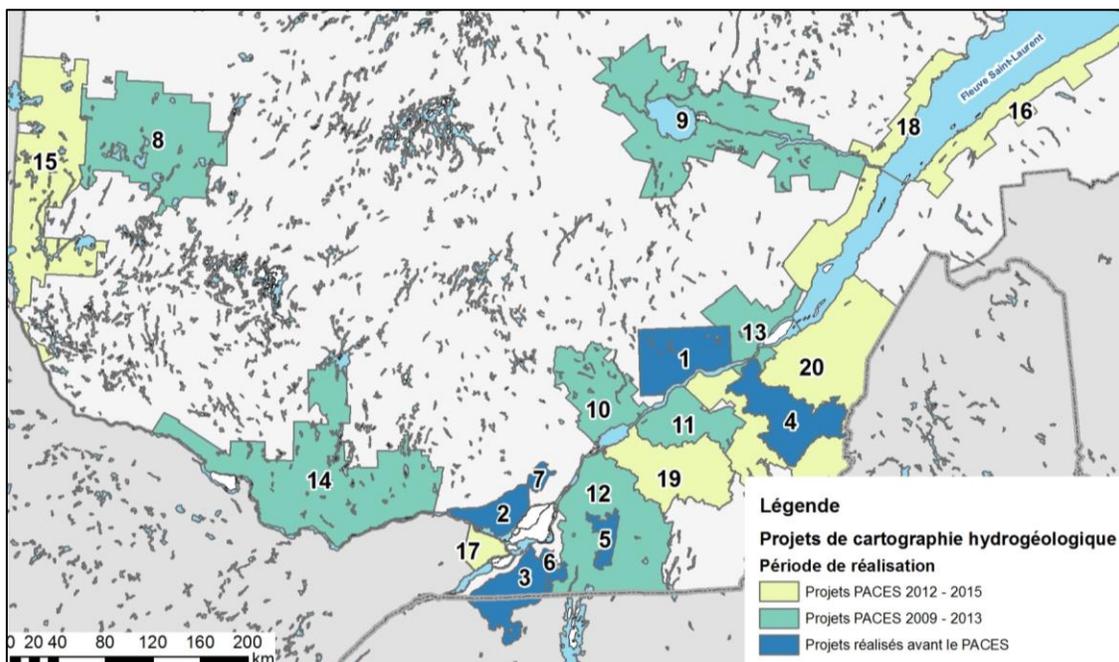
- Annexe 1 Cartes thématiques des livrables du projet (30 cartes)
- Annexe 2 Méthodologies (61pages)
- Annexe 3 Résultats des travaux de résistivité électrique (77 pages)
- Annexe 4 Résultats des travaux de sismique-réfraction (54 pages)
- Annexe 5 Résultats des travaux de sismique-réflexion haute-résolution (3 pages et une carte format A0)
- Annexe 6 Résultats des travaux de sondage au piézocône (14 pages)
- Annexe 7 Résultats des travaux de forage (30 pages)
- Annexe 8 Coupes hydrostratigraphiques de forages archivés (88 pages)
- Annexe 9 Résultats des analyses granulométriques (829 pages)
- Annexe 10 Résultats des analyses minéralogiques (29 pages)
- Annexe 11 Résultats des essais hydrauliques (228 pages)
- Annexe 12 Résultats des datations de fossiles au radiocarbone (10 pages)
- Annexe 13 Résultats des analyses bactériologiques (202 pages)
- Annexe 14 Résultats des analyses chimiques (422 pages)
- Annexe 15 Résultats des analyses isotopiques (11 pages)

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 DESCRIPTION DU PROJET

En 2008, le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) a démarré le **Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES)** afin de dresser des portraits régionaux des eaux souterraines au Québec. Dans le cadre de ce programme, l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) a eu le mandat de procéder à la caractérisation des eaux sous-terraines du sud-ouest de la Mauricie. Le projet a été soutenu par plusieurs partenaires régionaux et a obtenu notamment un support financier de la Conférence régionale des élus de la Mauricie et de la MRC de Maskinongé. Entre 2009 et 2013, des collaborations étroites furent également établies avec la Commission Géologique du Canada et la Ville de Trois-Rivières qui ont participé à la réalisation des travaux de terrain.

Le projet fut réalisé en **trois phases** entre 2009 et 2013. La première partie de l'étude (2009-2010) consistait à colliger l'information existante afin de créer un modèle conceptuel hydrogéologique et d'identifier les secteurs où il était nécessaire de procéder à des travaux de caractérisation. Les travaux de terrain ont été réalisés au cours de la phase 2 (2010-2012), afin de combler les lacunes identifiées lors de la phase 1. La phase 3 (2012-2013) fut consacrée à compléter la base de données, à cartographier les eaux souterraines et à modéliser les écoulements souterrains.



*Les 20 projets de caractérisation régionale du Programme d'Acquisition de Connaissances sur les Eaux Souterraines du Québec (PACES). Le projet no 10 est le projet du sud-ouest de la Mauricie.*

## 1.2 OBJECTIFS

L'**objectif général** du projet était de dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines (quantité et qualité) dans le sud-ouest de la Mauricie. Le projet devait répondre aux questions suivantes :

1. Quelle est la nature des formations géologiques qui contiennent de l'eau souterraine ?
2. D'où vient l'eau souterraine?
3. Où va-t-elle?
4. Est-elle potable et quels usages pouvons-nous en faire?
5. Quelles sont les quantités exploitables?

Le projet visait à offrir aux intervenants locaux les outils nécessaires afin qu'ils puissent s'assurer que la ressource en eau sera protégée et exploitée de façon durable et, d'autre part, des données géoscientifiques qui pourront être utilisées par les experts-conseils dans le cadre de mandats locaux.

## 1.3 CONTENU DU RAPPORT

Le présent document constitue le rapport scientifique remis au MDDEFP selon les termes du contrat avec l'UQTR. Le document principal présente les activités de compilation et de caractérisation réalisées dans le cadre du projet, la description générale de la région, le contexte géologique, les conditions hydrogéologiques, la qualité des eaux souterraines, les outils de gestion durable des eaux souterraines en Mauricie et enfin, des conclusions et recommandations. Afin de faciliter la lecture du document, chacun des livrables cartographiques est montré dans le document sous la forme d'une figure en format lettre. L'annexe 1 contient les livrables cartographiques en format A0, aux échelles et projection exigées par le MDDEFP dans le cadre du mandat. Aussi, pour alléger le texte du rapport, l'ensemble des protocoles méthodologiques développés par les universités faisant partie du PACES a été regroupé à l'annexe 2 du document. Les autres annexes contiennent les rapports et certificats obtenus de sous-traitants, les résultats des travaux de caractérisation hydrogéologique et de l'information complémentaire au document principal.

Le rapport possède également son pendant numérique qui prend la forme d'une base de données des travaux de terrain et d'une base de données géoréférencées de type « geodatabase » contenant la version numérique des livrables cartographiques.

#### 1.4 PORTÉE DE L'ÉTUDE

Cette étude décrit les conditions hydrogéologiques régionales basées sur une cartographie à l'échelle 1/100 000 établie à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser les cartes, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, cette étude ne peut remplacer les études requises pour définir les conditions hydrogéologiques à l'échelle locale et n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée de ces cartes et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de ces cartes, des conditions présentées ou des données y étant rattachées.

## 2 ACTIVITÉS RÉALISÉES DANS LE CADRE DU PROJET

### 2.1 COMPILATION DE L'INFORMATION EXISTANTE

Une grande partie du contenu présenté dans ce rapport provient de la compilation et de la mise en forme de l'information existante. La collecte et la compilation de ces informations ont principalement été réalisées au cours de la **phase 1** du projet, soit au cours de la période 2009-2010. Le tableau 2.1 présente un résumé des sources d'informations consultées et des types de données obtenues.

**Tableau 2.1 Sources et types d'informations compilées**

Organisme dépositaire	Type de données	Formats
<b>MDDEFP</b>	Hydrogéologiques	Rapports papier et pdf
	SIH - stratigraphies	Base de données
	Prélèvements	Base de données
	Répertoire des lieux contaminés	Base de données
<b>CEHQ</b>	Réseaux hydrographiques	Données numériques vectorielles
	Températures	Données numériques matricielles
	Apports verticaux	Données numériques matricielles
	Débits de base	Données numériques matricielles
<b>MRN</b>	Modèle numérique d'élévation	Données numériques matricielles
	Dépôts meubles	Données numériques vectorielles
	Dépôts meubles	Données numériques vectorielles
	Géologiques	Données numériques vectorielles
<b>MTQ</b>	SIGPEG - stratigraphies	Base de données
<b>IRDA</b>	Stratigraphiques	Base de données
<b>IRDA</b>	Sols	Données numériques vectorielles
<b>MRC</b>	Limites des lots	Données numériques vectorielles
	Activités anthropiques	Données numériques vectorielles
<b>Municipalités</b>	Hydrogéologiques	Rapports papier
	Hydrogéologiques	Base de données
	Zonages et activités anthropiques	Données numériques vectorielles
<b>Canards illimités</b>	Milieus humides	Données numériques vectorielles
<b>Entreprises privées</b>	Hydrogéologiques	Rapports, bases de données

Au total, **6 421 données ponctuelles** (puits, piézomètres et autres forages) ont été compilées. La provenance des données ponctuelles compilées est la suivante :

- 1112 entrées proviennent d'études hydrogéologiques (EH);
- 245 entrées proviennent de rapports publics (GOUV);
- 2034 entrées proviennent de la base de données du ministère des transports (MTQ);
- 2311 entrées proviennent du système d'information hydrogéologique (SIH);

- 164 entrées proviennent de la base de données du système d'information géoscientifique pétrolier et gazier;
- 555 entrées proviennent de bases de données privées ou municipales.

Les sections qui suivent font état des données recueillies sur les unités hydrostratigraphiques identifiées, les paramètres hydrogéologiques, les données piézométriques et la qualité physico-chimique de l'eau souterraine.

---

### 2.1.1 LITHOSTRATIGRAPHIE

La compilation des données hydrogéologiques a permis de répertorier **5 386 entrées qui contiennent une séquence stratigraphique** pour laquelle il existe des coordonnées de localisation et une élévation de référence. Parmi ces entrées, 2 185 atteignent le socle rocheux et 3 201 recourent uniquement une séquence constituée de dépôts meubles. Le nombre de lithofaciès décrits dans les forages varie de 1 à 14. Sauf quelques exceptions, les données ne décrivent pas l'origine des couches recoupées, ni leur potentiel hydrogéologique. Les séquences ont été codifiées et regroupées en unités hydrostratigraphiques, permettant ainsi de distinguer les aquifères et aquitards.

---

### 2.1.2 DONNÉES PIÉZOMÉTRIQUES

La compilation des puits et forages inventoriés a permis de répertorier **2109 entrées de niveau d'eau** pour lesquelles il existe des coordonnées de localisation et une élévation de référence. Ces mesures sont toutefois ponctuelles et la méthode de mesure n'est pas toujours définie. Aussi, il est possible que les mesures du niveau statique et du niveau dynamique fournies dans la base de données du SIH n'aient pas été prises à l'aide d'un instrument adéquat en s'assurant que le niveau d'eau était bien stabilisé.

Par ailleurs, la ville de Trois-Rivières, la Régie d'aqueduc de Grand-Pré et le MDDEFP effectuent respectivement depuis 1972, 1997 et 2006 des suivis piézométriques dans un réseau de piézomètres de surveillance. Ces données ont été utilisées pour calibrer les modèles de recharge et d'écoulement souterrain.

---

### 2.1.3 PROPRIÉTÉS HYDROGÉOLOGIQUES

La compilation des puits et forages inventoriés a permis de répertorier 225 entrées de conductivité hydraulique issues d'essais *in situ* (principalement des essais de pompage et quelques essais de perméabilité à charge variable). Parmi ces entrées, 203 proviennent d'un essai effectué dans les dépôts meubles et 22 proviennent d'un essai effectué dans le socle rocheux. La compilation effectuée a également permis d'inventorier 203 mesures de capacité spécifique, 168 mesures de transmissivité,

152 mesures d'épaisseur saturée et 60 mesures de coefficient d'emmagasinement. Aucune interprétation des données de base n'a été faite, sauf pour les rapports qui ne présentaient pas d'interprétation d'essais.

#### 2.1.4 DONNÉES SUR LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

La compilation des puits et forages inventoriés a permis de répertorier **112 points** où des données géochimiques sont disponibles, dont 7 dans le socle rocheux et 105 dans les dépôts meubles. Les mesures de qualité de l'eau souterraine sont ponctuelles et reflètent la qualité de l'eau qui prévalait au moment où l'échantillonnage a été effectué. Parmi ces points, 71 d'entre eux sont des puits où un suivi annuel de la qualité de l'eau a été rendu disponible pour l'étude.

## 2.2 TRAVAUX DE CARACTÉRISATION

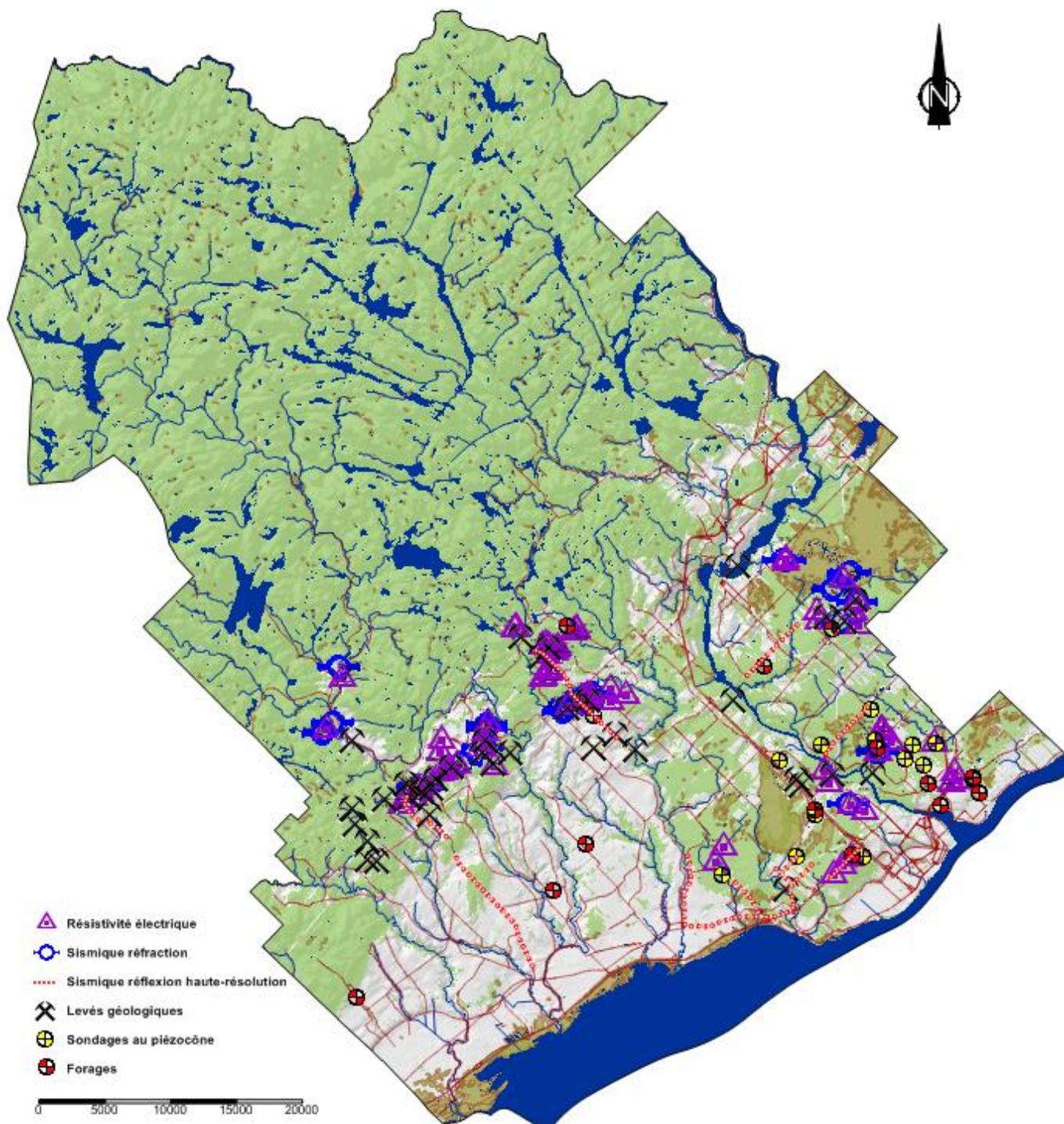
De façon générale, les activités réalisées entre 2010 et 2012 ont été principalement reliées à l'**acquisition de données de terrain** et à l'insertion de ces données dans la base de données de travail élaborée pour les besoins du projet (UQTR, 2010, rapport d'étape 1). Parallèlement aux travaux de terrain, des informations existantes tirées d'études hydrogéologiques locales, du système d'information pétrolier et gazier (SIGPEG) et autres données publiées ont continué d'être archivées et ajoutées à la base de données de travail. Enfin, dans le cadre de travaux de maîtrise d'étudiants à l'UQTR, des calculs et modélisations ont été effectués afin de préciser l'hydrostratigraphie et l'hydrogéochimie du territoire.

Plus spécifiquement, les travaux d'acquisition de données qui ont été réalisés sont les suivants :

- Relevés géophysiques de type résistivité électrique;
- Relevés géophysiques de type sismique réfraction;
- Relevés géophysiques de type sismique réflexion haute-résolution;
- Cartographie des dépôts quaternaires;
- Réalisation d'essais de pénétration au cône;
- Réalisation de forages;
- Réalisation d'essais de pompage et d'essais de perméabilité;
- Échantillonnage d'eau souterraine

La **figure 2.1** montre la localisation des travaux réalisés alors que la **figure 2.2** montre la localisation des stations d'échantillonnage d'eau souterraine. Les sections 2.2.1 à 2.2.12 présentent les méthodologies employées pour leur réalisation. Les résultats obtenus sont présentés aux sections 4, 5, et 6 de ce document, tandis que les données et interprétations sont présentées aux annexes 3 à 15.

Figure 2.1 Localisation des travaux de caractérisation



### 2.2.1 RELEVÉS QUATÉRNAIRES

Au cours du mois de mai 2010, des **relevés de la géologie du Quaternaire** ont été effectués sur l'ensemble du territoire et, plus spécifiquement, à la jonction des zones cartographiées par le passé par des auteurs différents. Les relevés ont été effectués par François Hardy, de la firme Génivar, accompagné de Guillaume Légaré et Yves Leblanc, de l'UQTR.

Par la suite, d'autres relevés ont été réalisés entre 2011 et 2012 par Michel Parent, de la Commission Géologique du Canada, Guillaume Légaré et Yves Leblanc, de l'UQTR. Au cours de ces relevés, des échantillons de fossiles ont été prélevés, notamment dans la sablière *Massé* située à Charrette (voir figure ci-dessous) dans un horizon de sédiments fins charriés lors de la réavancée glaciaire correspondant à l'épisode de Saint-Narcisse. De plus, la direction des paléocourants a été mesurée dans plusieurs sablières situées à Trois-Rivières, afin de mieux comprendre le mode de mise en place du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. Une visite de la coupe géologique des vieilles forges du Saint-Maurice a également été faite afin de visualiser les types de dépôts meubles qui caractérisent les formations quaternaires pré-wisconsinniennes.



*Relevés Quaternaires (Guillaume Légaré à gauche, Michel Parent et François Hardy à droite)*

## 2.2.2 RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Entre mai et août 2010, **75 sondages électriques** ont été réalisés afin de préciser la séquence lithostratigraphique de quelques-uns des contextes hydrogéologiques types identifiés dans le cadre de l'étape 1 du projet. Les relevés ont été effectués par Brian Bélisle (étudiant au bacc. à l'UQAM), Fanny Fortier-Fradette (finissante, CEGEP de Thetford-Mines) et Philippe Davignon (finissant, CEGEP de Thetford-Mines), sous la supervision de Yves Leblanc de l'UQTR.

Les travaux ont été réalisés avec l'équipement suivant, loué au CEGEP de Thetford Mines :

- Transmetteur TX-II et une génératrice de 2 000 W, GDD Instrument
- Récepteur PP GRX-832 à 8 branchements, GDD Instrument
- 11 câbles électriques (1 de 10 m, 2 de 30 m, 2 de 35 m, 2 de 45 m, 2 de 70 m et 2 de 90 m)
- 12 Électrodes



*Réalisation des relevés de résistivité électrique*

Les relevés ont été effectués à l'aide de quatre électrodes implantées dans le sol et reliées à l'appareil récepteur utilisé pour la mesure de la résistance électrique. Les électrodes étaient configurées selon le dispositif de Wenner. Dans cette configuration, les électrodes d'injection se situent de chaque côté du point de mesure. Afin d'obtenir un profilage vertical de la résistivité électrique, une succession de mesures sont effectuées en augmentant à chaque fois la longueur du dispositif, de façon à augmenter graduellement la profondeur d'investigation du courant électrique. Chaque valeur de la résistivité apparente est affectée à une pseudo profondeur relative. L'interprétation des données a été effectuée dans un chiffrier Excel en positionnant les contacts aux points d'inflexion des courbes de résistivité en fonction de la profondeur, tandis que le type de matériau a été déterminé en fonction des résistivités théoriques des sols et calibré sur des stratigraphies locales. Les interprétations ont ensuite été validées à l'aide de données existantes de forages situés dans un rayon de l'ordre de 500 m des relevés effectués. Les données et résultats de ces relevés sont présentés à l'**annexe 3**.

### 2.2.3 SISMIQUE RÉFRACTION

Entre mai et août 2010, **50 relevés de sismique réfraction** ont été réalisés. Les relevés ont été effectués par la même équipe de terrain que celle utilisée pour la réalisation des relevés de résistivité électrique. Les travaux ont été réalisés avec l'équipement suivant, loué au CEGEP de Thetford Mines :

- 1 Marteau mécanique et une remorque de transport
- Propelled Energy Generator, PEG-40, The RT Clark Compagnies inc.
- 1 Exploration seismograph, Smartseis STI
- 24 Géophones
- 2 Câbles de réception des géophones
- 1 Batterie marine à décharge profonde
- 1 Chargeur à batterie



*Réalisation des relevés de sismique-réfraction*

Les relevés ont été effectués en déployant un réseau de 24 géophones espacés de dix mètres (seulement 12 géophones au cours de la première partie de l'été 2010) dans le sol et reliés au sismographe récepteur, puis en envoyant une onde sismique dans le sol à l'aide d'un marteau mécanique monté sur une remorque. De façon générale, une onde de choc était envoyée à chaque extrémité du dispositif de géophones, permettant ainsi d'obtenir deux sondages espacés de 240 m à chaque dispositif de géophones installé.

L'interprétation des sismogrammes obtenus à chaque sondage a permis de déterminer la vitesse de propagation des ondes dans chacun des milieux géologiques traversés, ainsi que l'épaisseur de chacun de ces milieux géologiques. Par la suite, un type de matériau a été attribué à chacun des milieux recoupés en fonction des vitesses théoriques de propagation des ondes. Les interprétations ont ensuite été validées à l'aide de données existantes de forages situés dans un rayon de l'ordre de 500 m des relevés effectués. Les données et résultats de ces relevés sont présentés à **l'annexe 4**.

---

#### 2.2.4 SISMIQUE-RÉFLEXION HAUTE-RÉSOLUTION

Un total de **63 km linéaires de sismique-réflexion haute-résolution** ont été acquis par l'équipe de la Commission géologique du Canada en 2010 et 2011. Ces levés ont été effectués dans la plaine argileuse entre Louiseville et Saint-Angèle de Prémont, entre Saint-Barnabé et Saint-Élie-de-Caxton, ainsi que dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice, à Pointe-du-Lac, Saint-Louis-de-France et Notre-Dame-du-Mont-Carmel.



*Réalisation des relevés de sismique-réflexion haute-résolution*

Les levés ont été effectués en utilisant un dispositif de géophones à trois composantes fixes sur des luges espacées de 1,5 mètres appelées Landstreamer et reliées à un véhicule vibreur tout-terrain (Minivibe I, Industrial Vehicles International Inc.) pour générer le signal vibratoire dans une séquence de fréquences allant de 20 Hz à 240 Hz. La distance d'espacement des points de tirs était de 4,5 m. Les données et résultats de ces relevés sont présentés à **l'annexe 5**.

---

#### 2.2.5 ESSAIS DE PÉNÉTRATION AU CÔNE

Un total de **11 essais de pénétration au cône** (Cone penetration testing ou CPT) ont été effectués au cours du mois d'octobre 2010 par l'équipe de l'INRS (Jean-Marc Ballard et Xavier Mallet), sous la supervision de Yves Leblanc de l'UQTR.

Ce type d'essai permet d'obtenir la stratigraphie continue des dépôts meubles aux endroits sondés, en plus de permettre de faire des mesures de teneur en eau et de la résistivité électrique des matériaux. Ces travaux ont également permis l'installation de puits d'observation et la réalisation de mesures de niveaux d'eau et d'essais de perméabilité.



*Réalisation des essais de pénétration au cône*

Afin de réaliser ces travaux, le système de sondage intégré disponible au Centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE) a été employé. Celui-ci utilise des méthodes par enfoncement et par rotoperçusion jumelées à un dispositif d'acquisition de données. Le système est constitué d'une foreuse Geotech 605D, avec plateforme sur chenille. Le système de sondage est muni de deux têtes de forage ; la première permet de faire les sondages par enfoncement en poussant les trains de tige, tandis que la seconde, munie d'un marteau pneumatique et d'une entrée pour l'air comprimé, permet de faire des sondages par rotoperçusion. Le système de forage est constitué de trains de tiges qui permettent de faire des sondages par rotoperçusion jusqu'à 40 m. Sans l'utilisation du marteau pneumatique, des profondeurs de 20 à 30 m peuvent être atteintes dans les dépôts meubles pour les sondages par enfoncement.

Les essais de pénétration au cône ont été réalisés en enfonçant à vitesse constante la sonde d'acquisition de données. Durant l'enfoncement des sondes, les mesures et les paramètres de forage étaient disponibles en temps réel et ont été enregistrés numériquement. Les mesures obtenues simultanément sont les suivantes :

- Résistance en pointe;
- Friction;
- Pression interstitielle;
- Résistivité électrique globale;
- Teneur en eau des matériaux.

Une fois les sondages réalisés, des puits d'observation ont été installés. Ceux-ci sont composés d'une crépine de PVC de trois mètres de longueur et de 25 mm de diamètre, surmontée d'un tubage de PVC du même diamètre. Ils sont protégés en surface au moyen d'un tubage protecteur de PVC de 1,5 m de longueur et de 150 mm de diamètre muni d'un couvercle cadenassé. Les assemblages ont été insérés à

l'intérieur d'un train de tubage de 50 mm de diamètre, muni d'une pointe conique, enfoncé par pression à la profondeur désirée. Une fois les assemblages insérés, le tubage était retiré, en laissant la pointe en place. Puis le tubage protecteur et le couvercle étaient installés. Le diamètre des tubages n'étant pas assez grand, il n'était pas possible d'insérer un massif de sable filtre ni un bouchon de bentonite dans l'espace annulaire. Les crépines reposent donc directement dans les matériaux naturels. Les données et résultats de ces relevés sont présentés à **l'annexe 6**.

---

#### 2.2.6 FORAGES

Au total, **23 forages** ont été réalisés entre 2010 et 2012 à l'aide de différentes techniques et avec la collaboration de plusieurs partenaires. Les forages ont permis de documenter la stratigraphie des secteurs moins bien connus et, dans la majorité des cas, d'installer des puits d'observation. Les sols recoupés par les forages ont été échantillonnés à des intervalles réguliers ou à la transition entre deux unités. Trois échantillons de coquillages ou de matériel organique ont été soumis à des datations radiométriques et les microfossiles ont également été analysés dans certains échantillons pour préciser l'environnement de déposition. L'eau des puits d'observation a été échantillonnée et des mesures de niveau d'eau et des essais de pompage ont été réalisés dans la majorité des cas.

##### Forage Rotosonic

**Un puits d'essai a été foré et aménagé avec la méthode Rotosonic.** Ce forage a été réalisé en décembre 2010 dans la municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel par l'entrepreneur Boart Longyear, en sous-traitance pour la Commission Géologique du Canada. Le travail a été effectué à l'aide d'une foreuse Boart Longyear BL 3000 sur chenilles. La méthode Rotosonic emploie une vibration à fréquence élevée couplée à la rotation des sections de tubage afin d'enfoncer celles-ci dans les sols et dans le socle rocheux. Le diamètre nominal des tubages enfoncés est de 125 mm. La récupération des échantillons de sol était faite à l'aide d'un carottier de 100 mm de diamètre et d'une longueur de six mètres, enfoncé également par vibration à l'intérieur du tubage extérieur. Cette méthode de forage permet un échantillonnage en continu tout en conservant la structure des sédiments. Une fois remontés en surface, les échantillons étaient récupérés en continu et enrobés au fur et à mesure dans un sac de polyéthylène en sections de 1,5 m de longueur. Une fois refermés et identifiés, les sacs étaient remisés dans une boîte de bois munie d'un couvercle.

Une fois le forage complété à une profondeur de 70 m, une section de tubage plein en PVC d'un diamètre de 100 mm, enrobé de bentonite en granules, a été aménagée entre 70 m et 53,3 m de profondeur et de 50,3 m de profondeur à la surface. Une section crépinée de trois mètres de longueur et enrobée de sable filtre calibré de grade 1 a été aménagée entre 53,3 m et 50,3 m. Le puits a été complété en surface à l'aide d'un tubage protecteur de PVC d'un diamètre nominal de 150 mm et d'une longueur totale de 2,5 m, muni d'un couvercle cadenassé. Tous les échantillons récupérés lors de

la réalisation du forage ont été livrés au laboratoire du Centre Géoscientifique de Québec où les carottes ont été balayées par un scanner tomodensitométrie.

### Forages à double rotation

Le forage à rotation double à air comprimé se caractérise par un train de tiges et d'un trépan qui fore à l'intérieur d'un tubage d'acier. La rotation et l'enfoncement simultané du train de tiges et du tubage d'acier procurent la double rotation et permettent la récupération d'échantillons non contaminés par les strates supérieures. L'air comprimé injecté dans le train de tiges fait remonter les sédiments dans l'espace annulaire entre le train de tiges et le tubage d'acier jusqu'à un cyclone qui permet d'évacuer la pression d'air vers le haut, tandis que l'échantillon s'écoule vers le bas où il est récupéré. Tout au long du forage, l'air comprimé et l'eau servent de fluide de forage.



*Réalisation de forages double rotation (FE-05 à gauche) et à la boue avec carottage des sols (FE-18 à droite)*

Au total, **neuf forages de type rotation double furent réalisés**. Les puits FE-01-11, FE-02-11, FE-04-11, FE-10-11 et FE-16-12 ont été dotés de crépines de PVC de 50 mm. Les puits FE-05-11, FE-07-11 et FE-09-11 ont plutôt été conçus avec une crépine d'acier de 150 mm. L'échantillonnage des sédiments rencontrés a été effectué à des intervalles de 1,5 m.

### Forage à percussion

Le forage à percussion s'effectue pour sa part par battage du tubage. À l'aide d'un système de câbles, le tubage est enfoncé mécaniquement par battage. Une fois la partie du forage effectuée, on insère un tube à clapet qui permet de récupérer le matériel foré et le remonter à la surface afin de procéder à l'échantillonnage. Au total, **quatre forages de type percussion furent réalisés**. Une crépine de PVC de 50 mm fut installée dans chacun des puits. L'échantillonnage des sédiments rencontrés a été effectué à des intervalles de 1,5 m.

### Forage à la boue avec carottage des sols

Le forage par rotation à la boue avec carottage des sols se caractérise par un tube d'acier muni d'une couronne de diamant à l'intérieur duquel les tiges de forage sont insérées. Le fluide de forage utilisé est la boue faite d'un mélange d'eau et de bentonite. La boue est utilisée afin d'éviter l'envahissement du tubage par les sédiments sous l'effet de la pression hydrostatique. Un carottier est utilisé afin de récupérer les sédiments. **Deux forages à la boue furent réalisés.** L'échantillonnage des sédiments rencontrés a été effectué à des intervalles de 1,5 m. Aucune crépine n'a été installée dans ces puits.

### Forage à tarière évidée

Le forage à tarière évidée utilise une tarière enfoncée par rotation jusqu'à la profondeur désirée. Les échantillons de sol sont récupérés par segments de 60 cm en enfonçant par battage un échantillonneur de type cuillère fendue. Les avantages de ce type de forage sont l'utilisation d'aucun fluide de forage, la rapidité ainsi que la préservation des structures de sol aux fins d'observations. **Un seul forage de type tarière évidée fut réalisé.** L'échantillonnage des sédiments rencontrés a été effectué à des intervalles de 1,5 m. Une crépine de PVC de 50 mm fut installée dans le puits.

### Forages Pionjar

Dans le but de mieux caractériser le contact entre les sédiments organiques et les sables sous-jacents dans la tourbière du Lac-à-la-Tortue, **quatre forages doubles au Pionjar** ont été réalisés à l'hiver 2012. Le matériel utilisé fut prêté par le laboratoire de Marie Larocque de l'Université du Québec à Montréal.

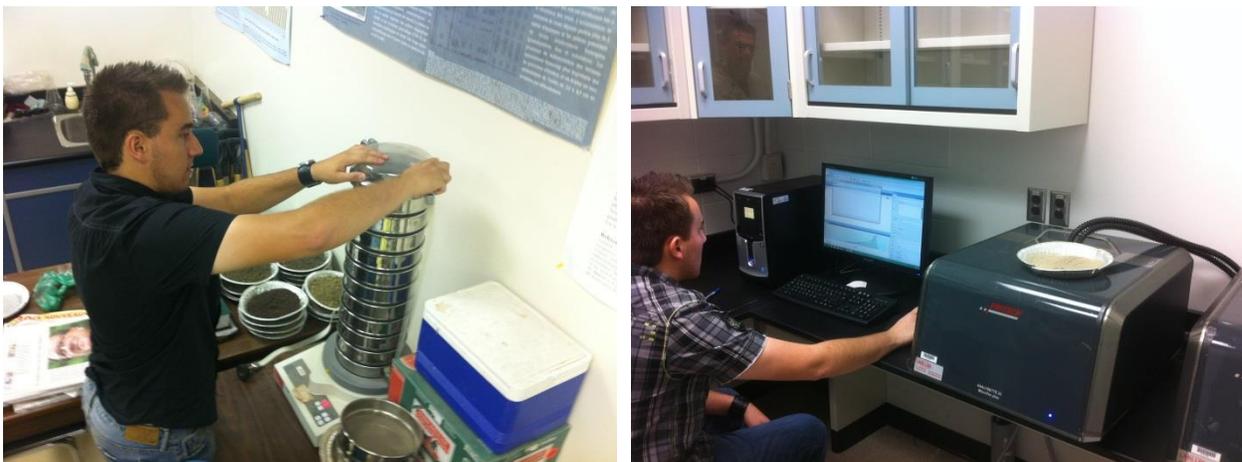
Les données et résultats de tous ces forages sont présentés à **l'annexe 7**. **L'annexe 8** regroupe, quant à elle, des coupes hydrostratigraphiques de **forages tirés de rapports archivés**.

---

#### 2.2.7 ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

Parmi les centaines d'échantillons de sédiments récoltés lors des forages, environ un échantillon sur deux a fait l'objet d'une analyse granulométrique. Les premiers échantillons au sommet et à la base des forages étaient systématiquement analysés ainsi que ceux des zones de transition observées sur le terrain. Les analyses ont été réalisées par voie de tamisage et au granulomètre laser. Les échantillons grossiers (>2mm) ont été analysés par voie de tamisage. Une partie des échantillons (environ 300g selon la quantité disponible) fut dans un premier temps séchée à 105°C pendant 24 heures. L'échantillon fut ensuite tamisé pendant 15 minutes dans une colonne de tamis préalablement pesés. Le poids initial des tamis fut soustrait du poids final pour ainsi déterminer le poids et la proportion de chaque classe de sédiments. Les résultats furent utilisés pour générer une courbe granulométrique de laquelle les diamètres passants (D<sub>x</sub>) furent calculés afin de pouvoir déterminer la conductivité hydraulique de chaque échantillon.

Les échantillons contenant des particulières inférieures à 2 mm furent traités à l'aide du granulomètre à diffraction laser (Analysette 22 MicroTec Plus de Fritsch) du laboratoire du Centre de Recherche sur les Interactions Bassins Versants - Écosystèmes aquatiques (RIVE) de l'UQTR. L'échantillon est tout d'abord inséré dans un bassin d'eau où les ultrasons procèdent à la dispersion des sédiments. L'échantillon est ensuite transféré automatiquement dans une unité de mesure où la distribution est déterminée ainsi que diverses statistiques (moyenne, médiane, mode, surface spécifique, etc.). Un duplicata fut réalisé pour chaque échantillon afin de s'assurer de la représentativité des résultats. La classification désirée ainsi que les Dx furent par la suite attribués afin de réaliser les courbes granulométriques. Au total, **425 analyses granulométriques** furent réalisées. Les tableaux synthèse et fiches d'analyse sont présentés à l'**annexe 9**.



*Analyses granulométriques par tamisage (à gauche) et laser (à droite)*

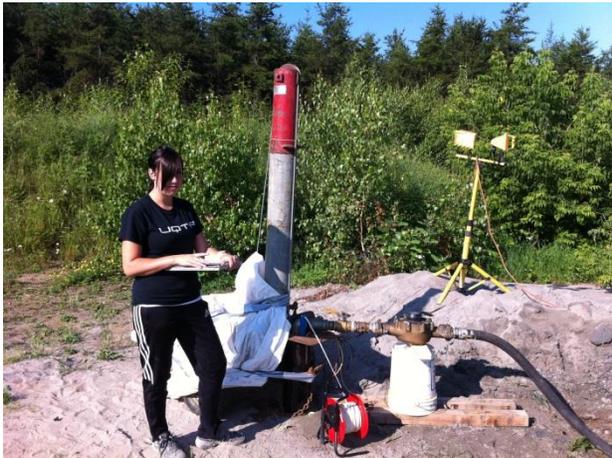
## 2.2.8 ANALYSES MINÉRALOGIQUES

Une série de quatorze (14) échantillons de sable a été soumise au laboratoire *IOS Services Géoscientifiques* pour procéder à une étude minéralogique. Ces derniers proviennent de séquences sablonneuses (paleodelta) dans la région de Trois-Rivières. Le but de ces analyses était de caractériser la minéralogie de ces sables afin de déterminer si leur composition a une influence sur problématique ferrugineuse des eaux souterraines. Les minéraux suspectés avoir une influence sur les eaux souterraines sont à priori les sulfures de fer, telles que la pyrite, la pyrrhotite et l'arsénopyrite. Les autres phases minérales contenant du fer sont les oxydes (magnétite, hématite, ilménite) et les hydroxydes de fer (goethite, lépidocrocite), divers silicates (biotite, chlorite, pyroxène, amphibole et olivine principalement) et certains types de carbonate de fer (sidérite, ankérite). Une copie du rapport de laboratoire est présentée à l'**annexe 10**.

## 2.2.9 ESSAIS HYDRAULIQUES ET MESURES DE NIVEAUX D'EAU

Des essais de perméabilité à charge variable, des essais de pompage de courte durée et des mesures de niveaux d'eau ont été réalisés entre juillet et décembre 2010 et entre juin et août 2011. Les **essais de perméabilité** à charge variable ont été réalisés dans des puits d'observation de 25 mm, de 34 mm et de 50 mm en mesurant la remontée des niveaux d'eau, suite à un brusque relâchement d'une pression d'air appliquée dans les puits. La mesure des niveaux d'eau était faite à l'aide d'une sonde pressiométrique à enregistrement automatique (sonde Levelogger de Solinst, modèle 3001) programmée pour une saisie de donnée à toutes les demi-secondes. Les données ont ensuite été traitées dans le logiciel Aquifer Test, version 4.2 en utilisant la méthode de Bouwer & Rice.

Les **essais de pompage** ont été réalisés au cours des travaux d'échantillonnage d'eau souterraine, pendant les périodes de purge et de remplissage des contenants ou à la suite de l'aménagement des puits d'essais. Lorsque les puits étaient accessibles et avec l'accord des propriétaires, une mesure du niveau statique du puits était faite à l'aide d'une sonde électrique conventionnelle, puis une sonde pressiométrique à enregistrement automatique (sonde Levelogger de Solinst, modèle 3001) programmée pour une saisie de donnée à toutes les minutes était insérée dans le puits afin d'enregistrer les niveaux d'eau en condition de pompage. En cours d'essai, le débit de pompage était mesuré en chronométrant le temps requis pour remplir un contenant gradué. La durée de ces essais a varié de 15 à 30 minutes, dans les puits résidentiels testés et de 2 à 24 heures dans le cas des puits d'essai aménagés dans le cadre du projet. Les données ont ensuite été traitées dans le logiciel Aquifer Test, version 4.2 en utilisant les méthodes de Theis et/ou de Cooper-Jacob.



*Réalisation des essais de pompage à grand débit (à gauche) et à faible débit (à droite)*

Les **mesures de niveaux d'eau** ont également été effectuées lors des travaux d'échantillonnage d'eau souterraine. Une mesure du niveau statique du puits était alors faite à l'aide d'une sonde électrique conventionnelle avant de débiter la purge du puits. Les données et résultats de ces relevés sont présentés à l'**annexe 11**.

---

### 2.2.10 DATATION C14 DE FOSSILES

Trois échantillons ont été datés au radiocarbone par le laboratoire Beta Analytic pour le compte de la Commission géologique du Canada, soit deux échantillons de bois (Forages FE-02 et FE-16) et des coquilles (FE-17). Une copie du rapport de laboratoire est présentée à l'**annexe 11**.

---

### 2.2.11 ANALYSES DE MICROFOSSILES

Afin de préciser l'environnement de déposition de certains niveaux stratigraphiques, des analyses de microfossiles (diatomées) ont été réalisées dans 10 échantillons afin de déterminer s'ils provenaient d'un environnement marin, estuarien, lacustre ou glaciolacustre. Les analyses ont été réalisées au Laboratoire de recherche sur les bassins versants de l'UQTR.

---

### 2.2.12 ÉCHANTILLONNAGE D'EAU SOUTERRAINE

Le programme d'échantillonnage d'eau souterraine s'est déroulé entre 2010 et 2012. Au total, **243 échantillons** ont été prélevés à partir de différents types d'ouvrages de captage sélectionnés dans une variété de contextes hydrogéologiques. La figure 2.2 montre la localisation des stations d'échantillonnage d'eau souterraine. Le détail de la méthodologie utilisée et des résultats obtenus est présenté dans le mémoire de maîtrise de Karine Lacasse (2013).

Une identification préliminaire d'ouvrages de captage a été faite suite à des rencontres avec les municipalités partenaires et suite à des communiqués de presse dans les médias. Par la suite, une sélection a été effectuée en fonction de la répartition spatiale des ouvrages de captage, du type d'ouvrage de captage et du type d'utilisation.

Les travaux d'échantillonnage ont consisté à faire le calibrage des appareils et la mesure *in situ* de paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité électrique et oxygène dissous), le prélèvement de l'échantillon d'eau souterraine et l'acheminement des échantillons vers le laboratoire.

Les instruments et matériaux suivants ont été utilisés :

- gants en latex sans poudre, boyau d'arrosage et sceau de dix litres,
- contenants d'échantillonnage :
  - cinq bouteilles de 250 mL (Polyéthylène),
  - deux bouteilles de 1 L (Polyéthylène),
  - une bouteille de 60 mL (HDPE),
- filtres « Inline Disposable 0,45 Micron Filter Model FHT-45 »,
- sonde multiparamètres (*Hydrolab Quanta*).

Le prélèvement des échantillons d'eau a été effectué selon le protocole commun à tous les projets PACES dont une synthèse est présentée à l'**annexe 2**. La purge et le remplissage des bouteilles d'échantillonnage ont nécessité vingt minutes en moyenne par ouvrage de captage.

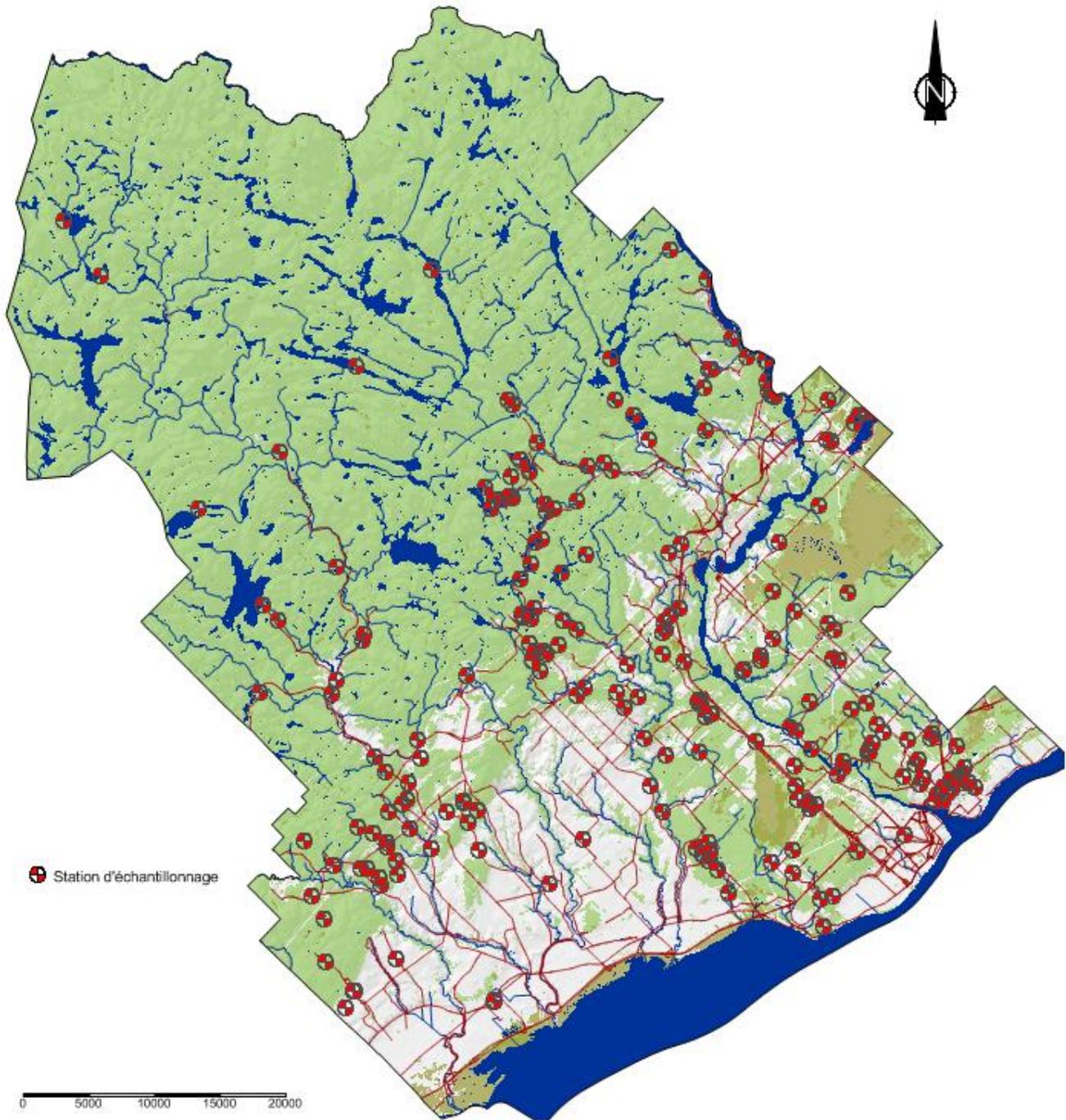
Pendant le prélèvement des échantillons, un formulaire était complété avec l'utilisateur d'eau souterraine afin de recueillir le plus d'informations possible sur l'ouvrage de captage échantillonné. Les informations qui ont été récoltées sur le terrain sont les suivantes :

- Coordonnées du propriétaire de l'ouvrage de captage;
- Localisation de la station (coordonnées géographiques et photographies);
- Description de l'environnement immédiat et des conditions météorologiques;
- Informations sur le captage (type de puits, profondeur du puits, type de sol, présence d'un traitement, présence d'un réservoir, utilisation de l'eau, si l'ouvrage de captage est relié à un aqueduc, débit moyen du puits et population desservie, si applicable.);
- Réalisation d'un schéma du captage et du système de pompage;
- Perception de la qualité de l'eau;
- Niveau de l'eau et hauteur de la margelle;
- Activités potentiellement polluantes à proximité;
- Mesure *in situ* (débit du puits, durée de la purge, température de l'eau, pH, conductivité électrique, salinité, oxygène dissous et potentiel redox.)

Une fois prélevés, les échantillons étaient ensuite transportés dans une glacière jusqu'au laboratoire de recherche sur les bassins versant de l'Université du Québec à Trois-Rivières. En laboratoire, un turbidimètre (Thermos Orion) a permis de prendre les mesures de turbidité.

Les échantillons prélevés pour fins d'analyse physico-chimique ont été envoyés au laboratoire Maxxam deux fois par semaine, soit les mardis et les jeudis, tandis que les échantillons prélevés pour fins d'analyses microbiologiques ont été livrés à chaque journée de prélèvement au laboratoire Biolab de Trois-Rivières. L'UQTR a choisi de faire effectuer des analyses microbiologiques afin d'offrir une analyse complète aux propriétaires d'ouvrages de captages et de les sensibiliser à l'importance du suivi de leur puits. Seuls les puits résidentiels ont été soumis à ces analyses, puisque les puits municipaux font déjà l'objet d'un suivi réglementaire. Tel que requis par le MDDEFP, les deux laboratoires d'analyses sont dûment accrédités. Le **tableau 2.2** présente un résumé des paramètres analysés, ainsi que le volume des contenants utilisés, l'ordre de remplissage des bouteilles, le type d'agent de conservation et la nécessité de filtration de l'échantillon. L'**annexe 13** présente les certificats d'analyse bactériologique et l'**annexe 14** les certificats des analyses chimiques.

Figure 2.2 Localisation des puits échantillonnés



**Tableau 2.2 Paramètres utilisés et contenants d'échantillonnage**

Contenant	Paramètres	Ordre de remplissage	Agent de conservation	Filtration terrain
Anions (Polyéthylène 250 ml)	Alcalinité totale Bromures (Br) Chlorures (Cl) Fluorures (F) Nitrites+Nitrates (NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> ) Sulfates (SO <sub>4</sub> )	1	Aucun	Aucune
Isotopes de l'eau (HDPE, 60 ml)	<sup>2</sup> H et <sup>18</sup> O	2	Aucun	Aucune
Datation-Tritium (HDPE 1L)	Tritium ( <sup>3</sup> H)	3	Aucun	Aucune
Nutriments (Polyéthylène 250 ml)	Azote ammoniacale (NH <sub>4</sub> ) Phosphore total inorganique (P)	4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.45 µm
Métaux (Polyéthylène 250 ml)	Aluminium (Al)    Lithium (Li) Antimoine (Sb)    Magnésium (Mg) Argent (Ag)        Manganèse (Mn) Arsenic (As)       Molybdène (Mo) Baryum (Ba)        Nickel (Ni) Béryllium (Be)    Potassium (K) Bismuth (Bi)       Plomb (Pb) Bore (B)            Sélénium (Se) Calcium (Ca)       Silicium (Si) Cadmium (Cd)      Sodium (Na) Chrome (Cr)        Strontium (Sr) Cobalt (Co)        Titane (Ti) Cuivre (Cu)        Uranium (U) Étain (Sn)          Vanadium (V) Fer (Fe)            Zinc (Zn)	5	HNO <sub>3</sub>	0.45 µm
Sulfures (Polyéthylène 250 ml)	Sulfures totaux (S)	6	Acétate de Zinc+ NaOH	Aucune
Isotopes du carbone (HDPE 1L)	Carbone 13 ( <sup>13</sup> C) Carbone 14 ( <sup>14</sup> C)	7	Sodium azide (NaN <sub>3</sub> )	Aucune
Bactéries (Polyéthylène 250 ml)	Bactéries atypiques Coliformes totaux Coliformes fécaux Entérocoques	8	Oui	Aucune

**Cinquante-sept** des échantillons prélevés ont été retenus pour fins de **mesure isotopique** afin d'évaluer l'âge de l'eau et de déterminer l'origine des molécules de nitrates retrouvées dans l'eau souterraine. Ces analyses ont été effectuées au laboratoire du GÉOTOP et au laboratoire de géochimie de l'Université de Waterloo. **L'annexe 15** présente les résultats des analyses isotopiques.

Le **contrôle de la qualité** des échantillons a été effectué en prélevant environ 10% des échantillons en duplicata et en reprenant systématiquement tout échantillonnage dont l'un des paramètres excédait la concentration maximale acceptable (CMA). Lorsqu'un dépassement CMA était constaté, le propriétaire

en était informé immédiatement. Le laboratoire d'analyses a également procédé à l'interne à l'analyse en duplicata de certains échantillons. Des blancs de terrain ont aussi été prélevés et certains filtres ont été analysés. De plus, une fois les résultats compilés, la balance ionique des échantillons et la comparaison de la somme des anions et de la somme des cations avec la conductivité électrique des échantillons ont été calculées pour valider les résultats analytiques.

Les résultats d'analyse ont été envoyés aux propriétaires des ouvrages de captage échantillonnés par la poste à la fin de la période d'échantillonnage. Lorsque des dépassements de la CMA étaient constatés, les propriétaires étaient conseillés sur des procédures à suivre et ils ont été référés au site du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) concernant la méthodologie de désinfection d'un ouvrage de captage. La Direction de la santé publique de la Mauricie a également été contactée lors d'un dépassement de norme. Les employés de la santé publique ont contacté les propriétaires ayant un dépassement de norme afin d'effectuer un suivi avec eux.



*Travaux d'échantillonnage d'eau souterraine*

## 2.3 BASE DE DONNÉES

L'ensemble des données hydrogéologiques pertinentes qui ont été colligées à partir de l'information existante et à partir des travaux de caractérisation a d'abord été compilé dans un fichier Excel sous la forme d'une base de données temporaire. Au cours de la troisième phase du projet, les données ont été transférées dans une base de données relationnelle dans Access.

Les données colligées ont été subdivisées en cinq catégories, soit :

- L'identification du point de mesure à l'aide d'un identifiant unique;
- Les coordonnées géographiques et l'évaluation de la fiabilité de celles-ci;
- Les données hydrogéologiques;
- La séquence lithostratigraphique recoupée;
- Les données de qualité de l'eau.

Les **tableaux 2.3 à 2.7** présentent les types d'informations qui ont été colligées dans la base de données à partir des informations existantes. Des informations granulométriques et physico-chimiques complètes se sont ajoutées suite aux travaux de caractérisation hydrogéologique.

**Tableau 2.3 Identification du point de mesure**

IDU	Identifiant unique du point de mesure
Source	Identification de la source de l'information
Municipalité	Municipalité où se situe le point de mesure
Rapport	Identifiant du rapport utilisé s'il y a lieu
Date	Date de construction du puits ou du rapport
Numéro	Numéro de forage figurant dans le rapport consulté
Type	Type de point de mesure
Utilisation	Utilisation du point de mesure
Activité	État d'utilisation actuel du point de mesure, si connu

**Tableau 2.4 Coordonnées et évaluation de la fiabilité de la localisation**

Coor X MTM (m)	Coordonnée est dans le système MTM
Coor Y MTM (m)	Coordonnée nord dans le système MTM
FL1	Critère de fiabilité de localisation 1 (voir protocole)
FL2	Critère de fiabilité de localisation 2 (voir protocole)
Élévation ref. (m)	Élévation du point de référence (sol ou sommet tubage)
FL3A	Critère de fiabilité de localisation 3A (voir protocole)
FL3B	Critère de fiabilité de localisation 3B (voir protocole)
Positionnement	Méthode utilisée pour localiser le point de mesure

**Tableau 2.5 Hydrogéologie**

Aquifère	Type d'aquifère recoupé (dépôts meubles ou socle rocheux)
État	État de l'aquifère (libre ou captif)
Profondeur puits (m)	Profondeur, s'il s'agit d'un puits
Longueur tubage (m)	Longueur totale de tubage s'il s'agit d'un puits
Longueur crépine (m)	Longueur de la crépine, s'il s'agit d'un puits crépiné
Margelle (m)	Hauteur du tubage par rapport au niveau du sol
T (m <sup>2</sup> /d)	Transmissivité de l'aquifère
K (m/s)	Conductivité hydraulique de l'aquifère
b (m)	Épaisseur saturée de l'aquifère
S (sans unité)	Coefficient d'emménagement de l'aquifère
Q/s (m <sup>3</sup> /d/m)	Capacité spécifique du puits
Statique (m)	Niveau statique au moment initial
Dynamique (m)	Niveau dynamique mesuré à la fin d'un essai de pompage
Débit (m <sup>3</sup> /d)	Débit de l'essai de pompage effectué
Roc (m)	Profondeur du socle rocheux si atteint

**Tableau 2.6 Séquence lithostratigraphique**

Prof. Forage (m)	Profondeur totale atteinte par le forage
Séquence stratigraphique	Numéro de la séquence recoupée
Épaisseur (m)	Épaisseur de la séquence
Description	Description lithostratigraphique de la séquence

**Tableau 2.7 Qualité de l'eau**

Coli totaux (UFC/100 ml)	Quantification des coliformes totaux
coli fécaux (UFC/100 ml)	Quantification des coliformes fécaux
streptocoques (UFC/100 ml)	Quantification des bactéries streptocoques
pH	pH
conductivité (ms/cm)	Conductivité électrique
alcalinité (mg/l)	Alcalinité totale
dureté totale (mg/l)	Dureté totale
chlorures (mg/l)	Chlorures
Fer (mg/l)	Fer dissous
Manganèse (mg/l)	Manganèse dissous
Nitrites-Nitrates (mg/l)	Somme des nitrites et nitrates
Sulfures (mg/l)	Sulfures

### 3 DESCRIPTION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE

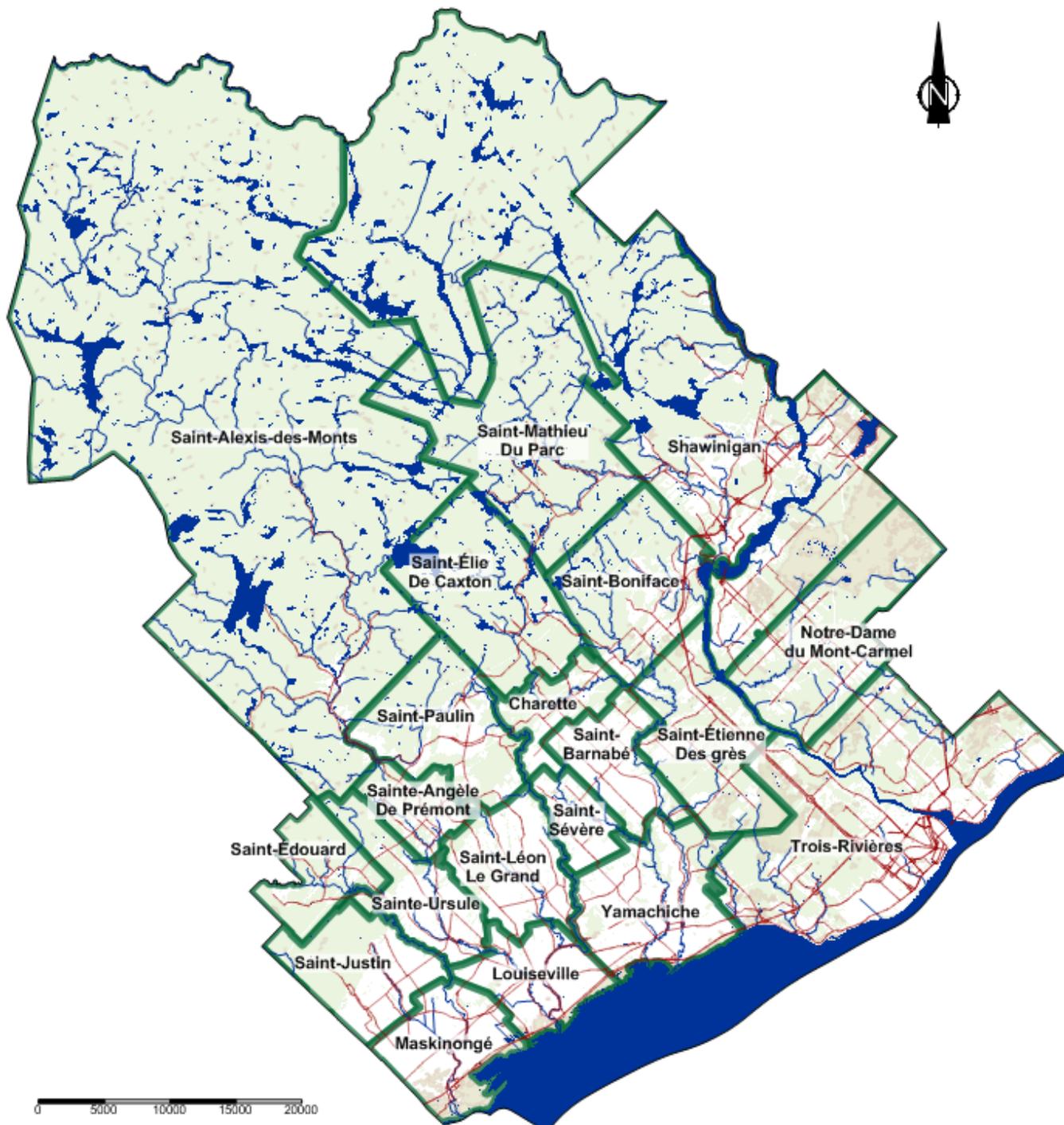
#### 3.1 ROUTES ET LIMITES TERRITORIALES

Le territoire à l'étude est situé au sud-ouest de la Mauricie. Sa **superficie est de 3 915 km<sup>2</sup>**. Il couvre la MRC de Maskinongé, les villes de Trois-Rivières et de Shawinigan ainsi que la municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel (MRC Des Chenaux). La **figure 3.1** présente le réseau routier issu de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) et les limites administratives du Système sur les découpages administratifs (SDA) du ministère des ressources naturelles (MRN). La **MRC de Maskinongé** et ses 17 municipalités font intégralement partie de l'aire d'étude et occupent plus de 65% de la superficie du territoire (Tableau 3.1). Les villes de **Shawinigan** et de **Trois-Rivières** occupent respectivement 21% et 9% de la superficie du territoire. **Notre-Dame-du-Mont-Carmel** est la seule municipalité de la MRC des Chenaux qui est incluse dans l'aire d'étude. Elle occupe, quant à elle, 5% de la superficie du territoire.

**Tableau 3.1 Municipalités du territoire à l'étude**

Municipalité	MRC ou ville	Superficie (km <sup>2</sup> )
Saint-Alexis-des-Monts	Maskinongé	1137.70
Shawinigan	Shawinigan	800.27
Trois-Rivières	Trois-Rivières	334.83
Saint-Mathieu-du-Parc	Maskinongé	228.12
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Des Chenaux	130.44
Saint-Élie-de-Caxton	Maskinongé	129.69
Saint-Boniface-de-Shawinigan	Maskinongé	112.01
Yamachiche	Maskinongé	107.08
Saint-Étienne-des-Grès	Maskinongé	106.12
Saint-Paulin	Maskinongé	97.94
Saint-Justin	Maskinongé	79.64
Maskinongé	Maskinongé	74.42
Saint-Léon-le-Grand	Maskinongé	75.78
Sainte-Ursule	Maskinongé	68.29
Louiseville	Maskinongé	63.47
Saint-Barnabé	Maskinongé	58.92
Saint-Édouard-de-Maskinongé	Maskinongé	53.76
Charette	Maskinongé	42.27
Sainte-Angèle-de-Prémont	Maskinongé	37.88
Saint-Sévère	Maskinongé	32.25
Territoire non-organisé aquatique	Maskinongé, Shawinigan	143.71

Figure 3.1 Routes, limites municipales et toponymie



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 2 accompagnant ce rapport.

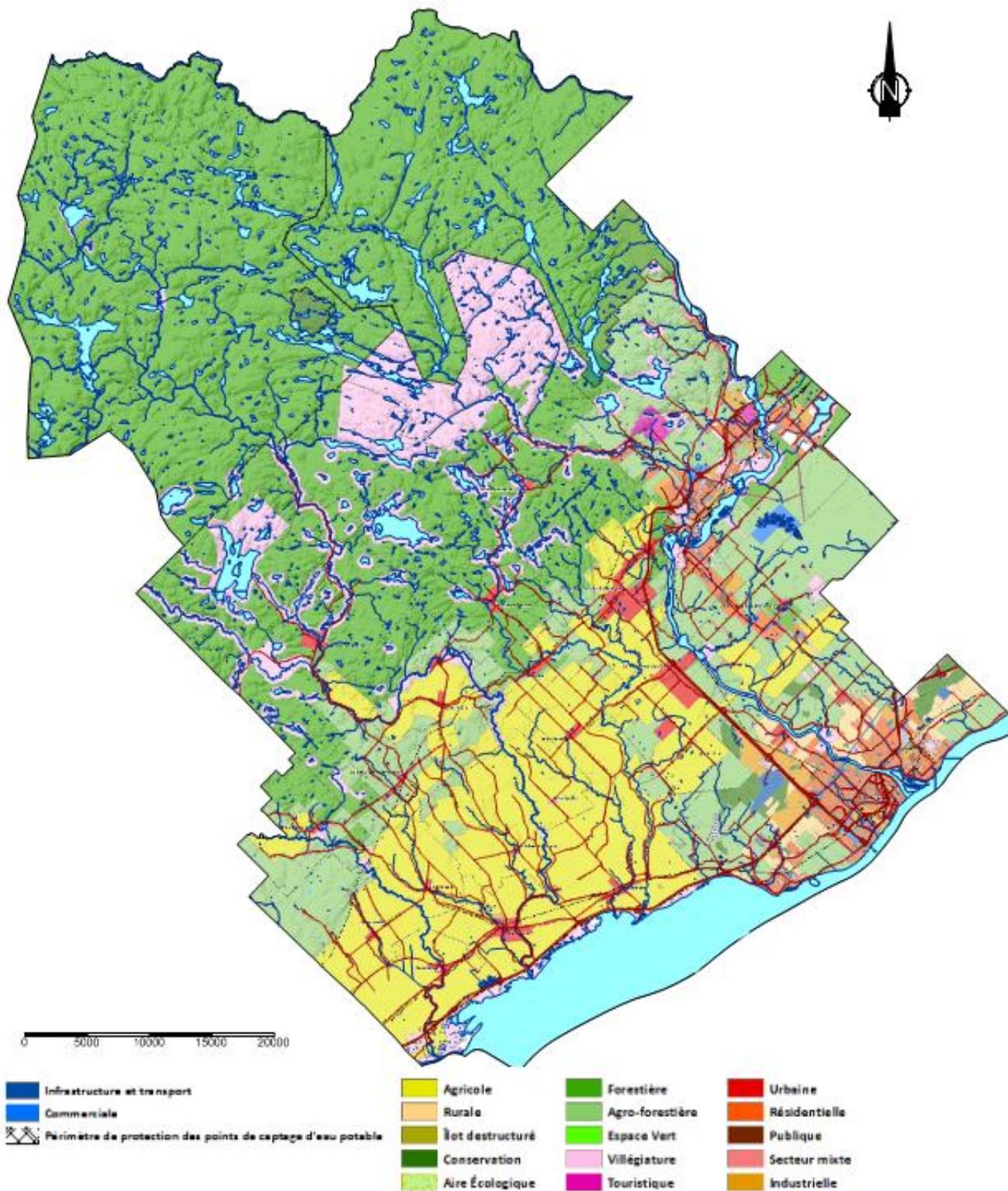
## 3.2 POPULATIONS

La population du territoire à l'étude est de **223 234 habitants (tableau 3.2)**. Les deux principaux centres, Trois-Rivières et Shawinigan, regroupent 80% de la population du territoire. La ville de Trois-Rivières regroupe les secteurs Trois-Rivières-Ouest, Pointe-du-Lac, Cap-de-la-Madeleine, Saint-Louis-de-France et Sainte-Marthe-du-Cap depuis les fusions municipales de 2002. Également depuis ces fusions, la ville de Shawinigan regroupe les secteurs Shawinigan-Sud, Grand-Mère, Saint-Georges-de-Champlain, Lac-à-la-Tortue, Saint-Jean-des-Piles et Saint-Gérard-des-Laurentides. La **figure 3.2** présente les affectations du territoire, telles que fournies par la MRC de Maskinongé, les villes de Trois-Rivières et Shawinigan et la MRC Des Chenaux.

**Tableau 3.2 Population des municipalités du territoire à l'étude**

Municipalité	Population
Trois-Rivières	129 886
Shawinigan	51 734
Louiseville	7 373
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	5 343
Saint-Boniface-de-Shawinigan	4 401
Saint-Étienne-des-Grès	4 211
Saint-Alexis-des-Monts	3 201
Yamachiche	2 714
Maskinongé	2 224
Saint-Élie	1 747
Saint-Paulin	1 585
Saint-Mathieu-du-Parc	1 447
Sainte-Ursule	1 376
Saint-Barnabé	1 213
Saint-Justin	1 028
Saint-Léon-le-Grand	977
Charette	934
Saint-Édouard-de-Maskinongé	817
Sainte-Angèle-de-Prémont	691
Saint-Sévère	332
<b>Total</b>	<b>223 234</b>

Figure 3.2 Affectations du territoire



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 10 accompagnant ce rapport.

### 3.3 OCCUPATION DU TERRITOIRE

#### 3.3.1 CLASSIFICATION DES IMAGES LANDSAT

La **figure 3.3** présente l'occupation du territoire issue de la classification d'images satellitaires pour l'année 2009. La méthode employée pour identifier les différents couverts du secteur à l'étude fut de comparer l'information issue des images satellitaires du capteur Thematic Mapper des satellites Landsat 5 et 7 prises à des dates différentes. Ce capteur fournit des images à 30 mètres de résolution spatiale sur 6 bandes spectrales du bleu au moyen infrarouge depuis plus de 25 ans. L'année de référence fut 2009. Il s'agit d'utiliser les images qui permettent de caractériser les couverts en fonction de leur modification saisonnière.

Par exemple, des images du printemps (mai) et d'automne (novembre), permettent d'identifier les limites maximales des couverts hydrographiques d'une part et les limites minimales du couvert végétal de l'autre. Plusieurs stratégies d'analyse du même ordre ont été adoptées pour les 6 couverts principaux : hydrographie, territoire agricole, territoire forestier, territoire forestier en régénérescence, friches et surface à nu et bâtie. Pour certains couverts principaux, des couverts secondaires ont été identifiés : zone inondable (hydrographie) et conifère, feuillu et mixte (forestier). De plus, le territoire agricole a été découpé suivant la base de données des cultures annuelles de 2009 (BDCA) de La Financière agricole.

**Tableau 3.3 Superficie des couverts issus de la classification des images satellitaires (2009)**

Couverture	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Forêt de feuillus	1125	28,7
Forêts de régénérescence et friche	769	19,6
Forêt de conifère	484	12,4
Zone agricole	396	10,1
Hydrographie	343	8,8
Surface à nue et bâtie	311	7,9
Forêt mixte	306	7,8
Champs	185	4,7

#### Hydrographie

Le réseau hydrographique a été cartographié en utilisant les capacités d'absorption de ce couvert pour les longueurs du moyen infrarouge (bande 5 du capteur Thematic Mapper). Une valeur limite de réflexion pour cette longueur d'onde a permis de délimiter les plans d'eau des secteurs terrestres. Le seuillage a été effectué sur l'image du 10 septembre 2009, le niveau d'étiage pour la saison estivale. Afin d'identifier les secteurs qui sont sujets à débordement, une analyse des zones inondables a été

effectuée en identifiant les niveaux hydrographiques sur l'image du 2 mai 2008. Cette image montre des niveaux d'eau record pour le secteur d'étude.

### Territoire agricole

L'attribution des surfaces « pas d'info » de la BDCA, qui représente près de 12 % du territoire agricole, s'est fait par la classification supervisée de l'image du 2 septembre 2009. Les sites assignés de la BDCA ont été utilisés afin « d'entraîner » l'algorithme. Des « sites d'observation » identifiés lors d'une campagne de caractérisation agricole en septembre 2009 ont été utilisés pour valider la classification. À la suite de l'identification des surfaces à nu (fauchée et labourée) sur l'image du 2 septembre 2009, il n'y avait plus que 7 des 12 classes originales de la BDCA encore disponibles pour entraîner l'algorithme. Ces classes étaient : avoine, blé, canola, foin, maïs, orge et soya. Il faut noter une proportion importante des couverts de foin, maïs et soya dans les couverts présents le 2 septembre.

Selon les « sites d'observation » (55 sites pour le foin; 3 sites pour les friches; 58 sites pour le maïs, 32 sites pour le soya; 3 sites pour le sol nu; 6 sites pour le gazon), la classification a obtenu un taux de fiabilité de 69,1 % pour le foin, 87,9 % pour le maïs et 81,2 % pour le soya. Une certaine confusion est apparue entre la pelouse et le soya et entre le sol nu et les trois classes principales : foin, maïs et soya. De plus, un des trois sites de friches n'a pas pu être identifié par la classification.

La qualité de la classification permet de valider l'approche qui est d'utiliser les sites de la BDCA comme cible de référence pour suivre l'évolution de l'utilisation du territoire agricole sur plusieurs décennies.

**Tableau 3.4 Superficie des cultures selon la BDCA et la classification des images satellitaires (2009)**

Couverture	Superficie (km <sup>2</sup> )*	Superficie (%)
Non-agricole	3521	89,9
Maïs	120	3,1
Foin	89	2,3
Soya	83	2,1
Orge	28	0,7
Avoine	18	0,5
Blé	17	0,4
Marâcher	13	0,3
Non-classifié	10	0,3
Culture mixte	6	0,2
Surface à nu	7	0,2
Autres cultures	2	0,1
Canola	1	0,0
Petits fruits	0,6	0,0

## Territoire forestier

La méthode employée pour identifier les classes forestières principales fut de confronter les valeurs de l'indice de végétation normalisé (NDVI) pour des périodes charnières dans l'évolution des couverts forestiers. L'indice de végétation normalisé confronte le comportement opposé des longueurs d'onde du proche infrarouge et du rouge pour le couvert végétal. Une analyse des valeurs du NDVI pour des images tardives d'automne (13 novembre 2009) montre que les forêts de conifères se distinguent de tous les autres couverts végétaux. Le même exercice fut opéré pour les forêts de feuillus sur une image estivale (10 septembre 2009) en utilisant des cibles de références dans le parc national de la Mauricie. Les surfaces d'intersection entre les forêts de conifères et les forêts de feuillus ont permis de caractériser les couverts de forêt mixte.

## Surface à nu et bâtie

Afin d'identifier les surfaces à nu et bâtie, les couverts montrant un minimum d'activité végétatif ont été identifiés. Encore une fois, les valeurs du NDVI sont utilisées à profit. La difficulté pour l'identification de ce couvert réside dans la discrimination des territoires qui subissent des transformations rapides, comme les territoires agricoles qui sont sujets au labour. Ainsi, la méthode employée est de délimiter les surfaces à nu sur des images séparées dans le temps (22 août 2008 et 10 septembre 2009) et d'identifier les surfaces à nu communes aux deux dates.

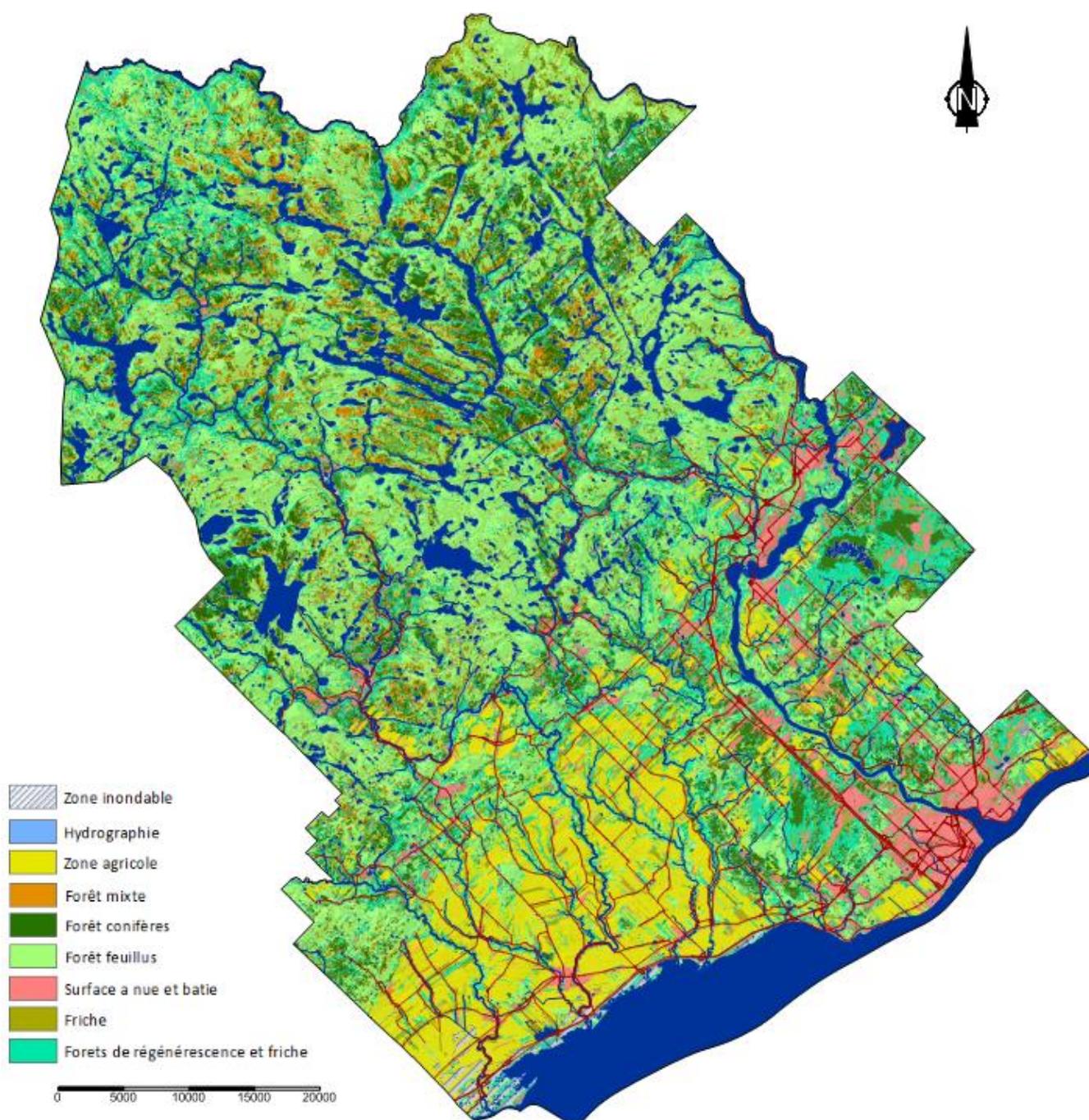
## Friches

Les friches sont des couverts qui subissent, d'un point de vue végétatif, une transformation importante lors de leur transformation saisonnière. En analysant l'évolution des surfaces à nu de la fin de la période de sénescence (13 novembre) au maximum de l'activité végétatif (22 août), en retirant les couverts qui demeurent à nu pour toute la période, seuls les territoires en friche demeurent apparents.

## Territoire forestier en régénérescence et les friches

En retirant les surfaces agricoles, les surfaces forestières, les champs et les surfaces à nu, seuls les territoires forestiers à faible densité, en régénérescence, et certaines surfaces en friches demeurent apparents.

Figure 3.3 Couverture du sol

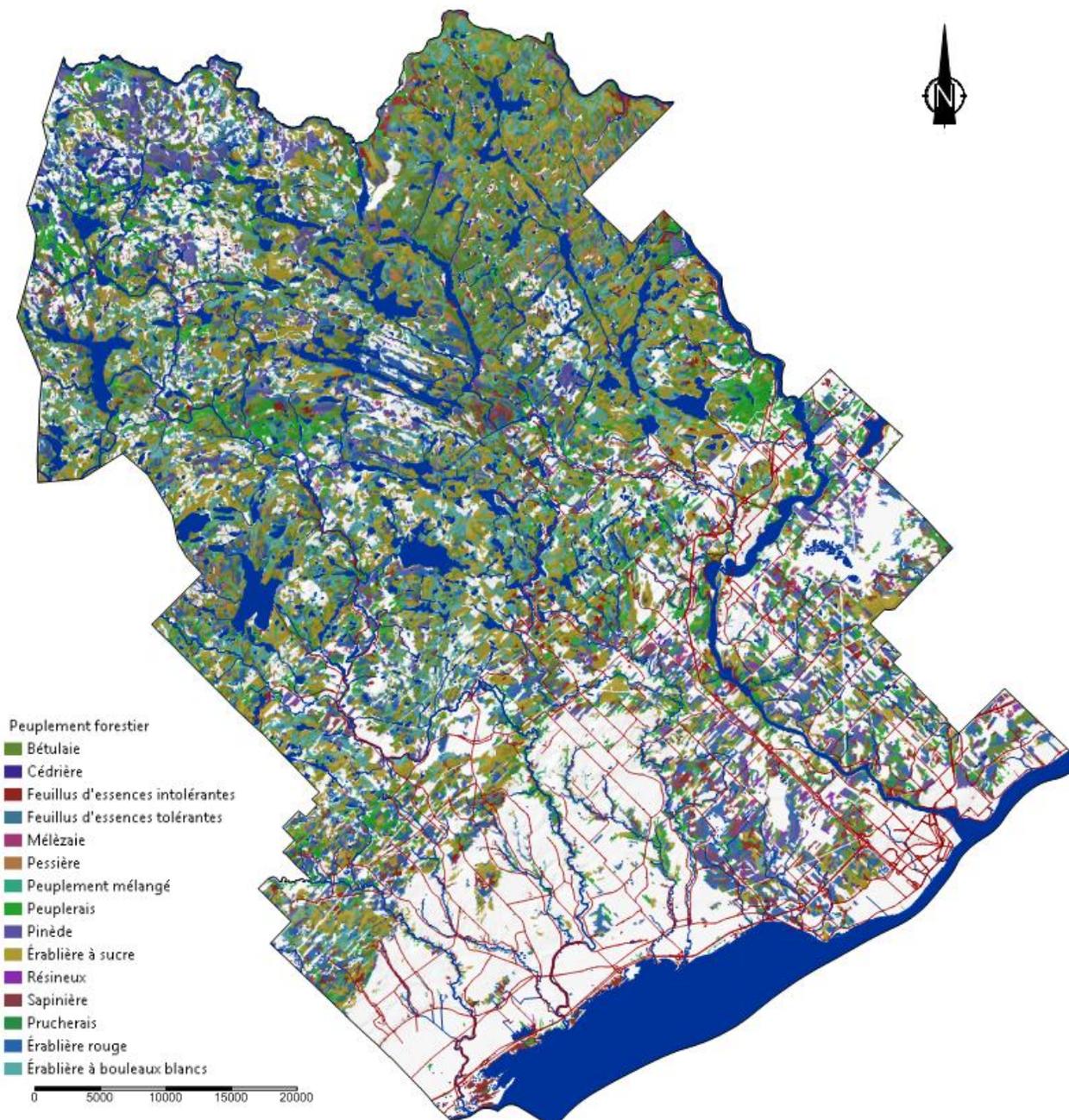


Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 7 accompagnant ce rapport (Gratton, 2009).

### 3.3.2 COUVERTURE VÉGÉTALE ET MILIEUX HUMIDES

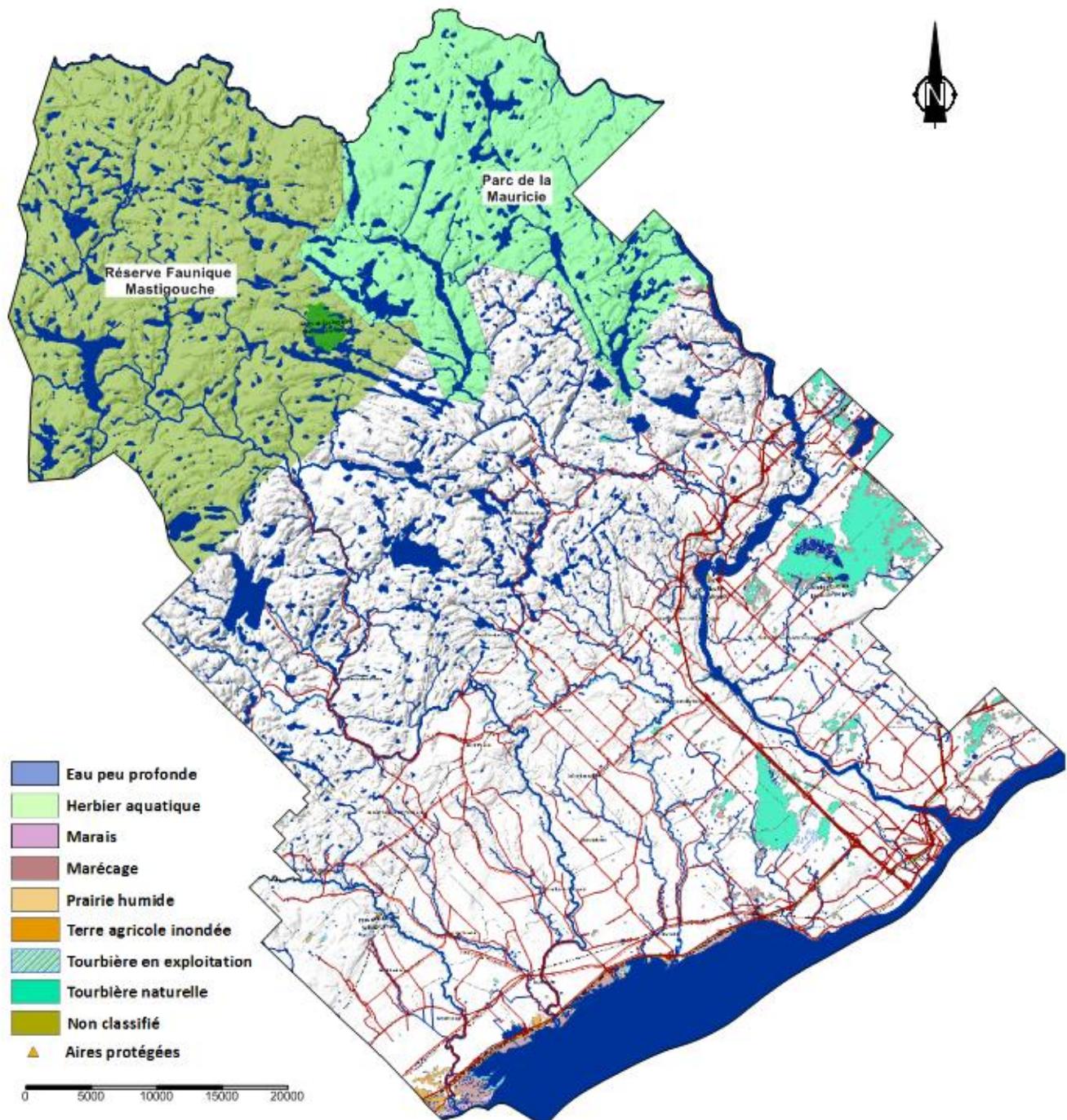
La **figure 3.4** présente la couverture végétale issue des cartes écoforestières du ministère des Ressources naturelles et de la Faune. La **figure 3.5** présente les milieux humides et les zones d'intérêt écologique cartographiés par Canards Illimités. Les milieux humides occupent 179 km<sup>2</sup>, soit environ 5% du territoire à l'étude.

**Figure 3.4 Couverture végétale**



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 8 accompagnant ce rapport.

Figure 3.5 Milieux humides et aires protégées



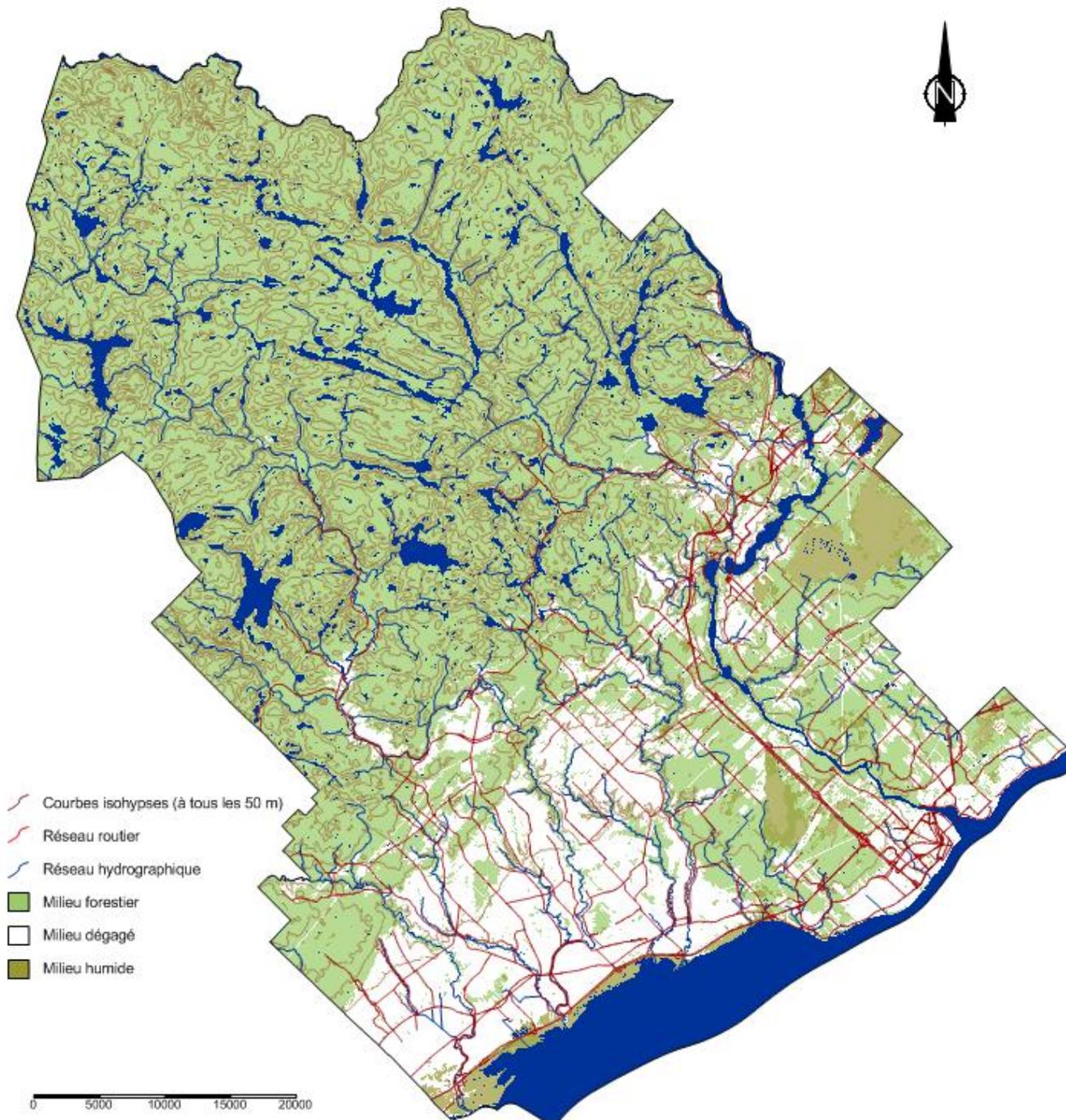
Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 9 accompagnant ce rapport.

### 3.4 PHYSIOGRAPHIE

Le territoire à l'étude fait partie de **deux régions physiographiques**, soit les Laurentides méridionales, qui couvrent la partie sud-ouest du Bouclier Canadien, et les Basses-Terres du Saint-Laurent, qui reposent sur une plate-forme de roches sédimentaires comblée par des dépôts meubles quaternaires. La plaine argileuse du Saint-Laurent, où le relief est relativement plat, occupe environ 25% de la superficie du territoire. À l'approche de la limite entre les Basses-Terres-du-Saint-Laurent et le Bouclier Canadien, le terrain devient plus accidenté et s'élève d'une trentaine de mètres. Au-delà de cette limite, l'altitude augmente lentement pour atteindre un sommet à environ 560 mètres dans le nord de la municipalité de Saint-Alexis-des-Monts. Cette portion du territoire est caractérisée par des collines arrondies recoupées de vallées étroites occupées par le réseau hydrographique.

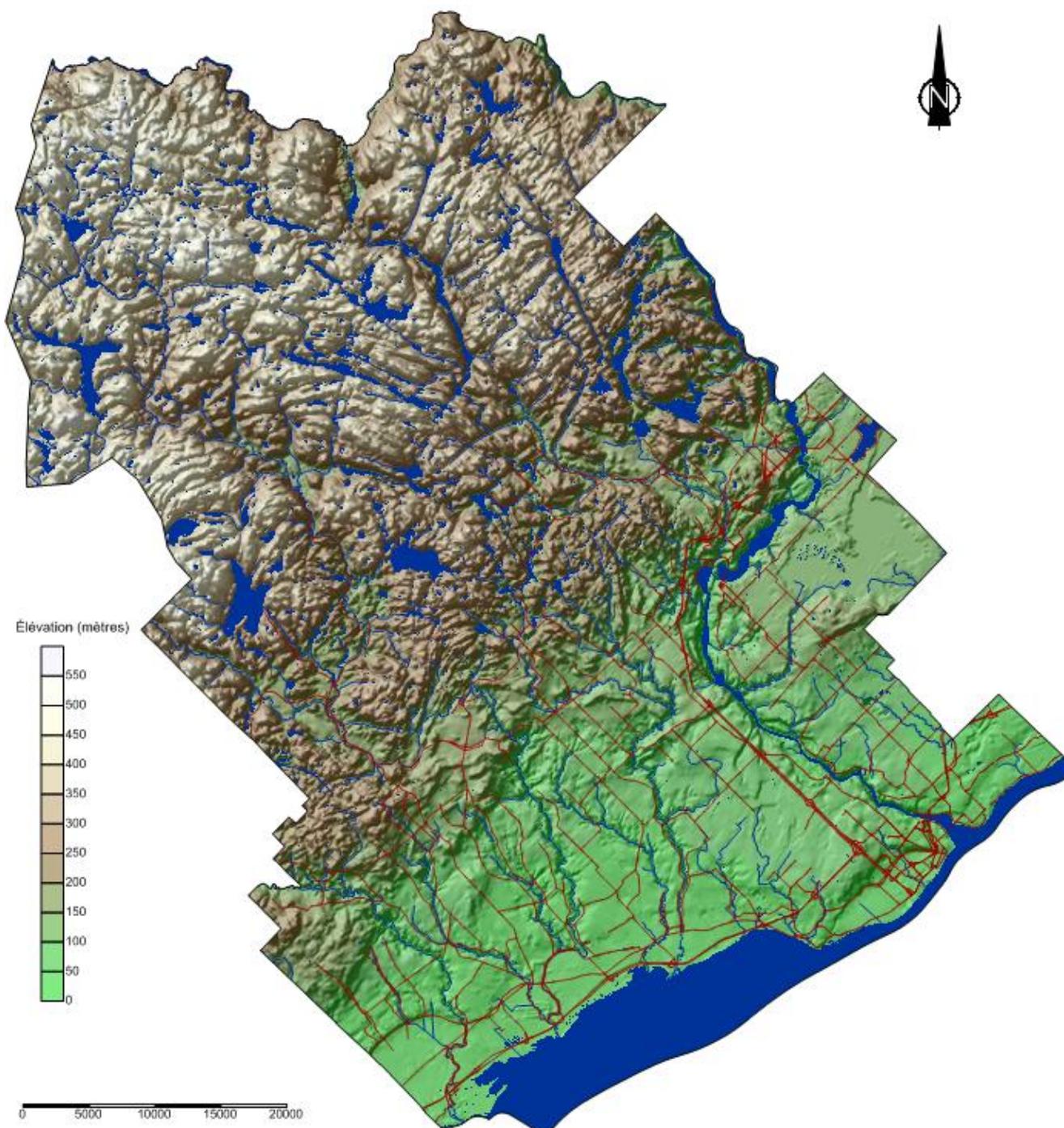
La **figure 3.6** présente une carte topographique du territoire, la **figure 3.7** présente une carte du modèle numérique de terrain (MNT) et la **figure 3.8** présente une carte des pentes, les deux dernières ayant été élaborées à partir du modèle numérique d'altitude produit par la Direction du patrimoine écologique et des parcs du MDDEFP.

Figure 3.6 Carte topographique du territoire à l'étude



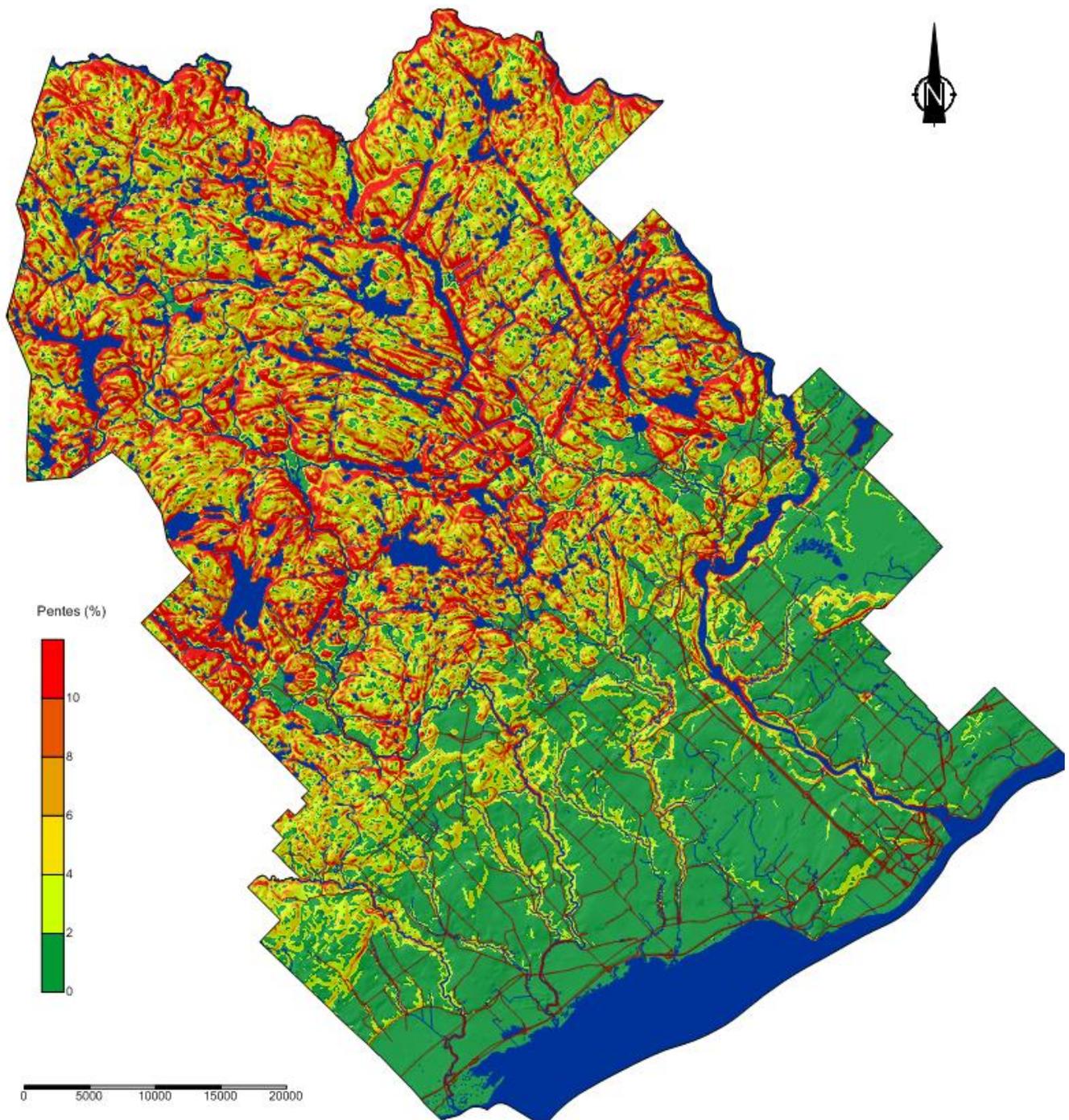
Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 1 accompagnant ce rapport.

Figure 3.7 Modèle numérique d'élévation du territoire



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 3 accompagnant ce rapport.

Figure 3.8 Pente du terrain



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 4 accompagnant ce rapport.

## 3.5 HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE

### 3.5.1 HYDROGRAPHIE

Le **réseau hydrographique** est constitué de neuf cours d'eau principaux, tous tributaires du fleuve Saint-Laurent, incluant la totalité des bassins versants des rivières Yamachiche (Petite et Grande), du ruisseau Saint-Charles, de la rivière du Bois-Blanc et de la rivière aux Glaises. Il inclut de plus la majeure partie de la rivière du Loup, le sud des bassins versants de la rivière Maskinongé et de la rivière Saint-Maurice et le nord du bassin de la rivière Champlain. La **figure 3.9** montre la localisation des bassins versants et le **tableau 3.5** présente la superficie de la portion des bassins versants incluse dans le territoire à l'étude.

**Tableau 3.5 Bassins versants du territoire à l'étude**

Bassin versant	Superficie totale (km <sup>2</sup> )	Superficie dans la région d'étude (km <sup>2</sup> )	Organisme de bassin versant*
Rivière Saint-Maurice	42 901	1517	BVSM
Rivière du Loup	1 610	1214	OBVRLY
Rivière Yamachiche	265	265	OBVRLY
Rivière Maskinongé	1 105	171	AGIR Maskinongé
Rivière Champlain	302	131	SAMBBA
Petite Rivière Yamachiche	109	109	OBVRLY
Ruisseau Saint-Charles	68	68	OBVRLY
Rivière du Bois-Blanc	50	50	AGIR Maskinongé
Rivière aux Glaises	34	34	OBVRLY
Rivière Chicot	178	7	
Rivière Batiscaan	4 716	6	SAMBBA
Autres**	-	165	

\*BVSM : Bassin Versant Saint-Maurice

OBVRLY : Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche

AGIR Maskinongé : Association pour la gestion intégrée de la rivière Maskinongé

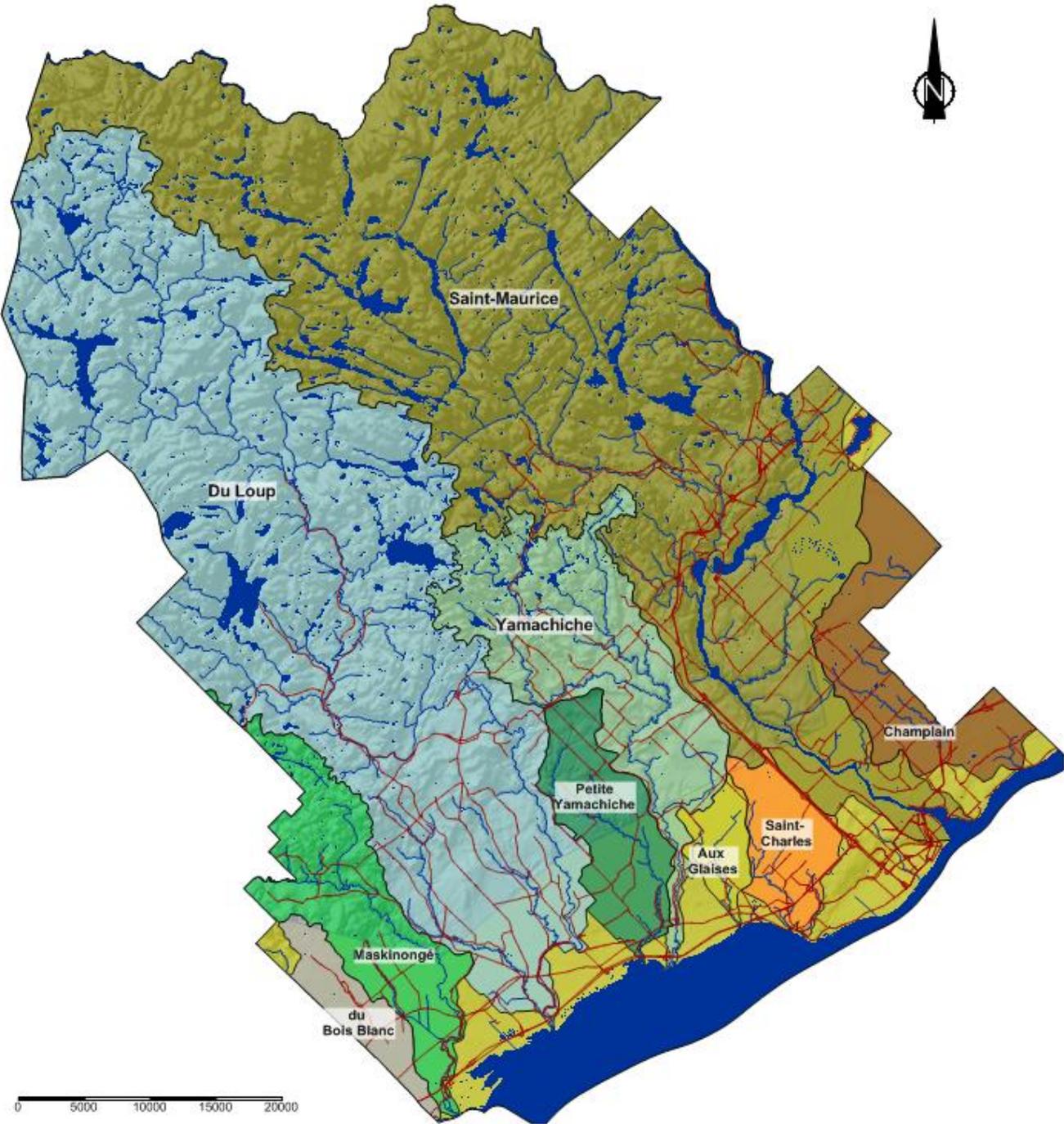
SAMBBA : Société d'aménagement et de mise en valeur du bassin de la Batiscaan

\*\* Petits tributaires du Fleuve.

### 3.5.2 HYDROLOGIE

Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) possède des données historiques de débits à **10 stations hydrométriques** sur le territoire à l'étude. Parmi celles-ci, deux sont toujours en opération, soit une station en amont de la rivière du Loup et une station en aval de la rivière Maskinongé. De plus, Hydro-Québec possède une station en aval de la centrale hydroélectrique de La Gabelle. Le débit moyen annuel de ces stations est présenté au **tableau 3.6**. Le CEHQ a calculé le **débit de base** des stations situées sur les rivières du Loup et Maskinongé, ainsi que celle de la rivière Mastigouche, qui est en amont du territoire à l'étude (Poirier, 2012).

Figure 3.9 Hydrographie et bassins versants



Cette figure est une représentation simplifiée des livrables cartographiques no 5 et 6 accompagnant ce rapport.

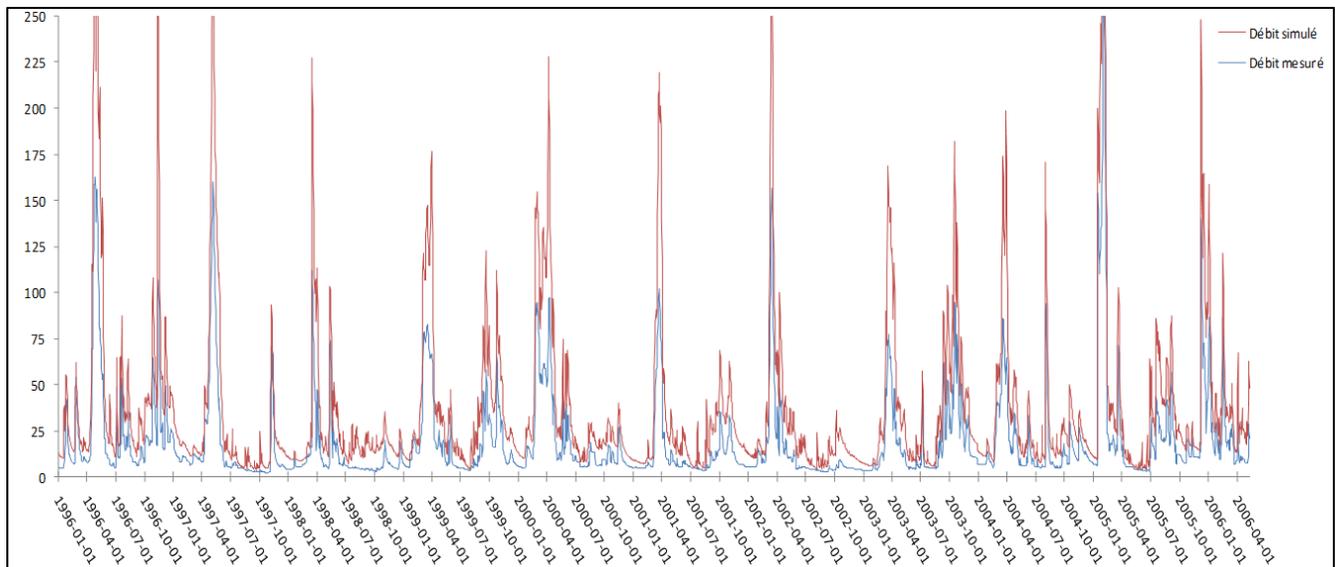
La position des stations hydrométriques en opération n'était pas idéale pour calibrer la recharge et le modèle d'écoulement des eaux souterraines, puisqu'aucune station n'était située en aval d'une rivière dont le bassin versant est entièrement dans le territoire à l'étude. La station de la rivière Maskinongé était la plus intéressante, puisque située près de l'aval du bassin versant. Toutefois, seule la partie sud de ce bassin fait partie du territoire à l'étude.

Afin de palier à cette lacune, le modèle **HYDROTEL** (Fortin et al., 2001; Turcotte et al., 2001) fut calibré afin de simuler le débit à plusieurs points sur le réseau hydrographique de la Mauricie. Le modèle fut d'abord appliqué sur la rivière Maskinongé et la rivière du Loup afin de procéder à la calibration des paramètres à partir des débits mesurés aux stations hydrométriques 052601 et 052805 du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). Les valeurs paramétriques obtenues lors de la calibration des modèles sur ces deux rivières instrumentées ont servi de référence pour une application du logiciel sur la rivière Yamachiche et la Petite-rivière-Yamachiche qui sont non instrumentées. Les modèles calibrés ont permis de prédire les débits en tout point du réseau hydrographique dans chacun des bassins versants.

Le modèle HYDROTEL simule les débits à partir d'un modèle numérique d'élévation et d'un réseau hydrographique vectoriel imposé, des données d'occupation du territoire, des types de sol en présence et des données météorologiques. L'étape préalable à une implantation d'HYDROTEL passe par le système d'information géographique **PHYSITEL** (Royer et al., 2006; Turcotte et al., 2001). Ce logiciel a permis de générer les données spatiales, afin de procéder à la modélisation hydrologique en assurant la compatibilité entre le SIG et le logiciel de modélisation.

Pour le logiciel HYDROTEL, le nombre élevé de paramètres exclut la possibilité d'avoir recours à une méthode automatisée de calage. Par conséquent, une stratégie de calage par « essais et erreurs » fut adoptée. Le processus consiste à faire varier chacun des paramètres, indépendamment des autres valeurs, afin d'en apprécier la variance. Dans le cas présent, le critère de performance est établi en fonction de l'obtention d'un coefficient de Nash-Sutcliffe (NS) jugé raisonnable de même que l'atteinte d'une estimation efficace des débits de base simulés versus les débits mesurés à la station hydrométrique située sur la rivière Maskinongé. Le détail de la méthodologie utilisée est décrit dans Rousseau Beaumier (2012).

La figure ci-dessous présente la comparaison entre les débits simulés et mesurés à la station hydrométrique 052601 sur la rivière Maskinongé, de 1996 à 2006. La valeur moyenne du coefficient NS pour la période de 1996 à 2006 est de 0,75. Cette valeur est supérieure au seuil de 0,5 proposé par Nash et Sutcliffe (1970) et témoigne d'une bonne représentativité des débits de pointe.



Comparaison des débits mesurés et simulés par HYDROTEL à la station hydrométrique 052601 sur la rivière Maskinongé (1996 à 2006).

Les paramètres du modèle, utilisés pour obtenir les débits simulés de la rivière Maskinongé, ont été appliqués au modèle de la rivière du Loup afin de valider la calibration paramétrique. L'utilisation du coefficient de Nash-Sutcliffe (Nash et Sutcliffe, 1970) de même que la racine carré de l'erreur quadratique moyenne (RCEQM) ont été utilisés comme indicateur de performance. Globalement, la performance du modèle quant à sa capacité à simuler les débits de la rivière du Loup en utilisant les valeurs issues de la calibration sur la rivière Maskinongé est bonne. Tout comme ce fut le cas pour la rivière Maskinongé, les débits de pointe sont bien représentés, les débits d'étiage sont comparables et les débits de crues sont généralement synchronisés. La valeur moyenne du coefficient de Nash-Sutcliffe pour les années 1996 à 2006 est de 0,72 et demeure supérieure au seuil de 0,5 proposé par Nash et Sutcliffe (1970).

La capacité du modèle à prédire adéquatement les débits de la rivière du Loup à partir de la calibration paramétrique effectuée sur la station de la rivière Maskinongé témoigne de la bonne adaptabilité de celui-ci au contexte hydrologique du sud-ouest de la Mauricie. Une application du modèle a été effectuée sur le bassin versant de la rivière Yamachiche et celui de la petite rivière Yamachiche pour la période 1996-2006 afin de palier au fait que ces bassins ne sont pas instrumentés au pas de temps journalier. Le **tableau 3.6** présente les débits simulés pour la rivière Yamachiche et la petite rivière Yamachiche pour la période 1996-2006 à partir de la calibration paramétrique effectuée sur la rivière Maskinongé. Les débits simulés à divers points de la Maskinongé et de la du Loup sont également présentés. Les débits simulés de la rivière Yamachiche ont été particulièrement utiles pour calibrer la recharge et le modèle d'écoulement des eaux souterraines, puisque ce bassin versant est entièrement situé dans le territoire à l'étude.

**Tableau 3.6 Débits moyens des rivières (1996-2006)**

Station	Bassin versant	Latitude	Longitude	Débit simulé (m <sup>3</sup> /s)	Débit mesuré (m <sup>3</sup> /s)	Débit de base (m <sup>3</sup> /s)
Rivière Maskinongé Près de l'embouchure	Maskinongé	46,181	-73,032	19,97	-	-
Rivière Maskinongé À la sortie du lac Maskinongé	Maskinongé	46,328	-73,362	14,04	-	-
En aval de la rivière l'Ormière	Maskinongé	46,213	-73,032	0,68	-	-
En aval de la rivière Blanche	Maskinongé	46,326	-73,272	1,85	-	-
En aval de la rivière Mandeville	Maskinongé	46,341	-73,333	0,87	-	-
En aval de la rivière Matambin	Maskinongé	46,334	-73,434	1,19	-	-
Rivière Mastigouche Station hydrométrique (52606)*	Maskinongé	46,418	-73,419	4,11	3,7	1,4
<b>Rivière Maskinongé Station hydrométrique (52601)</b>	<b>Maskinongé</b>	<b>46,301</b>	<b>-73,111</b>	<b>18,59</b>	<b>19,08</b>	<b>7,94</b>
Rivière du Loup Près de l'embouchure	Du Loup	46,227	-72,925	25,56	-	-
Rivière du Loup À Saint-Alexis des Monts	Du Loup	46,462	-73,142	16,83	-	-
En aval de la Petite rivière du Loup	Du Loup	46,235	-72,941	1,54	-	-
En aval de la rivière Chacoura	Du Loup	46,278	-72,921	1,09	-	-
En aval de la rivière Saint-Louis	Du Loup	46,423	-72,993	0,21	-	-
En aval de la rivière Sacacomie	Du Loup	46,476	-73,162	1,27	-	-
En aval de la rivière à l'Eau Claire	Du Loup	46,531	-73,116	0,84	-	-
<b>Rivière du Loup Station hydrométrique (52805)</b>	<b>Du Loup</b>	<b>46,602</b>	<b>-73,186</b>	<b>11,59</b>	<b>12,59</b>	<b>6,4</b>
En aval de la rivière Yamachiche	Yamachiche	46,266	-72,806	4,95	-	-
Rivière Yamachiche à Charrette	Yamachiche	46,442	-72,926	1,26	-	-
En aval de la rivière Machiche	Yamachiche	46,449	-72,806	1,64	-	-
En aval de la Petite Yamachiche	Petite Yamachiche	46,268	-72,835	2,1	-	-
En aval du lac des Piles Station hydrométrique (050147)**	Saint-Maurice	46,659	-72,774	165,9**	-	-
<b>Rivière Saint-Maurice En aval de la centrale La Gabelle</b>	<b>Saint-Maurice</b>	<b>46,448</b>	<b>-72,738</b>	<b>-</b>	<b>724</b>	<b>-</b>

\* Cette station est en dehors du territoire à l'étude

\*\*Niveau moyen du lac des Piles (m)

### 3.6 HISTORIQUE D'EXPLOITATION DES RESSOURCES GÉOLOGIQUES

La Maurice est l'une des régions du Québec où les **ressources naturelles « géologiques »** sont exploitées depuis longtemps. Les eaux souterraines, les ressources minérales telles que le fer et l'ocre, les ressources énergétiques telles que le gaz naturel et, depuis quelques années, les ressources géothermiques sont parmi les ressources qui ont fait l'objet d'exploitation en Mauricie. L'historique d'exploitation de ces ressources est brièvement décrit dans les sections qui suivent.

#### 3.6.1 EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Les **eaux souterraines** sont exploitées depuis longtemps en Mauricie pour fins d'approvisionnement des réseaux d'aqueduc et aussi pour des fins commerciales, et ce, dès le XIX<sup>e</sup> siècle. Ainsi, à Yamachiche par exemple, un aqueduc fut construit en 1873 pour soutirer l'eau d'une source réputée pour sa qualité, située à un endroit nommé « Vide-Poche ». À l'époque, les conduites étaient faites de bois de sapin. Un autre aqueduc fut aménagé en 1989 afin de distribuer l'eau captée dans des sources situées sur le rang St-Nicolas, à Pointe-du-Lac.

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, une source d'eau saumâtre située à Saint-Léon-Le-Grand était reconnue pour ses propriétés curatives. L'hôtel *St-Léon Spring Hotel*, était très fréquenté à l'époque. Jusqu'à 1885, *The St-Leon Mineral Water Co.* vendait l'eau 25 sous par gallon et vendait en ces mots l'eau de Saint-Léon :

*« St. Leon mineral water, a perfect regulator, and effective medicine, a fascinating beverage ... sold by all druggists, and hotels, or St. Leon Mineral Water Co'y Ltd... »*



*The Saint-Léon Mineral Water Co., 1885*

---

### 3.6.2 EXPLOITATION DU FER

L'exploitation du fer en Mauricie remonte à l'ouverture des **forges du Saint-Maurice** pendant le régime français. La ressource exploitée se composait d'oxydes de fer et se retrouvait principalement dans les tourbières. La présence de ces dépôts s'explique par l'exfiltration d'eaux souterraines chargées de fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ), lequel s'oxyde pour se transformer en fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Par la suite, les cycles d'évaporation et d'inondation permettent l'accumulation des oxydes, lesquels se déshydratent, puis durcissent pour former des dépôts d'environ un mètre d'épaisseur (Béland, 1967). Autour de 1850, il existait plusieurs forges en Mauricie, dont les forges du Saint-Maurice, à Trois-Rivières, les forges Radnor à Saint-Maurice, les forges l'Islet à Notre-Dame-du Mont-Carmel, les forges Saint-Tite à Saint-Tite et les forges Grondin à Saint-Boniface (Lachance, 1995). L'ocre ferreux contenu dans les gisements fut aussi exploité par l'industrie, notamment celle de la peinture.



*Exploitation du fer en Mauricie (tiré de Lachance, 1995)*

L'industrie de l'exploitation du fer en Maurice s'est graduellement éteinte à partir des années 1950, suite à l'épuisement des gisements et suite aux choix stratégiques des exploitants.

---

### 3.6.3 EXPLOITATION DU GAZ NATUREL

Bien avant la popularité des « gaz de schiste » auprès de l'industrie gazière et la réaction citoyenne à son exploitation, la région de la Mauricie était convoitée pour ses **ressources en gaz naturel**. En effet, dès 1880, des sources de gaz étaient exploitées près de Louiseville et près de Yamachiche, à des fins de chauffage et d'éclairage. Le secteur compris entre Louiseville et Trois-Rivières est la seule région du Québec où du gaz naturel ait été exploité commercialement par la *Compagnie de Gaz Combustible*, société possédant le privilège exclusif d'utiliser le gaz de la province à l'époque. Par la suite, la *Canadian Gas and Oil Company* forna un grand nombre de puits à proximité de Louiseville (Dresser,

1930). Un gazoduc fut installé de façon à raccorder la ville de Trois-Rivières, mais l'approvisionnement était insuffisant pour répondre aux besoins industriels et l'entreprise fit faillite. L'occurrence du gaz provenait principalement d'horizons de sable maintenus captifs sous plus de 60 mètres d'argile.

Au cours des années 1960, environ 80 puits d'exploration ont été forés dans la région de Trois-Rivières et un petit gisement a été découvert à Pointe-du-Lac. Ce dernier consiste en une couche de sable fin de 3 à 8 mètres d'épaisseur, qui recouvre un socle rocheux d'origine sédimentaire. Ce gisement fut exploité au cours des années 1970 et serait actuellement utilisé comme réservoir naturel pour stocker le gaz venu d'ailleurs et l'en retirer, en fonction des fluctuations du marché.

---

#### 3.6.4 EXPLOITATION DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE

Le chauffage et la climatisation par **géothermie** est une pratique relativement récente au Québec et dont l'usage est pratiqué en Mauricie depuis environ une décennie. Des institutions telles que l'hôpital Cooke et le Technoparc, à Trois-Rivières, et l'hôtel Sacacomie, à Saint-Alexis-des-Monts, sont actuellement chauffées et climatisées par géothermie. Typiquement, ce type de système utilise un nombre variable de puits de 150 à 200 mètres de profondeur à l'intérieur desquels une conduite décrit une boucle de la surface jusqu'au fond. Un fluide caloporteur circule dans cette conduite et soutire l'énergie thermique naturelle du sous-sol par conductance thermique. D'autres systèmes utilisent des puits à partir desquels l'eau souterraine est pompée, dirigée dans un échangeur thermique, puis retournée à l'aquifère via d'autres puits.

Compte tenu de la température relativement élevée des eaux souterraines (environ 10 degrés Celsius à Trois-Rivières), du fort potentiel aquifère de la région et du caractère inépuisable du potentiel géothermique de la croûte terrestre, il est probable que l'exploitation de cette ressource connaisse un essor croissant dans le futur.

## 4 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

### 4.1 GÉOLOGIE DU SOCLE ROCHEUX

Le socle rocheux influence de façon importante l'hydrogéologie à l'échelle régionale en fonction de sa nature et de son élévation. Les sections qui suivent présentent la stratigraphie des formations rocheuses, leur répartition géographique et la topographie de la surface du socle.

#### 4.1.1 STRATIGRAPHIE

Le tableau 4.1 présente la **séquence stratigraphique** des provinces géologiques représentées sur le territoire. Le socle rocheux du sud-ouest de la Mauricie est composé de roches qui appartiennent à deux provinces géologiques distinctes. La province géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent, qui longe le fleuve Saint-Laurent et le lac Saint-Pierre et la province géologique de Grenville, qui occupe la portion nord du territoire.

**Tableau 4.1 Stratigraphie des unités qui composent le socle rocheux**

Ère	Âge (Ma)	Groupe - Formation	Lithologie
Paléozoïque	De 438 à 500	Groupe de Lorraine – formation de Nicolet	Shale gris et grès
		Groupe d'Utica	Shale
		Groupe de Trenton – formation de Neuville	Calcaire cristallin micritique et nodulaire (member de St-Casimir) et calcaire argileux et shale (member de Grondides)
		Groupe de Trenton – formation de Deschambeault	Calcaire cristallin à fossiles
		Groupe de Trenton – formation de Fontaine	Calcaire cristallin
		Groupe Blake River – formation Leray	Calcaire plus ou moins gréseux
		Groupe Blake River – formation de La Gabelle	Grès
Précambrien	1070	Gabbronorite de Shawinigan	Gabbronorite et anorthosite gabbroïque
	1080	Monzonite de St-Didace	Monzonite et mozogranite porphyrique
	1160	Terrane de Morin – Complexe de Saint-Paulin	Gneiss non subdivisés
		Terrane de Morin – Complexe de Jésuite	Roches ignées
	1180	Terrane de Morin – Paragneiss de Saint-Boniface	Métasédiments détritiques ou carbonatés et roches volcaniques
	1370	Domaine Mékinac Taureau – Complexe de Taureau	Gneiss non subdivisés
		Domaine Mékinac Taureau – Complexe de Mékinac	Orthogneiss granitique à monzonitique
1400	Domaine Portneuf-Mauricie – Complexe de la Bostonnais	Orthogneiss gris tonalitique, granodioritique et dioritique	

Sur le territoire à l'étude, les roches des **Basses-Terres du Saint-Laurent** sont d'âge Paléozoïque. Elles sont composées de roches sédimentaires déposées en milieu marin. Elles appartiennent toutes à l'Ordovicien, soit un âge moyen d'environ 450 millions d'années. À partir du fleuve Saint-Laurent et du lac Saint-Pierre, en allant vers le nord, les roches sont de plus en plus vieilles. Mis à part une petite écaille de dolomie, située au niveau des Chutes-de-Sainte-Ursule sur la rivière Maskinongé, qui

appartient à la Formation de Beauharnois du Groupe de Beekmantown, les principales unités en contact avec les roches de la province de Grenville appartiennent au Groupe de Black River.

Le Groupe de Black River est représenté, à l'est de la rivière Saint-Maurice, par la Formation de Leray. Celle-ci est composée de calcaire plus ou moins gréseux déposé en milieu peu profond de type lagon. Les fossiles y sont abondants. À l'époque où ces sédiments se sont déposés, une mer recouvrait les vallées de l'Outaouais, du Saint-Laurent et du lac Champlain. Vers l'ouest, au même niveau stratigraphique que les formations précédentes, se trouve la Formation de La Gabelle de part et d'autre de la rivière Saint-Maurice. Cette formation est constituée de grès, ce qui démontre aussi que le niveau de la mer y était très peu profond.

Le Groupe de Trenton, dont les sédiments se sont déposés en eau moyennement profonde sur une plate-forme océanique, se retrouve dans la partie centrale des Basses Terres du Saint-Laurent. À la base se trouve la Formation de Fontaine qui constitue une mince unité de calcaire cristallin. La Formation de Deschambeault jouxte la précédente. Elle est composée de calcaire cristallin à fossiles, dont principalement des crinoïdes. Au-dessus se trouve la Formation de Neuville, qui comprend deux membres : le membre Saint-Casimir, composé de calcaire cristallin micritique et nodulaire, suivi du membre de Grondines, composé de calcaire argileux et de shale.

Dans la partie sud des Basses-Terres du Saint-Laurent, le Groupe d'Utica surmonte celui de Trenton et renferme un shale typique d'une sédimentation en eau profonde. C'est ce shale, plus ou moins calcaireux, qui renferme une quantité appréciable de gaz naturel.

Finalement, en bordure et sous le lac Saint-Pierre, on retrouve le Groupe de Lorraine qui comprend la Formation de Nicolet. Cette formation est composée de shale gris et de grès qui se seraient déposées près d'un littoral ou dans un milieu deltaïque.

La **province de Grenville** correspond à la collision de deux continents qui a engendré la formation d'une chaîne de montagnes de type himalayenne. Aujourd'hui, en raison des multiples phases d'érosion qui ont prévalu depuis, les roches du socle qui sont observées représentent la racine de cette chaîne de montagnes. En effet, on observe dans les roches plutoniques des minéraux qui se sont formés sous des conditions de température et de pression équivalentes à une profondeur d'environ 20 à 25 kilomètres.

Les roches grenvilliennes ont été subdivisées en domaines structuraux (Nadeau *et al.*, 2006). Le Domaine de Portneuf-Mauricie se situe à l'est et renferme les roches les plus vieilles, tandis que celui de Mékinac-Taureau occupe le centre et le nord. Ces deux domaines appartiennent à la ceinture

allochtone polycyclique (Rivers *et al.*, 1989), car elles ont été transportées et elles ont été soumises à plusieurs cycles orogéniques. Le Terrane de Morin, plus jeune, se trouve à l'ouest et au sud de la région et appartient à la ceinture allochtone monocyclique. Il est composé de roches transportées et ayant subi un seul cycle orogénique, soit l'orogénie grenvillienne. Les suites intrusives se retrouvent dans les secteurs de Shawinigan et de Saint-Alexis-des-Monts et possèdent un âge de 1070 à 1080 Ma (Corrigan et Van Breemen, 1997).

La composition lithologique des domaines structuraux du Grenville comprend essentiellement des roches ignées et métamorphiques telles que des orthogneiss tonalitique, granodioritiques et dioritiques, des orthogneiss granitique à monzonitique, des migmatites, des gneiss non subdivisés à hornblende, pyroxènes et plagioclases, des marbres et des paragneiss, ainsi que des roches intrusives telles que des gabbronorites, anorthosite, monzonite et monzogranite.

---

#### 4.1.2 GÉOLOGIE STRUCTURALE

Les **roches du paléozoïque** ne sont pas plissées. Elles sont tout au plus ondulées avec un faible pendage vers le sud-est en raison du mouvement en effondrement le long des failles normales. Les roches calcaires, presque horizontales, favorisent la formation de structures karstiques par l'infiltration de l'eau de surface le long de fissures ou de diaclases causées par la tectonique (Ex : Graben du Saint-Laurent), ou encore par la gélifraction et la circulation d'eau souterraine.

Les **roches grenvilliennes** sont pour leur part moyennement à fortement plissées, selon que l'on soit dans la ceinture allochtone monocyclique ou la polycyclique. Les roches du Terrane de Morin au sud et à l'ouest ont été faiblement déformées, au cours de l'orogénie grenvillienne, en un grand synclinal régional avec une inclinaison d'environ 15° vers le sud-est (N155°E). Au nord et à l'est, on observe des plis replissés ainsi que des plis démembrés, résultats de multiples phases de déformation.

Deux types de failles sont présents sur le territoire : des **failles de cisaillement** et des **failles normales**. Les failles de cisaillement sont les plus vieilles. Elles peuvent avoir une largeur de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres et peuvent être suivies sur des centaines de kilomètres. Dans la région, on distingue deux âges différents de failles ductiles. Les plus vieilles sont les **failles tectoniques**. Elles sont observées en particulier en bordure des Paragneiss de Saint Boniface et du Gabbronorite de Shawinigan, ainsi qu'au contact entre le Domaine de Mékinac-Taureau et le Terrane de Morin. Ces failles, probablement en chevauchement à l'origine, ont été plissées postérieurement lors des derniers mouvements de l'orogénie grenvillienne. À l'est, une de ces failles marque le contact entre les roches du Complexe de la Bostonnais du Domaine Mauricie-Portneuf et celui des Jésuites du Terrane de Morin. Au centre et à l'ouest, une autre se trouve au contact entre le Complexe de Mékinac du Domaine Mékinac-Taureau et celui des Jésuites du Terrane de Morin de même qu'entre les roches du Complexe de Taureau et celles du Complexe de Mékinac.

Trois patrons de **failles normales** ont été identifiés dans la région. Il s'agit de failles NE-SO, de failles NNO-SSE et de failles E-O, toutes à pendage subvertical. Ce sont des failles liées à la formation du Graben du Saint-Laurent. Ce sont des structures d'au plus quelques mètres de largeur mais répétitives qui forment des escaliers en raison de l'effondrement d'un côté de la faille par rapport à l'autre. Ces failles peuvent avoir plusieurs dizaines de kilomètres de longueur. Elles ont été actives à partir du Précambrien car elles affectent ces roches et ont été réactivées au cours de l'Ordovicien. Les principales sont les failles du Saint-Maurice (faille de Sainte-Julienne), de **Saint-Cuthbert**, de Saint-Prosper et une autre, non nommée, située à l'est de celle du Saint-Maurice. Elles ont une orientation NE-SO qui varie de N65° à N20°. En fait, plus on se déplace vers le nord, plus ces failles tendent à devenir N-S.

Deux failles normales NNO-SSE sont à mentionner. Il s'agit des failles de Louiseville et de Pointe-du-Lac, dont le pendage est orienté vers l'ouest, et qui affectent essentiellement les roches de Basses-Terres du Saint-Laurent. Seulement quelques petites failles ayant cette orientation ont été observées dans les roches du Grenville.

Des **diaclasses** ou joints ont principalement été mesurées par Béland (1967) et Philpotts (1967). Trois orientations préférentielles ont été observées et elles sont parallèles aux failles normales régionales. Ce sont des fractures millimétriques pouvant avoir plusieurs dizaines de mètres de longueur. Ces structures ne montrent pas de déplacement (pas de rejet), ni de remplissage. Elles forment des patrons qui sont fonction de la déformation et/ou du type de roche dans laquelle elles se trouvent. Dans les roches sédimentaires, elles sont souvent perpendiculaires au litage. Dans les roches plutoniques, elles peuvent former des patrons orthogonaux ou hexagonaux avec un plan plus ou moins perpendiculaire aux deux premiers. Béland (1967) note toutefois la présence de diaclasses horizontales, mais aucune mesure n'apparaît sur sa carte.

---

#### 4.1.3 RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

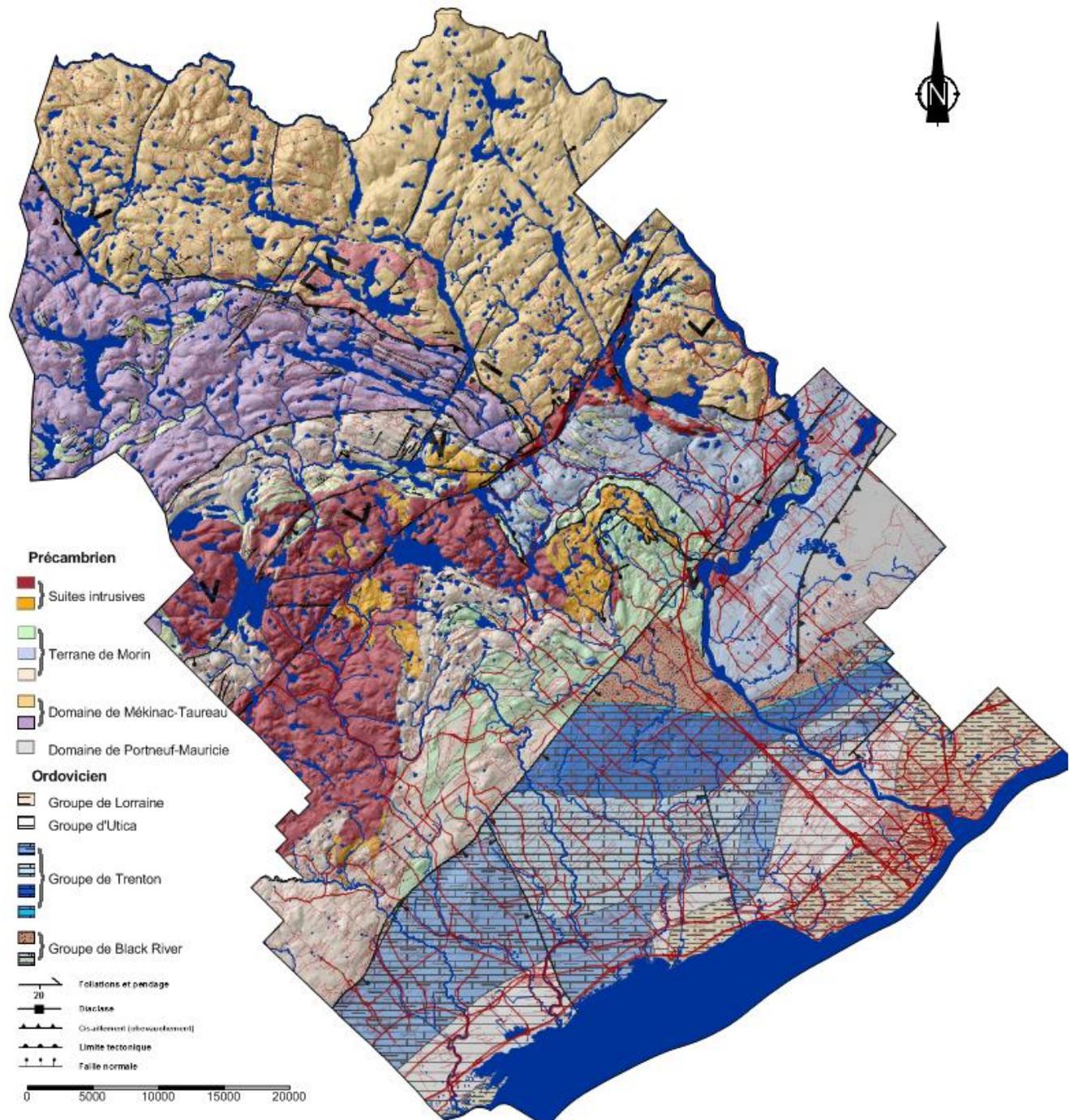
La **figure 4.1** présente une carte de la géologie du socle rocheux. Cette carte a été compilée par le géologue Claude Hébert pour les besoins du projet. La compilation géologique du socle de la partie incluse dans les Basses-Terres du Saint-Laurent a été effectuée essentiellement à partir des données des travaux de Clark et Globensky (1976) sur le feuillet 31I07, et de Globensky (1987) pour les feuillets 31I02, 31I03, 31I06 et 31I07.

Pour les roches grenvilliennes des parties ouest et sud de la région, les données proviennent de levés géologiques réalisés aux échelles 1 : 100 000 et 1 : 63 360 au cours des années 60' et 70' auxquelles s'ajoutent d'autres données tirées de divers projets de recherche rattachés à ces levés géologiques et

qui ont fait l'objet de thèses de maîtrise et de doctorat. Les données ainsi utilisées proviennent de Rondot (1978) pour le feuillet 31114, de Philpotts (1967) pour 31111 Est, de Dimroth (1963) pour 31111 Ouest, de Béland (1967) pour 31106 et 31103 et des thèses de Schimann (1971) sur 31111 et 31106 (Ph.D), de Goulet (1971) sur 31106 (Ph.D) et de Hocq (1979) touchant les feuillets 31106, 31107, 31110 et 31111.

Pour les roches grenvilliennes des parties nord-est et est, ce sont des données récentes de cartographie à l'échelle 1 : 50 000 qui ont été utilisées. À ces données, s'ajoutent des résultats de vérification, de compilation et de géochronologie. Tous ces travaux ont été exécutés durant les années '90 et en 2006. Une thèse de doctorat a aussi été réalisée en rapport avec ces travaux et divers articles scientifiques ont été publiés. Il s'agit des travaux de compilation et de vérification de Nadeau *et al.*, (2009) sur 31110 et 31115, de la thèse de Corrigan (1995) sur 31110 et 31115, des publications de Emslie et Hunt (1990), Nadeau et van Breemen (1994) et Corrigan et van Breemen (1997) sur la géochronologie, de même que le guide d'excursion géologique de Nadeau *et al.* (2006) et la carte structurale de Nadeau et Brouillette (1995).

Figure 4.1 Géologie du socle rocheux



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 13 accompagnant ce rapport.

---

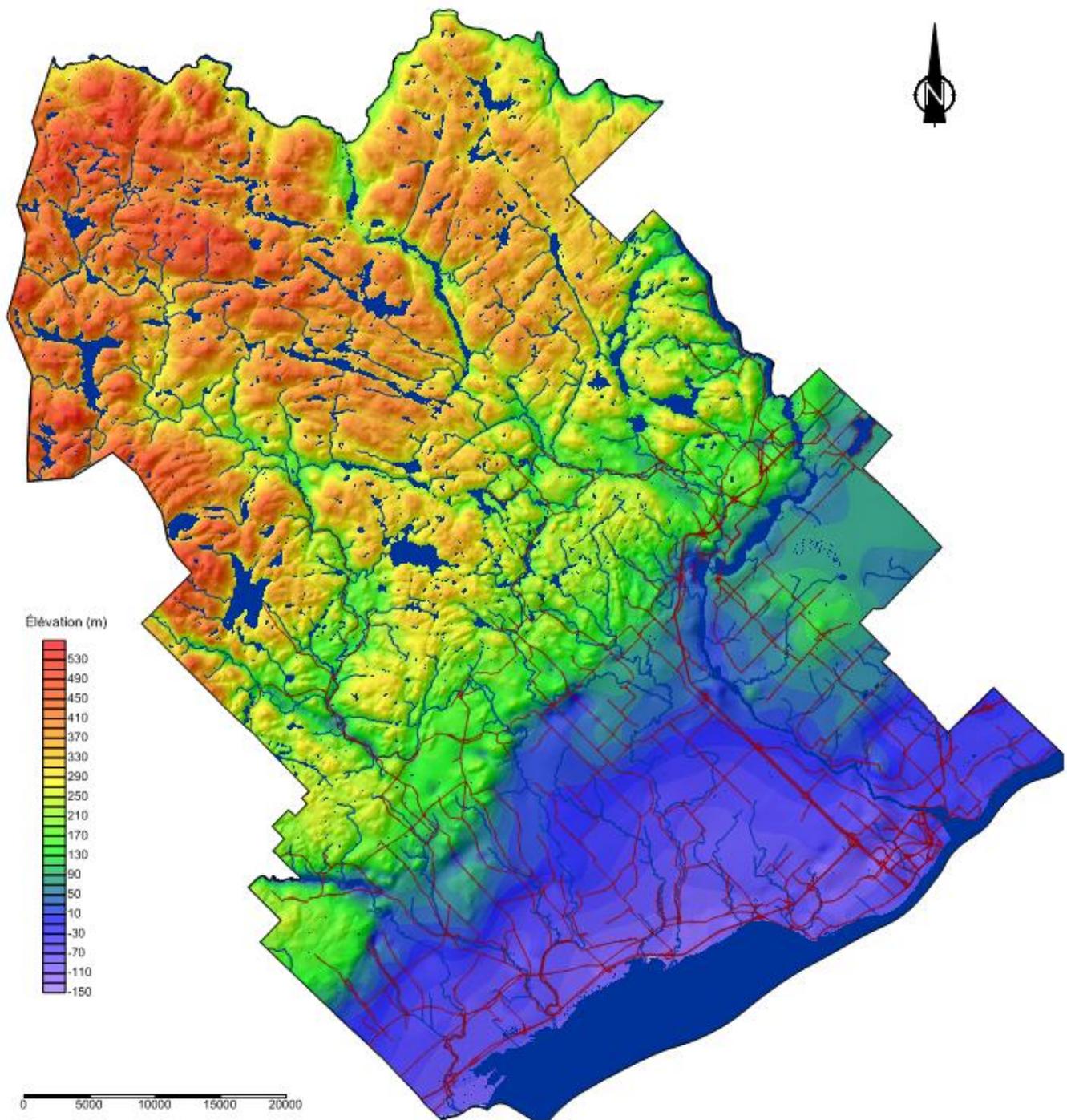
#### 4.1.4 TOPOGRAPHIE DU SOCLE ROCHEUX

La **figure 4.2** présente la carte de **topographie du socle rocheux**. Celle-ci a été réalisée à l'aide de la base de données géoréférencée, en faisant d'abord un tri des forages atteignant le socle rocheux, en convertissant la profondeur du socle en élévation, en y ajoutant des points d'élévation du terrain correspondant aux zones d'affleurements rocheux, puis en interpolant la surface par calcul géostatistique. Cette surface a ensuite été corrigée pour tenir compte des forages qui n'atteignent pas le socle rocheux mais qui atteignent une élévation inférieure à la surface modélisée. Une seconde correction a ensuite été apportée afin de respecter le modèle numérique d'élévation du terrain.

Sur cette carte, il est possible de faire les observations suivantes :

- Le socle rocheux possède des altitudes qui varient de près de -100 à 550 mètres d'élévation;
- La surface du socle Précambrien est caractérisée par des altitudes élevées et un relief accidenté, tandis que la surface du socle Paléozoïque est caractérisée par une dépression centrée sur le lac Saint-Pierre et qui se poursuit légèrement au nord du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Trois-Rivières;
- Il est aussi possible d'observer une remontée du socle Paléozoïque du côté Nord-Est de la rivière Saint-Maurice et sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, ce qui pourrait expliquer que les sédiments quaternaires anciens situés du côté Sud-Ouest de la rivière aient résisté à l'érosion glaciaire;
- Enfin, la surface du socle rocheux Paléozoïque est aussi caractérisée par une dépression située à l'endroit de la faille de Saint-Cuthbert, qui délimite sur une grande partie du territoire le Bouclier Canadien des Basses-Terres du Saint-Laurent. Du Nord-Ouest vers le Sud-Est, le socle Paléozoïque remonte à partir de cette dépression, pour redescendre en pente douce.

Figure 4.2 Topographie du socle rocheux



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 16 accompagnant ce rapport.

## 4.2 GÉOLOGIE DU QUATERNAIRE

### 4.2.1 STRATIGRAPHIE

Les **dépôts meubles** du sud-ouest de la Mauricie sont composés de cinq grandes unités, soit les sédiments glaciaires, fluvioglaciaires, marins, lacustres et les sédiments issus du remaniement des autres unités. Le **tableau 4.2** présente la stratigraphie régionale des dépôts meubles du territoire.

**Tableau 4.2 Stratigraphie régionale des dépôts meubles**

Ère	Age (Ka)	Formation	Lithologie
Holocène	10	Dépôts organiques	Tourbe, débris végétaux et humus
		Sédiments éoliens	Sable fin à stratifications obliques mis en place par le vent sous forme de dunes paraboliques
		Sédiments alluviaux : alluvions actuelles	Sable, silt sableux et sable graveleux contenant fréquemment de la matière organique, mis en place par le système hydrographique
		Sédiments alluviaux : alluvions des terrasses fluviales	Sable, silt sableux, sable graveleux et gravier contenant parfois de la matière organique
		Sédiments lacustres : sédiments deltaïques et prodeltaïques	Sable, sable graveleux et gravier stratifiés et bien triés, mis en place à l'embouchure des cours d'eau se déversant dans le lac à Lampsilis
		Sédiments lacustres : sédiments littoraux et pré-littoraux du lac à Lampsilis:	Sable, silt et sable graveleux et gravier stratifiés mis en place en eaux peu profonde lors de l'épisode
Pléistocène	75	Sédiments marins : sédiments glaciomarins	Diamicton, silt, sable, argile massifs à substratifiés, localement fossilifères
		Sédiments marins : sédiments deltaïques et prodeltaïques	Sables, sables graveleux et graviers, stratifiés et bien triés, mis en place à l'embouchure des cours d'eau se déversant dans la mer de Champlain, comprenant localement des sédiments silto-sableux prodeltaïques
		Sédiments marins : sédiments littoraux et pré-littoraux de la mer de Champlain	Sable, silt sableux, sable graveleux et gravier stratifiés, mis en place en eau peu profonde, en couverture mince sur les sédiments d'eau profonde
		Sédiments marins : sédiments fins de la mer de Champlain	Silt argileux et argile silteuse, gris
		Sédiments fluvioglaciaires : Moraine frontale de Saint-Narcisse	Till, diamicton, blocs, sable et gravier mis en place au front du glacier, lors d'une réavancée pendant l'épisode de la mer de Champlain
		Sédiments fluvioglaciaires : Sédiments d'épandage proglaciaire subaérien	Sable, gravier et blocs montrant une décroissance granulométrique générale vers l'aval, formant des replats et des plaines d'épandage
		Sédiments fluvioglaciaires : Sédiments d'épandage proglaciaire subaquatique	Sable et sable silteux, un peu de gravier, mis en place au bout de tunnels sous ou intra-glaciaires débouchant dans la mer de Champlain
		Sédiments fluvioglaciaires : sédiments juxtaglaciaires	Sable et gravier, blocs, un peu de till ou de diamicton, formant des eskers, des kames, des deltas-kame et des crêtes morainiques
		Sédiments glaciaires : Till de Gentilly	Diamicton à matrice sablo-silteuse gris, mis en place directement par le glacier, en couverture continue et discontinue, parfois remanié par les vagues et courants sous la limite maximum de la mer de Champlain
		Sangamonien	115
Illinoien	128	Sédiments glaciaires : Till de Bécancour	Diamicton caractérisé par une couleur rouge brique provenant de l'érosion des shales rouges

Les époques de l'Illinoien, Sangamonien et Wisconsinien moyen et inférieur représentent respectivement l'avant-dernière glaciation, un épisode interglaciaire et jusqu'au milieu de la dernière glaciation. Il ne reste que peu de sédiments reliés à ces événements (Lamarche, 2005). Le **till de Bécancour**, constitué d'un diamicton caractérisé par une couleur rouge brique provenant de l'érosion des shales rouges, est représentatif de la glaciation de l'Illinoien. Selon Bolduc (1999), les autres unités identifiées dans les coupes et les forages effectués dans les bassins profonds des Basses-Terres-du-Saint-Laurent sont les suivantes : le sable de Vieilles-Forges, les Rythmites du Saint-Maurice et les sédiments de Saint-Pierre.

Durant la période glaciaire du **Wisconsinien**, l'inlandsis s'est étendu jusqu'à la latitude de New York. Le **till de Gentilly**, mis en place lors de cette époque, est un diamicton à matrice sablo-silteuse à silto-argileuse mis en place directement par le glacier. Il est de couleur gris-olive sur le bouclier, à gris moyen ou brunâtre sur la plateforme Paléozoïque. Le remaniement par les vagues et les courants peut être localement important sous la limite marine, mais est surtout très superficiel, de l'ordre de 50 cm et moins. Par contre, la surface délavée est souvent caractérisée par des concentrations de blocs métriques. La teneur en cailloux cristallins précambriens varie de 100% sur le Bouclier, à moins de 10% sur la plateforme Paléozoïque. Dans ce secteur, la matrice du till peut être carbonatée selon la nature du substratum traversé.

Des **sédiments fluvio-glaciaires**, deltaïques glacio-marins ainsi que les dépôts de contact glaciaires ont également été déposés au cours du Wisconsinien. Il s'agit principalement de sédiments stratifiés mis en place par les eaux de fonte au contact ou à proximité du glacier.

Après que l'Inlandsis se soit retiré des Basses-Terres du Saint-Laurent, une masse d'eau salée a envahi le territoire, créant ainsi la mer de Champlain. En effet, le poids du glacier avait abaissé les terres sous le niveau de la mer. Les eaux marines se sont ensuite retirées graduellement à la suite du relèvement isostatique des terres. Les conditions d'eau salée de la Mer de Champlain ont subsisté sur une période de près de 2000 ans (Lamarche, 2005), soit entre 12 000 ans et 10 000 ans.

Au cours de l'épisode de la **mer de Champlain**, des sédiments fins constitués de silt argileux et d'argile silteuse se sont déposés en eaux calmes, tandis que des sédiments deltaïques constitués de sable et de sables graveleux se sont déposés à l'embouchure des principaux cours d'eau qui charriaient les eaux de fonte du glacier à l'amont. Les matériaux glaciaires et deltaïques ont été remaniés pour former les sédiments de hautes terrasses et de basses terrasses.

La **moraine frontale de Saint-Narcisse**, formée lors d'une réavancée glaciaire, constitue un événement géomorphologique important dans la région à l'étude, puisqu'elle forme une crête à proximité de la

limite entre le Bouclier Canadien et les Basses-Terres-du-Saint-Laurent. Celle-ci aurait été mise en place sur des sédiments de la mer de Champlain (Denis, 1976).

À l'Holocène, le retrait final de la calotte glaciaire a entraîné un relèvement isostatique évalué à 9 m/100 ans (Lamarche, 2005), ce qui a permis le remplacement de la Mer de Champlain par le **Lac à Lampsilis**, lequel aurait subsisté pendant environ 1500 ans. Par la suite, le système hydrographique actuel aurait graduellement été mis en place, en laissant des niveaux de terrasses successifs.

Dans le cadre du projet, des datations au radiocarbone ont été effectuées sur trois fossiles provenant d'environnements différents et de forages différents. Le **tableau 4.3** présente les résultats obtenus du laboratoire *Beta Analytic inc.* Les âges obtenus varient de 7 400 ans à 11 240 ans avant aujourd'hui (BP). La datation du fragment de *Portlandia arctica* s'accorde avec les âges synchrones à la déposition du complexe de Saint-Narcisse, présentés par Ochietti (2007), tandis que les âges des fragments de bois correspondent à la période post Saint-Narcisse.

**Tableau 4.3 Datation au radiocarbone de fossiles récupérés par forage**

Forage	MTM Est (m)	MTM Nord (m)	Profondeur (m)	Âge	Description
FE-02	381190	5138328	14	7 400 ±40	Fragment de bois ( <i>Pinus banksiana</i> ) prélevé dans un échantillon de sable faisant partie des alluvions anciennes du fleuve Saint-Laurent
FE-16	368647	5137015	30	8 920 ± 50	Fragment de bois carbonisé ( <i>Picea</i> sp.) prélevé dans un sable fin à moyen d'origine marin deltaïque
FE-17	351844	5144275	36	11 240 ± 50	Fragment de coquillage de type <i>Portlandia arctica</i> prélevés dans un silt diamictique d'origine marin proximal

#### 4.2.2 RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

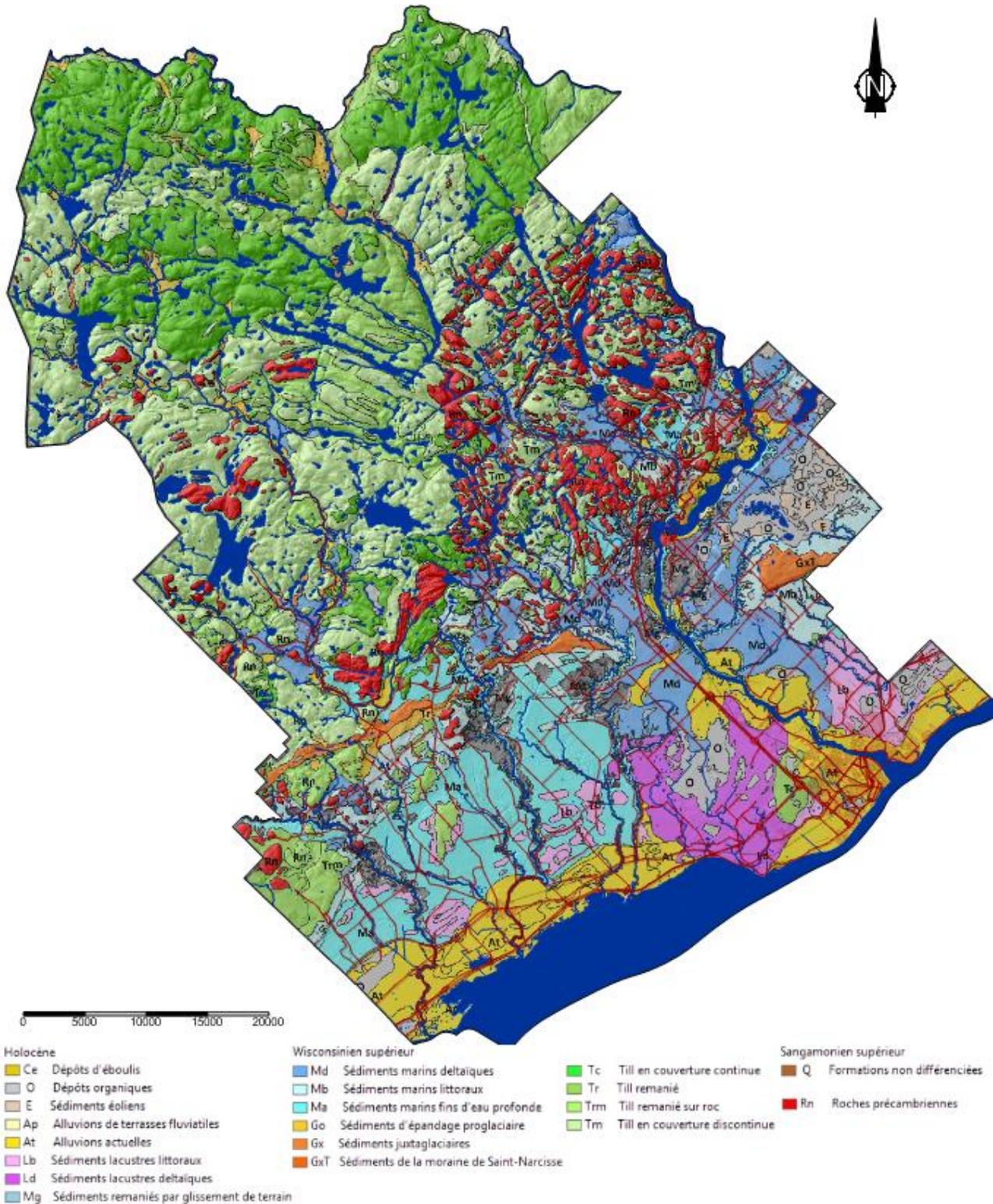
La **figure 4.3** présente une carte de la géologie des dépôts meubles superficiels. Celle-ci a été réalisée par le géologue François Hardy à partir des données des travaux de Gadd (1971), Denis (1976), Bolduc (1999a, b) et Lamarche (2005) pour les portions sud et est du territoire, tandis qu'un travail de photo-interprétation accompagné de levés de terrain a été nécessaire afin de compléter la couverture cartographique de la portion nord-ouest du territoire et d'harmoniser la jonction des couvertures cartographiques entre les portions de territoire cartographiés par des auteurs différents. La légende des unités des formations superficielles de la Commission Géologique du Canada (Parent et al., 2010) a été utilisée pour l'identification des unités meubles du secteur à l'étude.

Sur cette carte, il est possible d'observer que la portion du territoire occupée par la province géologique du Bouclier Canadien est caractérisée par l'omniprésence d'affleurements du socle rocheux (Rn) et par un mince placage de till d'ablation en couverture discontinue (Tm) et parfois remanié (Tr). Seules les vallées des rivières Maskinongé, du Loup, Yamachiche et Saint-Maurice présentent des faciès plus complexes de sédiments silto-argileux et d'alluvions récentes (At) remaniées par les glissements de terrain (Mg) ou par des évènements chaotiques.

À l'interface entre le Bouclier Précambrien et la plateforme sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent, se trouve la formation morainique de Saint-Narcisse (GxT), qui traverse le territoire de manière discontinue sur un axe presque parallèle à celui du fleuve Saint-Laurent. Des sédiments fluvioglaciaires (Go) et juxta glaciaires (Gx) se trouvent en marge de la moraine, bien que les dépôts situés sous la limite marine sont souvent remaniés par l'action des vagues et des courants de submersion et d'exondation (Bolduc, 1999c).

Le secteur Est des Basses-Terres du Saint-Laurent est recouvert en surface par des sédiments deltaïques (Md et Ld), des alluvions sableuses de la rivière Saint-Maurice (Ap) ainsi que des terrasses fluviales récentes (At) représentant les niveaux anciens du Proto-Saint-Laurent (Lamarche, 2005). La portion ouest de cette province géologique est principalement recouverte en surface par des sédiments marins d'eau profonde (Ma), des sédiments remaniés par des glissements de terrain et des alluvions fluviales récentes (At). On note également la présence de dépôts organiques (O) sur de grandes superficies dans le secteur de Trois-Rivières ainsi que dans le secteur de Shawinigan, au sud de la rivière Saint-Maurice. Elles occupent des dépressions creusées par d'anciens chenaux des cours d'eau actuels tapissées de matériaux peu perméables tels des silts et argiles lacustres et marines.

Figure 4.3 Géologie du Quaternaire



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 12 accompagnant ce rapport.

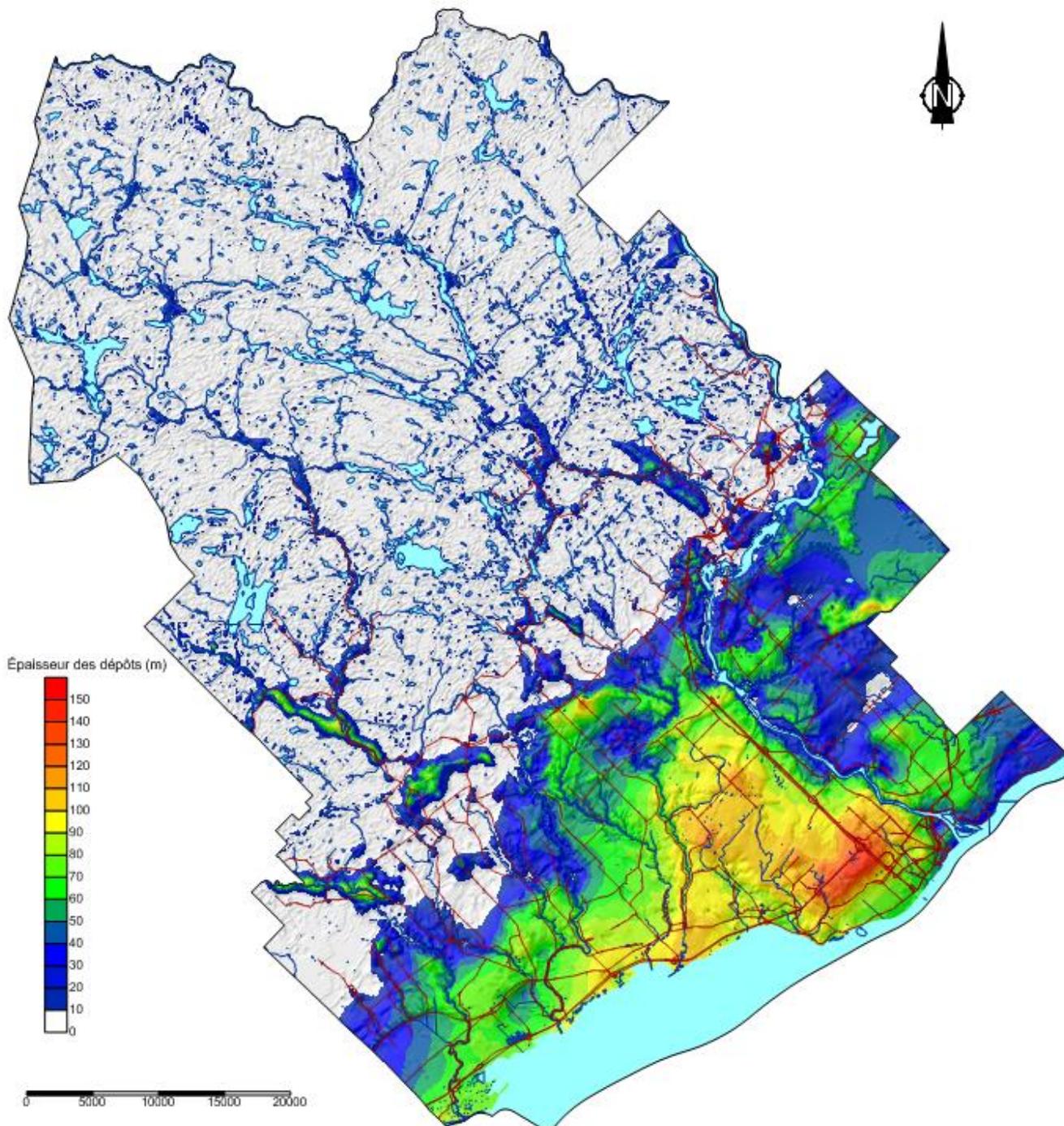
---

#### 4.2.3 ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES

La **figure 4.4** présente la carte d'épaisseur totale des dépôts meubles. Celle-ci a été réalisée en faisant la soustraction entre la surface du modèle numérique d'élévation du terrain et la surface du socle rocheux. Cette méthode a été utilisée plutôt que d'interpoler directement les épaisseurs de dépôts meubles décrites dans les sources d'information disponibles, afin d'éviter que des structures de surface telles que les incisions des rivières dans les dépôts meubles et les crêtes morainiques n'affectent les résultats. Sur cette carte, il est possible de faire les observations suivantes :

- La couverture de dépôts meubles possède une épaisseur qui varie de nulle à 150 mètres;
- Les zones de couverture nulle à faible sont localisées sur le Bouclier Canadien, tandis que les plus fortes couvertures de dépôts meubles sont situées dans le secteur de Trois-Rivières;
- Sur les Basses-Terres du Saint-Laurent, l'érosion causée par les rivières a considérablement réduit l'épaisseur des dépôts meubles le long de leur tracé.

Figure 4.4 Épaisseur totale des dépôts meubles



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 15 accompagnant ce rapport.

#### 4.2.4 MODÈLE GÉOLOGIQUE TRIDIMENSIONNEL

Le mode de mise en place et la distribution souterraine des sédiments quaternaires enfouis sont des informations essentielles afin d'établir le contexte hydrogéologique du territoire à l'étude. C'est pourquoi un **modèle géologique tridimensionnel** simplifié a été élaboré. Ce dernier a été construit à l'aide des informations acquises dans le cadre du projet et des données existantes de diverses provenances. Il est composé de six couches superposées par-dessus le socle rocheux et qui représentent les principales unités qui se retrouvent sur le territoire, soit les sédiments quaternaires anciens, les sédiments glaciaires et fluvioglaciaires, les sédiments marins d'eau profonde, les sédiments du complexe de Saint-Narcisse et les sédiments sableux superficiels de toutes origines. Les sédiments organiques n'y ont pas été représentés pour fins de simplifications. Une description détaillée du modèle et des méthodologies utilisées est présentée dans le **mémoire de maîtrise de Guillaume Légaré** (Légaré, 2013).

La **figure 4.5** présente l'empilement successif de chacune des couches au-dessus du socle rocheux. Puisqu'il s'agit d'un modèle à l'échelle régionale, plusieurs simplifications stratigraphiques ont été faites, de façon à ne représenter que les grandes unités qu'il est possible d'attribuer à des aquifères ou des aquitards.

Les **sédiments du Quaternaire ancien** sont observables sur coupes en bordure de la rivière St-Maurice à Trois-Rivières et ont été recoupés par forage uniquement dans la portion Sud-Est du territoire à l'étude. Il est possible qu'il en subsiste également des lambeaux à d'autres endroits sur le territoire, mais aucune évidence ne permet de l'affirmer avec certitude. Les formations des Sables des Vieilles Forges, des Rythmites du Saint-Maurice, des Sédiments de Saint-Pierre, des Varves de Deschaillons ainsi que des Sables de Lotbinière n'ont pas été modélisées séparément dans le modèle tridimensionnel en raison de leur rare occurrence dans les données de forages. De plus, ces formations sont généralement peu connues des entrepreneurs en puits et forages et sont donc moins bien identifiées. Leurs contacts ont toutefois été identifiés dans certains résultats de sismique réflexion haute-résolution lorsque la netteté des profils et la précision dans la description de certains forages permettaient leur identification. Ces formations sont discontinues par endroits, et leur épaisseur varie fortement en fonction de la topographie du socle rocheux.

Les **sédiments glaciaires** recouvrent relativement uniformément l'ensemble du territoire, à l'exception des zones d'affleurement rocheux situées sur le Bouclier Canadien. Les zones de till en couverture discontinue montrent des épaisseurs variant de 0.1 m à 2 mètres, alors que les zones de till en couverture continue peuvent atteindre 6 mètres d'épaisseur. Sur les Basses-Terres du Saint-Laurent, les sédiments glaciaires sont recouverts de sédiments fins d'origine marine et leur occurrence dépend de la qualité des informations disponibles. Ainsi, quelques forages issus de travaux antérieurs démontrent des épaisseurs de sédiments granulaires (till ou fluvioglaciaire) qui peuvent atteindre 30 m, ce qui crée localement des renflements. Ces épaisseurs ont été intégrées dans le modèle tridimensionnel, mais en raison de la nature peu fiable des données utilisées, leur identification demeure incertaine.

Les **sédiments fluvioglaciaires** sont localisés dans les vallées profondément encaissées à l'intérieur du Bouclier Canadien, ainsi que dans plusieurs segments de dépression d'orientation linéaire, localisés le long de l'axe de la faille de Saint-Cuthbert qui délimite les roches Précambriennes des roches Paléozoïques. Dans la portion nord

du territoire, à une altitude supérieure à environ 200 mètres, ces sédiments sont exposés en surface, tandis que dans les vallées très profondes et en marge du Précambrien, ces sédiments sont systématiquement recouverts par les sédiments fins d'origine marine ou lacustre. Il est probable que lors de la dernière glaciation, les eaux de fonte charriaient beaucoup de matériaux grossiers dans les vallées du Bouclier Canadien. Ces sédiments s'accumulaient ensuite dans les dépressions du socle rocheux à leur arrivée en milieu de faible énergie où ils ne pouvaient être transportés.

Les **sédiments fins d'origine marine ou lacustre** recouvrent le till et les sédiments fluvioglaciers sur quelques grandes vallées du Bouclier Canadien, ainsi que sur presque tout l'ensemble des Basses-Terres du Saint-Laurent, à l'exception d'un renflement de till sur sédiments quaternaires anciens situé à Trois-Rivières. Les épaisseurs les plus importantes de sédiments fins sont recoupées dans les secteurs de Yamachiche et de Louiseville, où plus de 100 m de silt et argile sont rencontrés en forage. Ces grandes épaisseurs sont dues à une dépression du socle rocheux autour du lac Saint-Pierre. En règle générale, les sédiments fins ont égalisé toutes les dépressions situées à des altitudes inférieures à 200 mètres, puis ils ont subi des processus d'érosion par les phases successives de récession de la mer de Champlain et du proto Saint-Laurent et par les rivières actuelles.

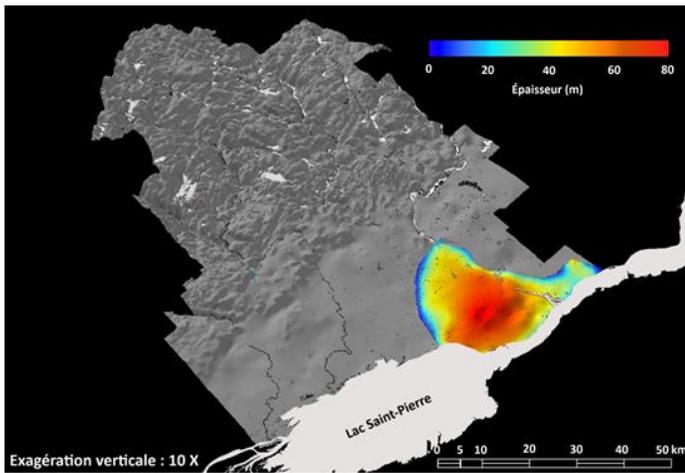
De l'Ouest vers l'Est, la **moraine de Saint-Narcisse** recouvre successivement le socle rocheux Précambrien, puis les sédiments fins proximaux de la Mer de Champlain et affleure en surface sur plusieurs segments. Des évidences ont permis d'identifier des segments de cette unité enfouis dans les sédiments marins. Ceux-ci n'ont toutefois pas été représentés, puisque leur rôle hydrogéologique est peu important. Les segments de la moraine de Saint-Narcisse qui affleurent possèdent des épaisseurs qui varient de 10 à 40 mètres.

La couche du modèle qui représente les **sables superficiels** comprend toutes les formations sableuses retrouvées par-dessus les sédiments fins de la Mer de Champlain, incluant les sables silteux marins littoraux et deltaïques, les sables et silts lacustres associés à l'épisode du Lac à Lampsilis, ainsi que les sables deltaïques marins et lacustres associés à la rivière Saint-Maurice. Les épaisseurs les plus importantes sont recoupées dans les secteurs de Trois-Rivières Ouest et du Cap-de-la-Madeleine de la ville de Trois-Rivières, ainsi que dans les territoires de Sainte-Angèle-de-Prémont, Saint-Élie-de-Caxton et de Charette.

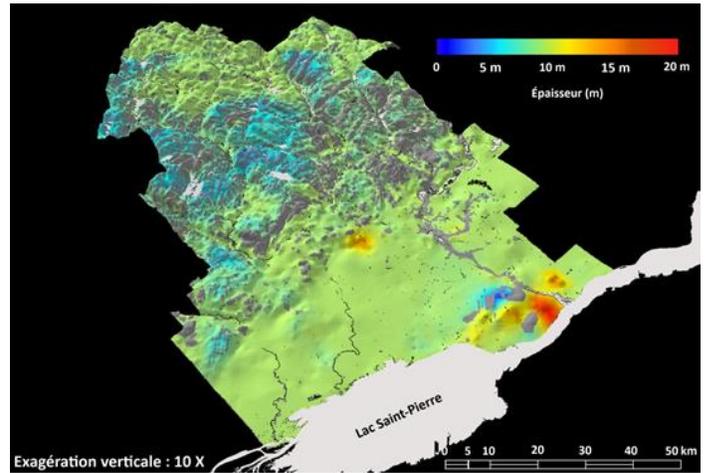
#### 4.3 SOLS

La **Figure 4.6** présente la pédologie du territoire à l'étude. Cette carte est issue de la compilation des rapports pédologiques effectuée par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). Ces sols ont été reclassifiés en fonction de leur granulométrie et de leur drainage.

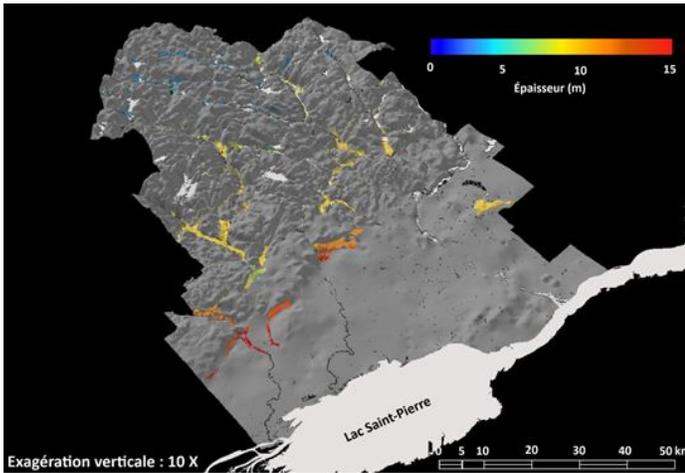
Figure 4.5 Modèle géologique tridimensionnel



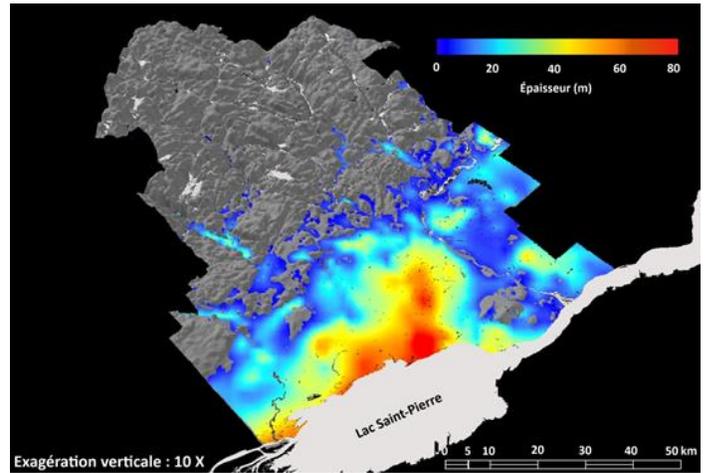
a) Répartition et épaisseur du Quarnaire ancien



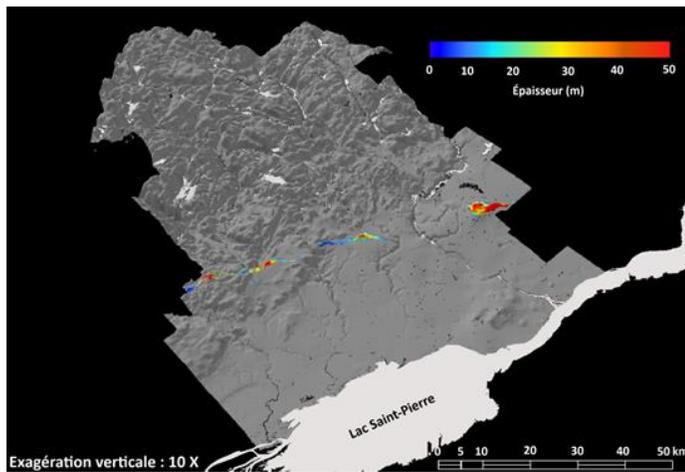
b) Répartition et épaisseur des sédiments glaciaires



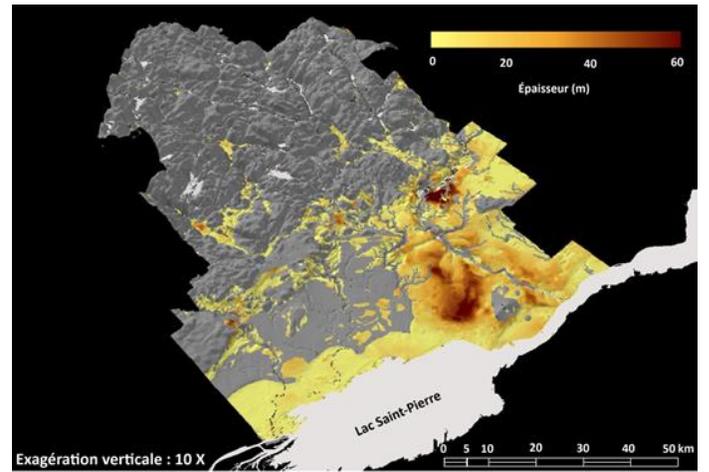
c) Répartition et épaisseur des sédiments fluvio-glaciaires



d) Répartition et épaisseur des sédiments marins fins

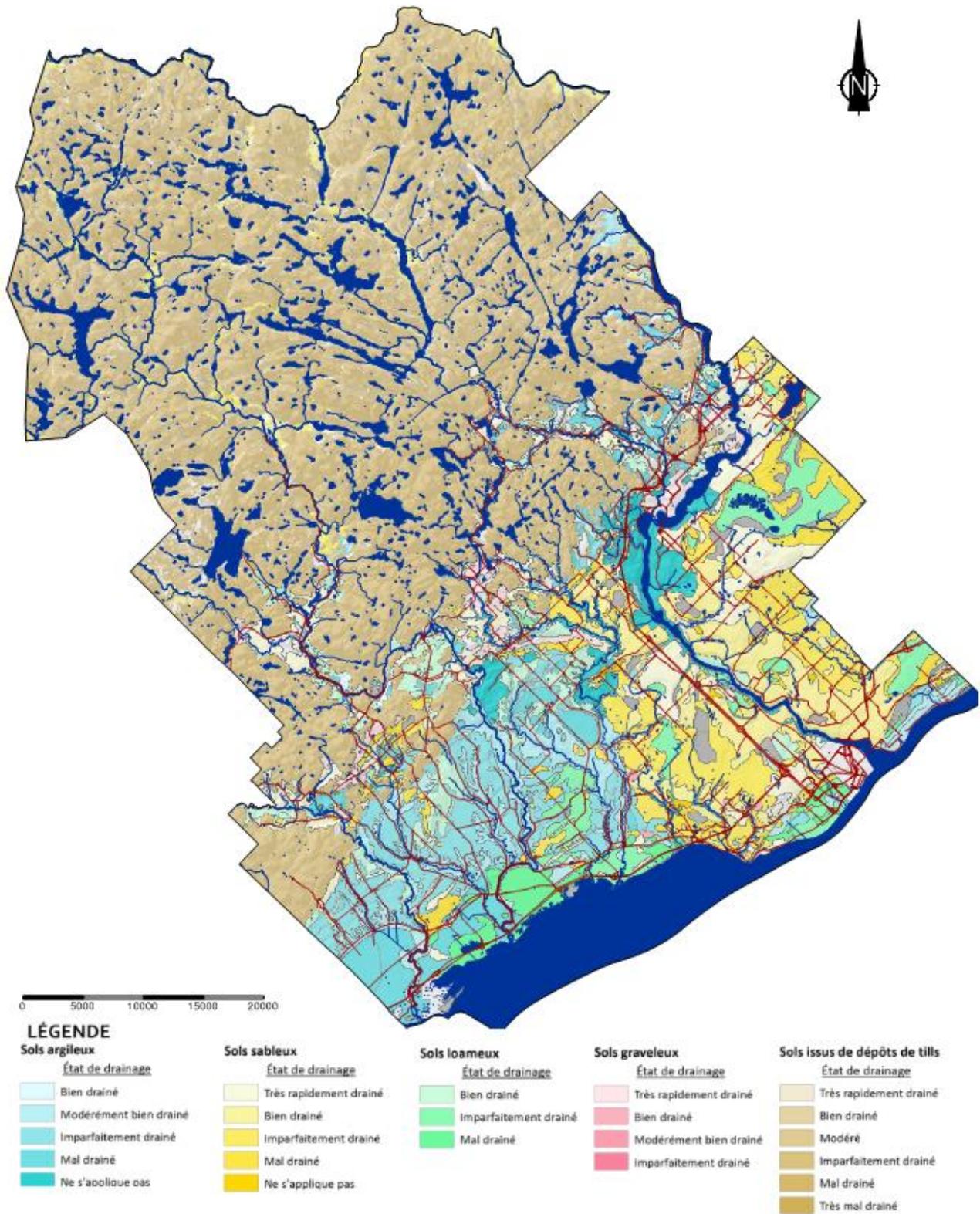


e) Répartition et épaisseur des sédiments de St-Narcisse



f) Répartition et épaisseur des sables superficiels

Figure 4.6 Pédologie



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 11 accompagnant ce rapport.

## 5 CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

### 5.1 CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES

Le modèle géologique tridimensionnel élaboré dans le cadre de ce projet permet d'identifier les **contextes hydrogéologiques** présents sur le territoire. Ainsi, quatre principales unités hydrostratigraphiques sont identifiées et l'agencement de ces quatre unités conduit à l'interprétation de six contextes hydrogéologiques possibles pour douze aquifères régionaux.

#### 5.1.1 UNITÉS HYDROSTRATIGRAPHIQUES

Les **quatre couches hydrostratigraphiques** identifiées à l'échelle régionale sont les suivantes :

- **Unité 1 : aquifère formé par les réseaux de fissures du socle rocheux.** Cet aquifère est subdivisé en trois sous-unités qui possèdent des caractéristiques différentes, soit les roches cristallines à faible fissuration du socle Précambrien, les roches sédimentaires cassantes (grès et calcaires) et les roches sédimentaires malléables (shales). Cet aquifère est d'extension régionale, mais il présente un faible potentiel puisqu'aucun grand prélèvement n'y est effectué. Il est principalement exploité par des ouvrages individuels de captage d'eau souterraine;
- **Unité 2 : aquifère formé par les sédiments fluvio-glaciaires et glaciaires.** L'unité hydrostratigraphique située immédiatement au-dessus du socle rocheux est subdivisée en deux sous-unités formant des aquifères isolés hydrauliquement les uns des autres. Les sédiments fluvio-glaciaires forment des aquifères à l'intérieur desquels plusieurs grands prélèvements sont effectués, malgré leur taille restreinte et leur isolement relatif. Les sédiments glaciaires, quant à eux, sont de faible épaisseur et situés en zone non-saturée et, de plus, sont peu perméables. Toutefois, sous certains contextes hydrogéologiques, ils ont le potentiel d'être exploités par des ouvrages individuels de captage d'eau souterraine;
- **Unité 3 : aquitard discontinu formé par les sédiments fins.** Cette unité hydrostratigraphique surmonte l'unité précédente sur une surface continue dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, ainsi que dans quelques vallées ou dépressions isolées du Bouclier Canadien;
- **Unité 4 : aquifère formé par les sédiments sableux.** Cette unité hydrostratigraphique est subdivisée en deux sous-unités, soit les sables et graviers qui forment la moraine de Saint-Narcisse et l'ensemble des sables superficiels. Cette seconde sous-unité comprend les sables silteux marins littoraux et deltaïques, les sables et silts lacustres associés à l'épisode du Lac à Lampsilis, ainsi que les sables deltaïques marins et lacustres associés à la rivière Saint-Maurice.

---

### 5.1.2 CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES

La superposition des unités hydrostratigraphiques en fonction des formes du terrain permet de d'identifier les **six contextes hydrogéologiques** suivants :

- **Type 1** : contexte de **nappe libre** dans lequel on retrouve uniquement le socle rocheux ou le socle rocheux recouvert d'une mince couche de till;
- **Type 2** : contexte de **nappe captive ou semi-captive** où le socle rocheux forme un aquifère recouvert par l'aquitard;
- **Type 3** : contexte de **nappe libre** dans lequel il est possible de retrouver l'aquifère formé par des sédiments fluvio-glaciaires ou l'aquifère formé par les sédiments sableux, lesquels reposent directement sur le socle rocheux;
- **Type 4** : contexte de **nappe captive** formée par les sédiments fluvio-glaciaires recouverts par l'aquitard et surmontant le socle rocheux;
- **Type 5** : contexte d'**aquifère double** composé d'une nappe libre dans les sables superficiels, de l'aquitard, puis d'une nappe captive dans le socle rocheux;
- **Type 6** : contexte d'**aquifère double** composé d'une nappe libre dans les sables superficiels, de l'aquitard, puis d'une nappe captive dans les sédiments fluvio-glaciaires reposant sur le socle rocheux.

---

### 5.1.3 RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

La **figure 5.1** présente une carte de distribution des contextes hydrogéologiques obtenue suite à des opérations mathématiques entre les cartes matricielles qui délimitent les quatre unités hydrostratigraphiques. Une distinction a été apportée quant au degré de confinement des aquifères captifs de type 2, 4, 5 et 6. En effet, lorsque l'aquitard possède une épaisseur inférieure à cinq mètres, l'aquifère inférieur est considéré comme semi-captif. Il est possible d'observer sur cette carte que les contextes hydrogéologiques sont répartis dans les quatre grandes régions du territoire à l'étude, soit le Plateau Laurentien, le Piedmont, la plaine argileuse et le paléodelta de la rivière Saint-Maurice.

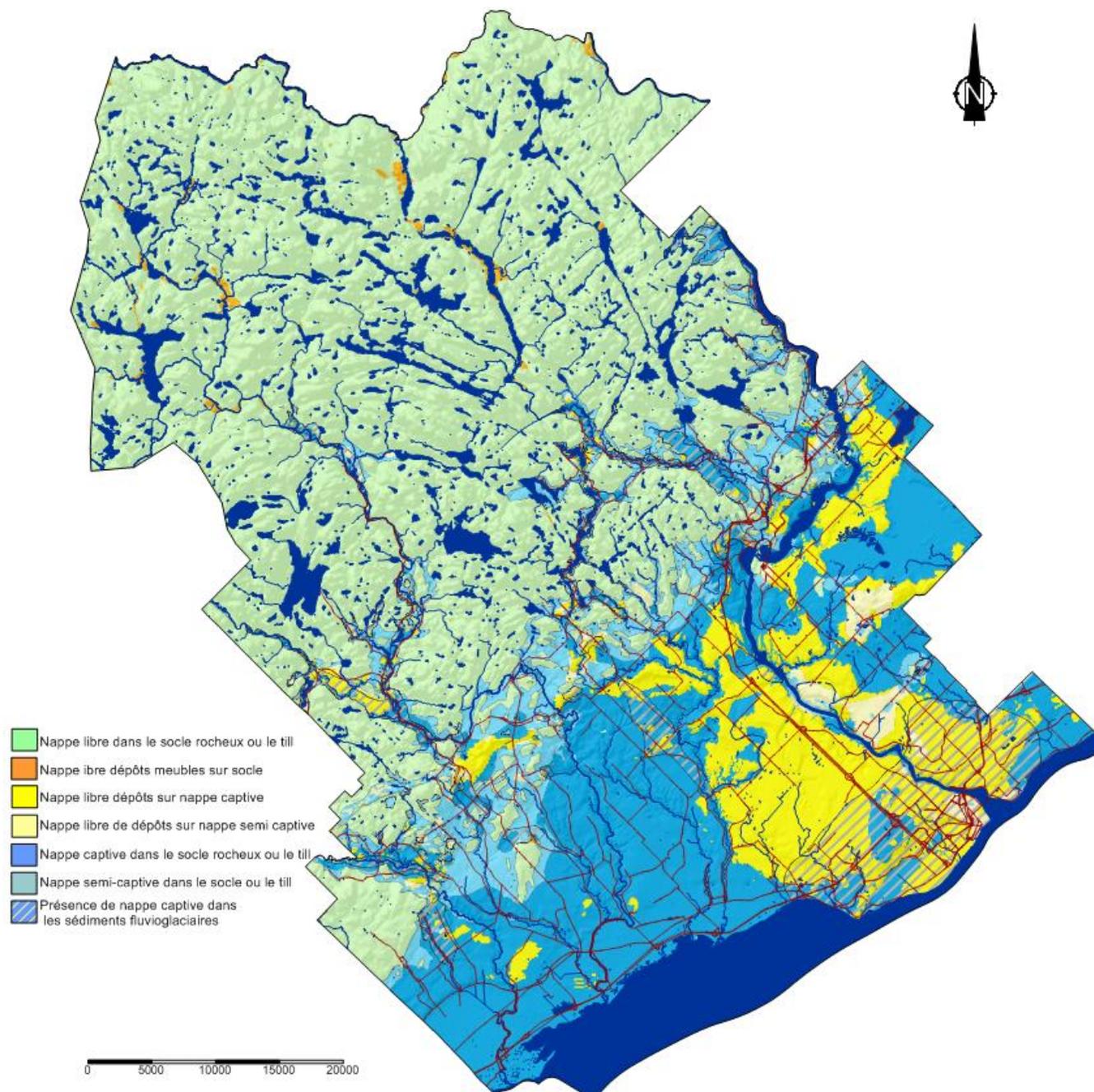
Le **plateau Laurentien**, au nord du territoire, est caractérisé par un contexte de type 1, soit l'aquifère régional à nappe libre constitué par le réseau de fissures du socle rocheux, lequel est situé près de la surface, sauf dans les importantes vallées où l'on peut retrouver des contextes de type 2 à 6, soit des aquifères constitués de matériaux granulaires perméables parfois surmontés de sédiments fins, comme par exemple l'aquifère de Saint-Alexis-des-Monts dans la vallée de la rivière du Loup.

Dans le **piedmont**, on retrouve la moraine frontale de Saint-Narcisse, laquelle forme fréquemment des contextes de type 6, tous isolés hydrauliquement les uns des autres, comme par exemple les aquifères exploités par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré.

Le **paléodelta de la rivière Saint-Maurice** constitue quant à lui un aquifère à nappe libre d'extension régionale dans des contextes hydrogéologiques de types 5 et 6, sauf que seul l'aquifère libre y est exploité en raison de la mauvaise qualité des eaux souterraines rencontrées dans l'aquifère captif (présence d'eaux saumâtres et présence occasionnelle de méthane). Cet aquifère à nappe libre est notamment exploité par la ville de Trois-Rivières dans les secteurs de Trois-Rivières Ouest, Cap-de-la-Madeleine, St-Louis-de-France, Sainte-Marthe du Cap et Pointe-du-Lac. Les municipalités de Saint-Étienne-des-Grès, Saint-Boniface, Notre-Dame-du-Mont-Carmel et Shawinigan s'y approvisionnent également.

Enfin, en bordure Nord du lac St-Pierre, on retrouve généralement un contexte de type 2. On y retrouve, en effet, une grande **plaine argileuse** déposée par-dessus le till ainsi que les roches ordoviciennes, constituant un aquitard qui maintient captive une nappe d'eau fossilisée fortement minéralisée avec des accumulations de gaz naturel par endroits, ce qui rend ce contexte inintéressant en termes d'exploitation des eaux souterraines pour fins d'approvisionnement en eau potable.

Figure 5.1 Contextes hydrogéologiques et degré de confinement



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 17 accompagnant ce rapport.

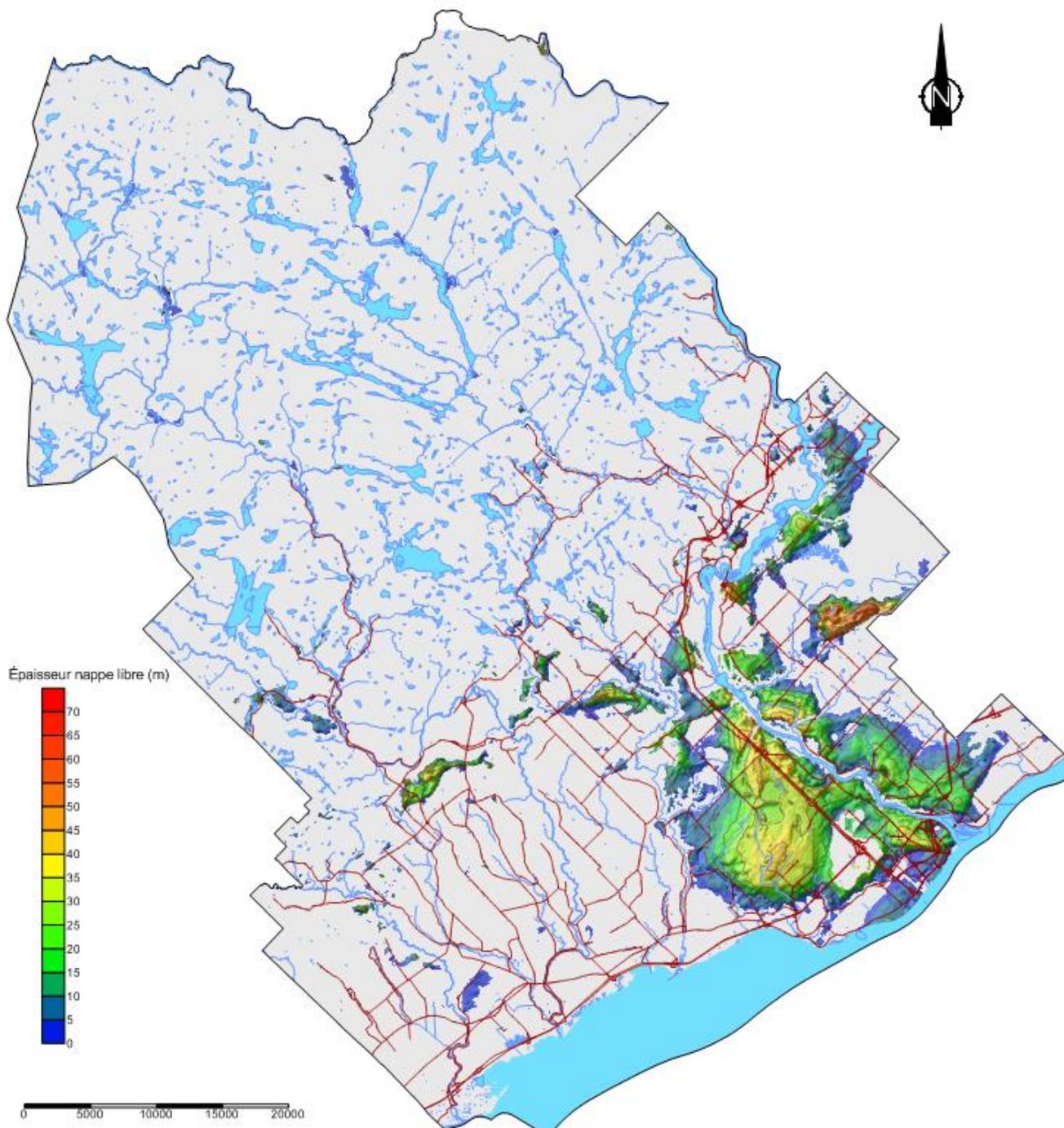
La **figure 5.2** présente une carte d'épaisseur et de limites des aquifères régionaux à nappe libre. Celle-ci a été élaborée à l'intérieur des limites des polygones définissant les contextes hydrogéologiques, en soustrayant les surfaces tirées du modèle géologique tridimensionnel qui délimitent la base et le sommet des aquifères.

Dans le cas des nappes libres situées dans les dépôts meubles, une **épaisseur minimale de six mètres** a été considérée afin de fixer une limite latérale aux aquifères. Cette limite a été fixée arbitrairement parce qu'en deçà de cette épaisseur, il est peu probable d'obtenir une transmissivité suffisante pour y exploiter un ouvrage de captage de plus de 75 m<sup>3</sup>/jour. Il est à noter qu'il s'agit de l'épaisseur totale des dépôts incluant la partie non-saturée des aquifères.

Dans le cas des nappes captives situées dans les dépôts meubles, les limites des aquifères correspondent aux **polygones délimitant les dépôts fluvio-glaciaires**. Il est à noter que certains aquifères captifs sont connus et de grands prélèvements y sont effectués, tandis que d'autres aquifères captifs ont été interprétés avec des mesures indirectes telles que les relevés de géophysique et des forages tirées du Système d'Information Hydrogéologique (SIH) ou du Ministère des Transports du Québec (MTQ). Les aquifères régionaux à nappe captive n'ont pas été délimités autrement que sur la carte des contextes hydrogéologiques car, d'une part, la connaissance de ces aquifères est très limitée et, d'autre part, ces aquifères sont locaux, plutôt que régionaux.

Enfin l'aquifère contenu dans le socle rocheux est connu de par la carte géologique et son potentiel aquifère est relativement faible puisqu'aucun grand prélèvement n'y est effectué. Une épaisseur constante de 150 mètres est considérée pour cet aquifère, indépendamment de la qualité de l'eau souterraine qu'il est possible d'y soutirer. Cette épaisseur correspond à la profondeur maximale généralement atteinte par les entrepreneurs en puits et forage.

Figure 5.2 Épaisseur et limites des aquifères régionaux à nappe libre



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 18 accompagnant ce rapport.

---

#### 5.1.4 DESCRIPTION DES AQUIFÈRES

Afin de faciliter l'identification des aquifères, une nomenclature de ceux-ci a été effectuée en fonction du type de nappe et du contexte hydrogéologique. Cette nomenclature des aquifères est utilisée dans le reste du rapport afin de décrire les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères identifiés sur le territoire. Le **tableau 5.1** présente un sommaire des principaux aquifères identifiés.

Les aquifères 1, 2 et 3 sont des regroupements d'**aquifères dans les dépôts meubles**, indépendants les uns des autres, mais ayant en commun leur mode de mise en place par les eaux de fonte glaciaire dans les vallées du plateau Laurentien et à la sortie de celles-ci dans le piedmont. Les aquifères ainsi formés sont parfois en condition de nappe libre, parfois en condition de nappe captive. Les municipalités de Saint-Édouard-de-Maskinongé, Sainte-Ursule, Saint-Alexis-des-Monts, Saint-Élie-de-Caxton, Charette, Saint-Mathieu-du-Parc, ainsi que la régie d'aqueduc de Grand-Pré, secteurs Saint-Édouard, Fontarabie et Sainte-Ursule tirent leur approvisionnement en eau dans ces aquifères.

L'aquifère 4 est aussi un regroupement d'**aquifères dans les dépôts meubles**, isolés les uns des autres et dont le point commun est la moraine de Saint-Narcisse et les dépôts adjacents. On retrouve trois principaux segments de la moraine de Saint-Narcisse, situés sur le territoire des municipalités de Notre-Dame-du-Mont-Carmel, Charette et Sainte-Angèle-de-Prémont/Saint-Paulin. La municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel puise son eau potable dans le segment situé sur son territoire, de même que la municipalité de Saint-Paulin. Le segment Sainte-Angèle-de-Prémont/Saint-Paulin est aussi exploité par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré. Le segment de Charette n'est, quant à lui, pas exploité, bien que les travaux de forage réalisés en 2011 dans le cadre du projet PACES aient confirmé la présence d'un aquifère à nappe libre et un aquifère à nappe captive dans ce segment.

Les dépôts de la faille de Saint-Cuthbert (aquifère 5) sont des **aquifères captifs** qui résultent de l'accumulation de sédiments granulaires dans une série de dépressions du socle rocheux, observées le long de l'axe de la faille de Saint-Cuthbert. Ces aquifères, de même que les aquifères captifs sous la plaine argileuse (aquifère 6), sont connus indirectement via l'interprétation de relevés tels que la sismique réflexion et par certains puits du SIH. Ils ne sont pas exploités pour l'approvisionnement de réseaux d'aqueducs et il est possible que l'eau qu'ils contiennent ne soit pas propre à la consommation. Les dépôts du lac à Lampsilis (aquifère 7) forment, quant à eux, des aquifères à nappe libre très minces qu'il n'est possible d'exploiter que par des puits citernes ou pointes filtrantes. Ils ne sont pas exploités pour l'approvisionnement de réseaux d'aqueducs.

Les aquifères 8A à 8H sont des subdivisions de l'unique **aquifère granulaire d'extension régionale** en Mauricie. Il s'agit du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. Celui-ci a été subdivisé en fonction des limites des territoires des communautés qui s'y approvisionnent. À Saint-Boniface, Shawinigan (Shawinigan-Sud et Lac-à-la-Tortue), Saint-Étienne-des-Grès et Notre-Dame-du-Mont-Carmel, la nappe

libre est de faible épaisseur et il n'est possible d'y installer un puits à des fins d'approvisionnement municipal que dans les chenaux d'érosion des sédiments fins sous-jacents, où l'épaisseur y est plus grande et les sables, mieux triés. Les secteurs Pointe-du-Lac, Trois-Rivières, Trois-Rivières Ouest, Saint-Louis-de-France, Cap-de-la-Madeleine et Sainte-Marthe-du-Cap recourent, quant à eux, de plus importantes épaisseurs de sables formant une nappe libre. Une nappe captive est également identifiée dans le secteur de Trois-Rivières et Trois-Rivières Ouest. Cette dernière n'est pas exploitée et peu de données sont disponibles sur celle-ci.

Enfin, les aquifères compris dans le **socle rocheux** ont été subdivisés entre les trois grands domaines de roches cristallines du plateau Laurentien (domaine de Mékinac-Taureau, Terrane de Morin et Suites intrusives) en condition libre et captive et les trois principaux types de roches sédimentaires des Basses-Terres-du-Saint-Laurent (grès, calcaires et shales) en condition captive uniquement.

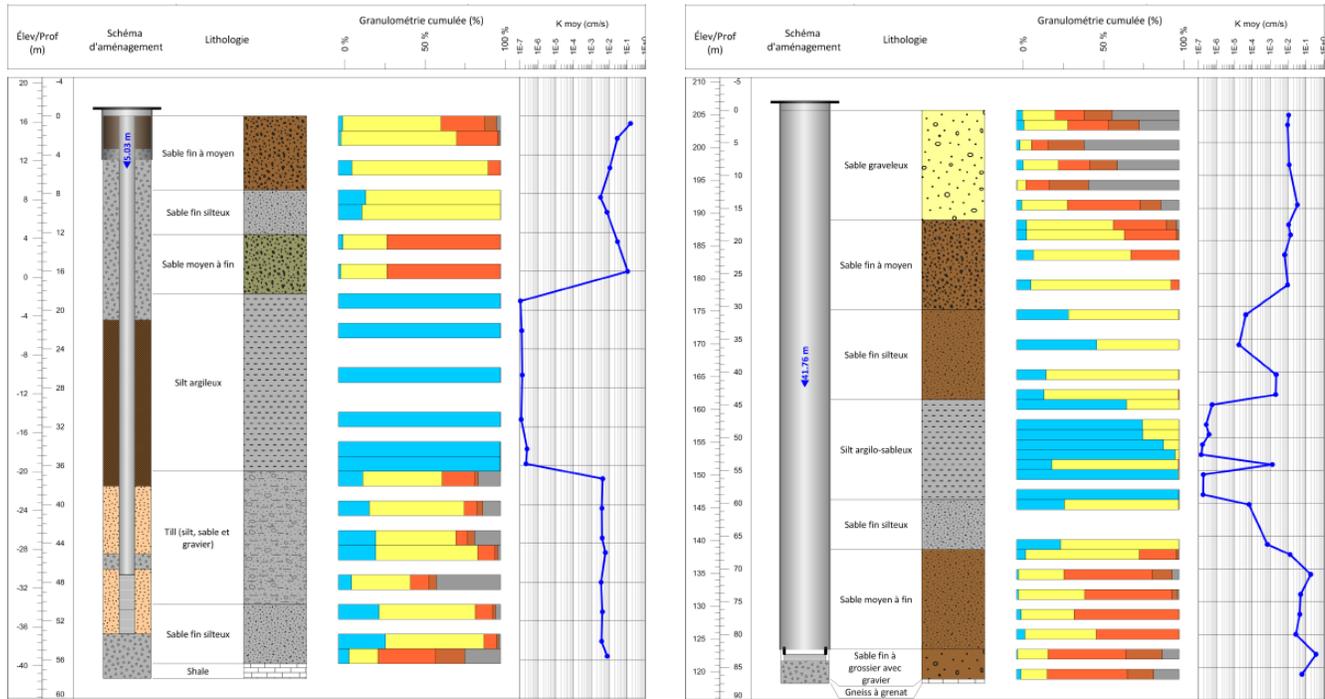
**Tableau 5.1 Description des principaux aquifères**

#	Aquifère	Nappe	Exemple et description
1C	Les fonds de vallées du Bouclier	Captive	L'aquifère de Saint-Alexis-des-Monts est dans la vallée de la rivière du Loup, qui a environ deux kilomètres de largeur avec une profondeur variant de 30 à 70 mètres. Cette vallée est constituée d'une nappe libre composée d'une couche de sable fin à moyen de six à dix mètres qui superpose une couche de sédiments fins. Sous cette dernière, se trouvent du till, du côté ouest, ainsi que sur du sable et gravier du côté est, reposant directement sur le socle rocheux précambien (nappe captive). Des aquifères comparables se retrouvent dans <b>les vallées des rivières Maskinongé, Yamachiche et Shawinigan</b> .
1L	Les fonds de vallées du Bouclier	Libre	
2C	Le paléodelta de la rivière Maskinongé et les dépôts adjacents	Captive	Les aquifères situés dans le piedmont sont caractérisés par la présence de plusieurs dépressions du socle rocheux comblées de matériaux granulaires grossiers et parfois recouvertes par des sédiments fins. L'aquifère de Sainte-Angèle-de-Prémont en est un exemple. Du côté sud-est, l'aquifère captif est constitué de sédiments fluvio-glaciaires déposés dans une dépression rocheuse surmontés par les sédiments fins de la mer de Champlain. Du côté nord-ouest, le complexe de la moraine de Saint-Narcisse contient un aquifère à nappe libre.
2L	Le paléodelta de la rivière Maskinongé et les dépôts adjacents	Libre	
3C	Le paléodelta de la rivière Yamachiche et les dépôts adjacents	Captive	
3L	Le paléodelta de la rivière Yamachiche et les dépôts adjacents	Libre	
<b>4. La moraine de Saint-Narcisse et les dépôts adjacents</b>			
4AC	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Captive	Situé dans le piedmont, cet aquifère est constitué d'une nappe captive jaillissante composée de sable et de gravier. Cet aquifère est situé à proximité de la <b>moraine de Saint-Narcisse</b> , laquelle joue probablement le rôle de zone de recharge pour cet aquifère. Cet aquifère serait d'origine fluvio-glaciaire et jouerait un rôle de zone de recharge d'un milieu humide à la tête du bassin versant de la rivière Champlain.
4AL	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Libre	
4BC	Charette	Captive	
4BL	Charette	Libre	
4CC	Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin	Captive	
4CL	Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin	Libre	
5C	Les dépôts de la faille de Saint-Cuthbert*	Captive	
6C	Les dépôts fluvioglaciaires sous la plaine argileuse*	Captive	
7L	Les dépôts littoraux du lac Lampsilis	Libre	
<b>8. Le paléodelta de la rivière Saint-Mauricie</b>			
8AL	Saint-Boniface	Libre	L'aquifère est constitué d'une nappe libre composée de sable d'environ 20 mètres d'épaisseur reposant sur une couche d'argile imperméable. Cet aquifère n'est alimenté que par l'infiltration des précipitations et il est l'un des aquifères les plus intensément exploités, notamment par la ville de Trois-Rivières. Étant situé en grande partie dans un milieu urbanisé, l'aquifère est fortement vulnérable aux activités anthropiques de surface.
8BL	Shawinigan (Shawinigan-Sud et Lac-à-la-Tortue)	Libre	
8CL	Saint-Étienne-des-Grès	Libre	
8DL	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Libre	
8EL	Secteur Pointe-du-Lac (Trois-Rivières) et Yamachiche	Libre	
8FC	Secteurs Trois-Rivières et Trois-Rivières-Ouest**	Captive	
8FL	Secteurs Trois-Rivières et Trois-Rivières-Ouest	Libre	

#	Aquifère	Nappe	Exemple et description
<b>8GL</b>	Secteur Saint-Louis-de-France (Trois-Rivières)	Libre	
<b>8HC</b>	Secteur Cap-de-la-Madeleine (Trois-Rivières)*	Captive	
<b>8HL</b>	Secteur Cap-de-la-Madeleine (Trois-Rivières)	Libre	
<b>9. Le bouclier</b>			
<b>9AC</b>	Domaine de Mékinac-Taureau	Captive	7.41E-07
<b>9AL</b>	Domaine de Mékinac-Taureau	Libre	2.15E-07
<b>9BC</b>	Terrane de Morin	Captive	7.70E-05
<b>9BL</b>	Terrane de Morin	Libre	6.67E-09
<b>9CC</b>	Suites intrusives	Captive	-
<b>9CL</b>	Suites intrusives	Libre	7.78E-06
<b>10C</b>	Grès	Captive	-
<b>11C</b>	Calcaire	Captive	2.14E-06
<b>12C</b>	Shale*	Captive	9.14E-07

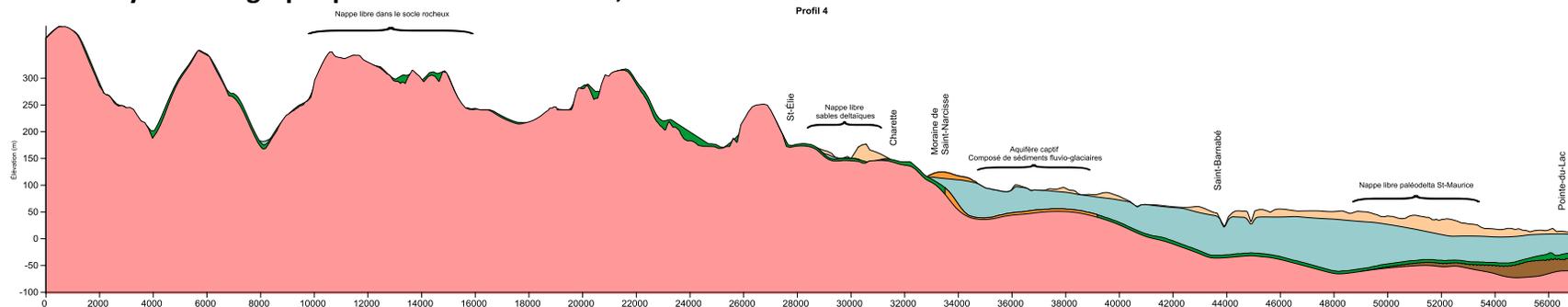
Les figures 5.3 à 5.6 illustrent, à l'aide de profils hydrostratigraphiques, quelques-uns des types d'aquifères que l'on retrouve sur le territoire à l'étude. Une série complète de profils sont présentés à l'annexe 1, tandis que les coupes hydrostratigraphiques reconstituées d'environ 85 puits et forages répartis sur le territoire sont présentées à l'annexe 8 de ce document.

L'image ci-dessous illustre les coupes hydrostratigraphiques préparées pour intégrer l'information lithologique et hydrogéologique dans les rapports de forage effectués pendant le projet. On y retrouve de l'information sur le puits, la lithologie, la granulométrie et la conductivité hydraulique interprétée.

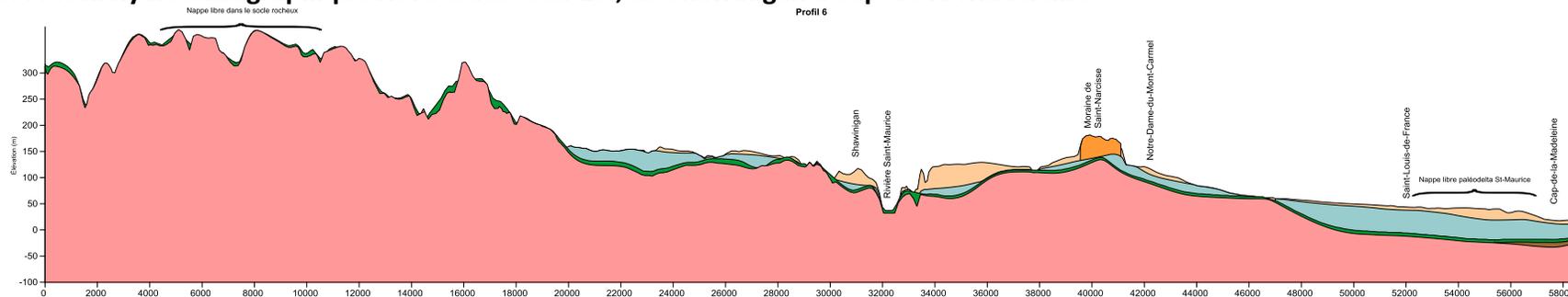


Exemple de coupes hydrostratigraphiques de forage intégrant l'information granulométrique et la conductivité hydraulique qui en découle. À gauche, forage FE-02-11, Trois-Rivières. À droite, forage FE-09-11, Sainte-Angèle-de-Prémont

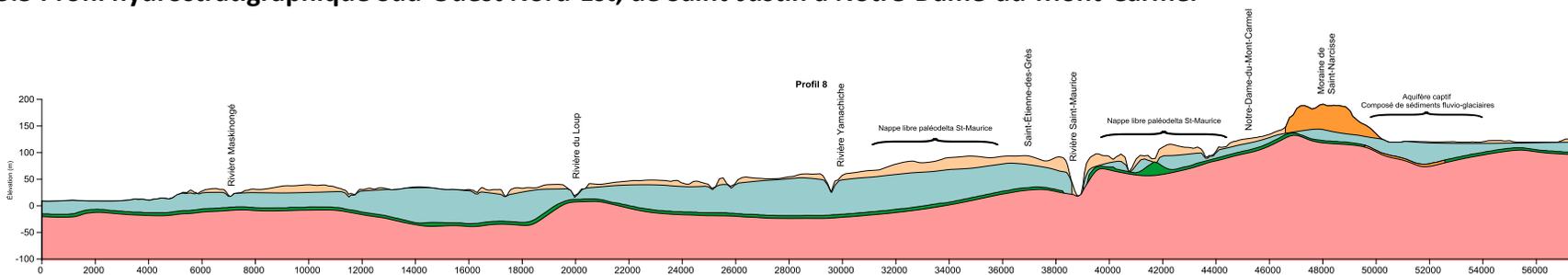
**Figure 5.3 Profil hydrostratigraphique Nord-Ouest Sud-Est, de Saint-Élie-de-Caxton à Pointe-du-Lac**



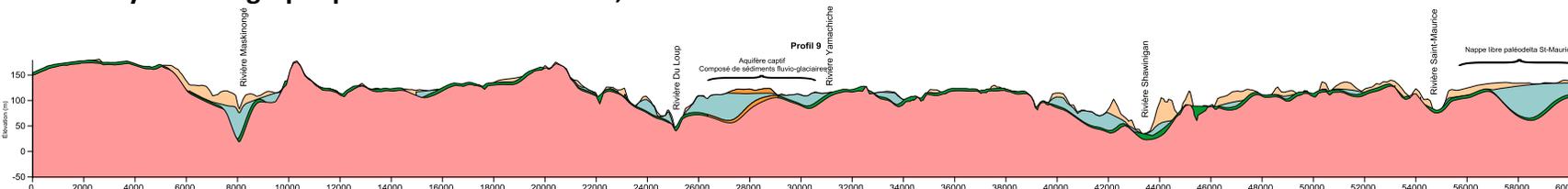
**Figure 5.4 Profil hydrostratigraphique Nord-Ouest Sud-Est, de Shawinigan à Cap-de-la-Madeleine**



**Figure 5.5 Profil hydrostratigraphique Sud-Ouest Nord-Est, de Saint-Justin à Notre-Dame-du-Mont-Carmel**



**Figure 5.6 Profil hydrostratigraphique Sud-Ouest Nord-Est, de Saint-Alexis-des-Montas à Saint-Jean-des-Piles**



Ces figures sont une représentation simplifiée du livrable cartographique 14 accompagnant ce rapport.

## 5.2 PROPRIÉTÉS HYDRAULIQUES

Les données sur les **propriétés hydrauliques** du territoire proviennent en partie de sources d'information existantes (rapports d'études hydrogéologiques ou autres) et en partie de travaux d'investigation dans le cadre du projet (essais de pompage, essais de perméabilité à charge variable, formules dérivées d'analyses granulométriques). La collecte des données existantes est décrite en détail dans le rapport d'étape 1, tandis que les données acquises lors de travaux de terrain sont décrites dans le rapport d'étape 2. Les fiches d'interprétation d'essais réalisés dans le cadre des travaux sont à l'**annexe 11**.

Un inventaire des propriétés a été effectué aquifère par aquifère, afin de spatialiser l'information hydrogéologique disponible en ce qui concerne la conductivité hydraulique, la transmissivité, l'épaisseur saturée, le coefficient d'emmagasinement et la capacité spécifique. Les résultats obtenus sont présentés au **tableau 5.2**.

De ce tableau, il est possible de faire les constats suivants :

- Il existe un important contraste de conductivité hydraulique, de transmissivité et de capacité spécifique entre les aquifères compris dans les dépôts meubles et les aquifères formés par les réseaux de fissures;
- Les plus grandes épaisseurs saturées sont, respectivement, dans les aquifères du socle rocheux, dans le segment de Sainte-Angèle-de-Prémont de la moraine de Saint-Narcisse et dépôts adjacents, dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice, secteur Trois-Rivières Ouest et dans les paléodelta des rivières Yamachiche et Maskinongé;
- Il n'y a pas ou peu de distinction dans les propriétés hydrauliques entre les nappes libres et les nappes captives, sauf pour le coefficient d'emmagasinement qui est, sauf quelques exceptions, de l'ordre de  $10^{-1}$  dans les nappes libres et de l'ordre de  $10^{-4}$  dans les nappes captives;
- Les données disponibles sur les aquifères compris dans les réseaux de fissures du socle rocheux ne permettent pas de distinguer de façon appréciable les aquifères les uns des autres.

**Tableau 5.2 Sommaire des propriétés hydrauliques**

Livrable 21

#	Description de l'aquifère	Nappe	Conductivité hydraulique K (m/s)	Transmissivité T (m <sup>2</sup> /d)	Épaisseur saturée b (m)	Coefficient d'emmagasinement S (sans unité)	Capacité spécifique Q/s (m <sup>3</sup> /d/m)
<b>Aquifères dans les dépôts meubles</b>							
<b>1C</b>	Les fonds de vallées du Bouclier	Captive	3.36E-04	772.8	4.3	1.41E-03	287.2
<b>1L</b>	Les fonds de vallées du Bouclier	Libre	5.11E-04	436.6	8.0	2.00E-02	288.0
<b>2C</b>	Le paléodelta de la rivière Maskinongé et les dépôts adjacents	Captive	1.24E-04	260.2	11.2	1.03E-03	62.0
<b>2L</b>	Le paléodelta de la rivière Maskinongé et les dépôts adjacents	Libre	5.16E-03	287.0	23.2	-	208.6
<b>3C</b>	Le paléodelta de la rivière Yamachiche et les dépôts adjacents	Captive	8.30E-05	172.8	24.1	6.10E-04	99.4
<b>3L</b>	Le paléodelta de la rivière Yamachiche et les dépôts adjacents	Libre	5.03E-04	685.5	8.4	7.70E-02	240.5
<b>4. La moraine de Saint-Narcisse et les dépôts adjacents</b>							
<b>4AC</b>	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Captive	2.75E-04	457.4	19.3	3.33E-04	172.6
<b>4AL</b>	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Libre	-	20.8	-	-	166.3
<b>4BC</b>	Charette	Captive	1.06E-04	30.5	3.1	-	34.6
<b>4BL</b>	Charette	Libre	-	-	6.7	-	165.5
<b>4CC</b>	Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin	Captive	5.69E-04	752.0	13.5	4.31E-04	186.3
<b>4CL</b>	Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin	Libre	9.68E-05	987.5	26.3	3.21E-02	362.2
<b>5C</b>	Les dépôts de la faille de Saint-Cuthbert*	Captive	-	-	-	-	-
<b>6C</b>	Les dépôts fluvioglaciaires sous la plaine argileuse*	Captive	4.08E-06	0.8	2.1	-	1.6
<b>7L</b>	Les dépôts littoraux du lac Lampsilis	Libre	-	-	-	-	-
<b>8. Le paléodelta de la rivière Saint-Mauricie</b>							
<b>8AL</b>	Saint-Boniface	Libre	-	-	-	-	223.8
<b>8BL</b>	Shawinigan (Shawinigan-Sud et Lac-à-la-Tortue)	Libre	2.85E-04	563.8	8.4	-	366.7
<b>8CL</b>	Saint-Étienne-des-Grès	Libre	5.67E-04	267.7	5.0	1.19E-01	173.4
<b>8DL</b>	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Libre	5.56E-05	149.6	6.8	1.00E-04	146.1
<b>8EL</b>	Secteur Pointe-du-Lac (Trois-Rivières) et Yamachiche	Libre	1.55E-05	199.5	9.0	8.90E-02	203.6
<b>8FC</b>	Secteurs Trois-Rivières et Trois-Rivières-Ouest**	Captive	-	604.8	-	-	70.8
<b>8FL</b>	Secteurs Trois-Rivières et Trois-Rivières-Ouest	Libre	2.79E-04	874.6	24.4	2.05E-01	231.7
<b>8GL</b>	Secteur Saint-Louis-de-France (Trois-Rivières)	Libre	7.70E-05	49.2	15.3	1.37E-01	55.0
<b>8HC</b>	Secteur Cap-de-la-Madeleine (Trois-Rivières)*	Captive	1.64E-04	86.4	6.1	-	29.2

#	Description de l'aquifère	Nappe	Conductivité hydraulique K (m/s)	Transmissivité T (m <sup>2</sup> /d)	Épaisseur saturée b (m)	Coefficient d'emmagasinement S (sans unité)	Capacité spécifique Q/s (m <sup>3</sup> /d/m)
<b>8HL</b>	Secteur Cap-de-la-Madeleine (Trois-Rivières)	Libre	3.36E-04	352.7	8.1	1.22E-01	206.4
<b>Aquifères dans le socle rocheux fracturé</b>							
<b>9. Le bouclier</b>							
<b>9AC</b>	Domaine de Mékinac-Taureau	Captive	7.41E-07	-	-	-	-
<b>9AL</b>	Domaine de Mékinac-Taureau	Libre	2.15E-07	-	61.9	-	1.7
<b>9BC</b>	Terrane de Morin	Captive	7.70E-05	79.2	36.1	-	44.6
<b>9BL</b>	Terrane de Morin	Libre	6.67E-09	9.7	71.0	-	3.2
<b>9CC</b>	Suites intrusives	Captive	-	-	-	-	-
<b>9CL</b>	Suites intrusives	Libre	7.78E-06	-	20.3	-	6.5
<b>10C</b>	Grès	Captive	-	-	-	-	-
<b>11C</b>	Calcaire	Captive	2.14E-06	0.2	1.5	-	0.9
<b>12C</b>	Shale*	Captive	9.14E-07	-	-	-	-

\* Nappe captive non exploitée

\*\* Sables des Vieilles Forges.

### 5.3.1 PIÉZOMÉTRIE DE LA NAPPE LIBRE ET DES NAPPES CAPTIVES ET SEMI-CAPTIVES

La **piézométrie de la nappe libre** et des nappes captives et semi-captives ont été dressées à l'aide des données ponctuelles de niveau d'eau tirées des sources de données existantes et des travaux de terrain. Toute provenance confondue, 984 points de mesure piézométrique proviennent de la nappe libre et 563 mesures proviennent de la nappe captive. Ces mesures sont toutefois ponctuelles et la méthode de mesure n'est pas toujours définie. Aussi, il est possible que les mesures du niveau statique et du niveau dynamique fournies dans la base de données du SIH n'aient pas été prises à l'aide d'un instrument adéquat en s'assurant que le niveau d'eau était bien stabilisé. Les surfaces piézométriques qui découlent de ces mesures sont donc présentées à titre indicatif.

Deux méthodes ont été utilisées afin de dresser les cartes piézométriques : soit par **modélisation numérique** de l'écoulement souterrain et par calcul d'**interpolation géostatistique**. La modélisation hydrogéologique a été faite à l'aide du logiciel *Visual MODFLOW 2012* en utilisant une grille de 250 m par 250 m sur l'ensemble du territoire. Les mailles occupées par des rivières et lacs ont été représentées par des conditions limites à charge constante, tandis qu'un flux de recharge distribué spatialement (voir section 5.4) a été appliqué sur l'ensemble du territoire. Les propriétés hydrogéologiques moyennes des types de dépôts ont été appliquées sur des polygones reflétant leur distribution géographique. Enfin, les données ponctuelles de niveau d'eau ont été utilisées pour fins de comparaison avec les résultats du modèle dans le but d'évaluer sa fiabilité.

Le calcul géostatistique a été effectué par interpolation directe des données piézométriques mesurées avec l'outil « Topo to raster » du logiciel *ArcGIS*, en y intégrant l'élévation de l'eau dans le réseau hydrographique à l'aide de 2824 points représentatifs et de 4943 points de données ajoutées manuellement dans les secteurs situés au nord du territoire, où peu de données piézométriques sont disponibles.

De façon générale, les résultats obtenus pour les deux méthodes sont relativement semblables. À l'échelle de l'ensemble du territoire, les surfaces piézométriques obtenues sont toutes deux relativement conformes à la surface topographique. Toutefois, les cartes obtenues diffèrent l'une de l'autre pour les points suivants :

- L'erreur moyenne absolue entre les piézométries observées et calculées par interpolation est plus faible que celles calculées par modélisation (1,32 m versus 6,41 m);
- La surface piézométrique obtenue par interpolation ne tient pas compte de la nature des dépôts comme le fait le calcul par modélisation. Ainsi, dans les secteurs contenant une faible densité d'observations comme dans partie nord du territoire, la piézométrie obtenue par

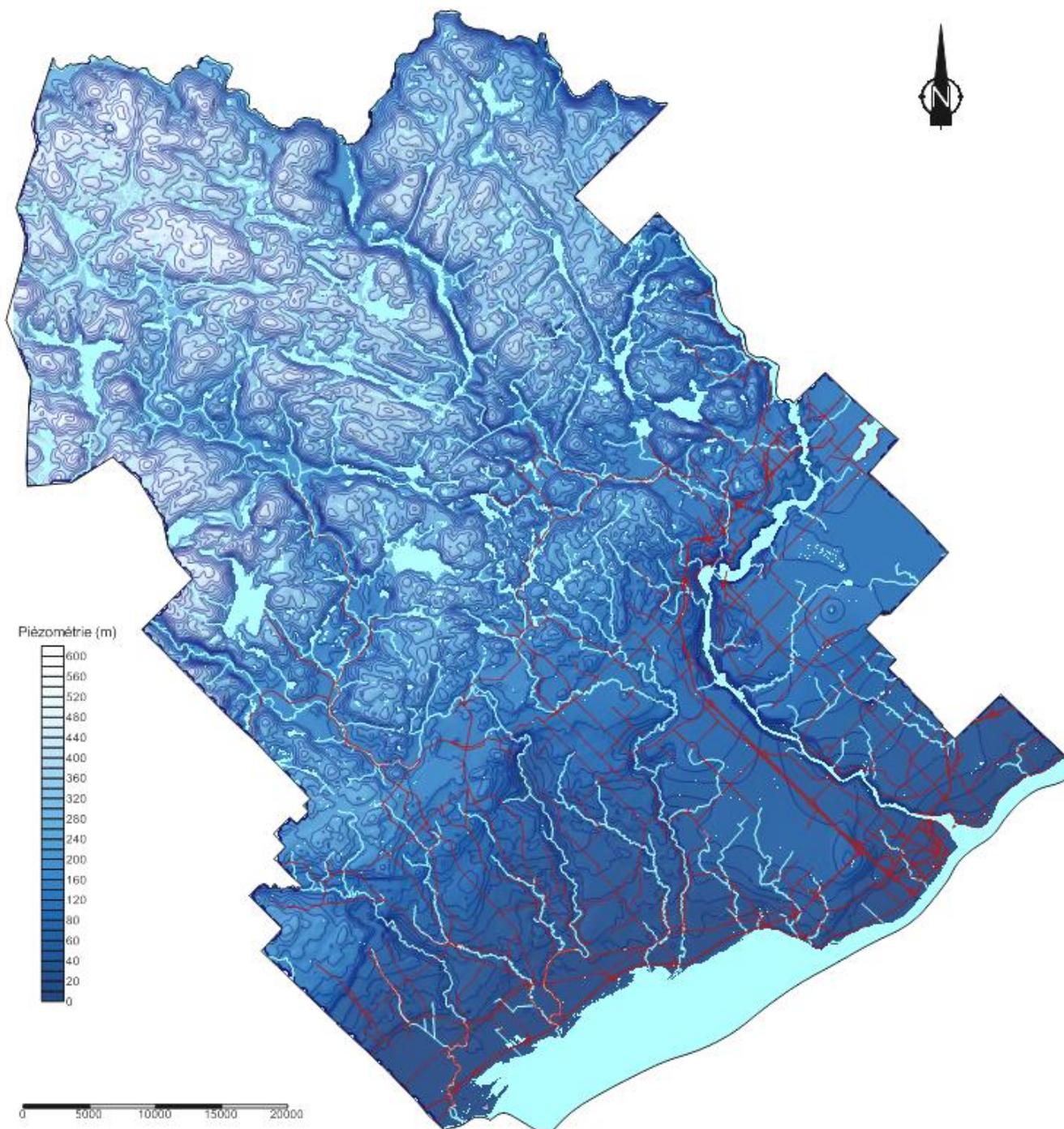
modélisation est considérée comme plus réaliste, puisqu'elle reflète la piézométrie que devrait avoir l'aquifère avec les propriétés hydrogéologiques et les taux de recharges estimés.

Pour fins de préparation de la carte de l'indice de vulnérabilité et pour calculer les volumes d'eau disponibles dans les aquifères, la piézométrie calculée par interpolation a été retenue, tandis que les résultats de modélisation ont été utilisés afin de préparer la carte piézométrique de la nappe libre, cartographier les zones de recharge et de résurgence des eaux souterraines et aussi pour obtenir une compréhension générale des écoulements souterrains.

Les **figures 5.7 et 5.8** présentent les surfaces piézométriques respectives de la nappe libre et de la nappe captive. Il est possible de faire les observations suivantes sur la piézométrie de la nappe libre :

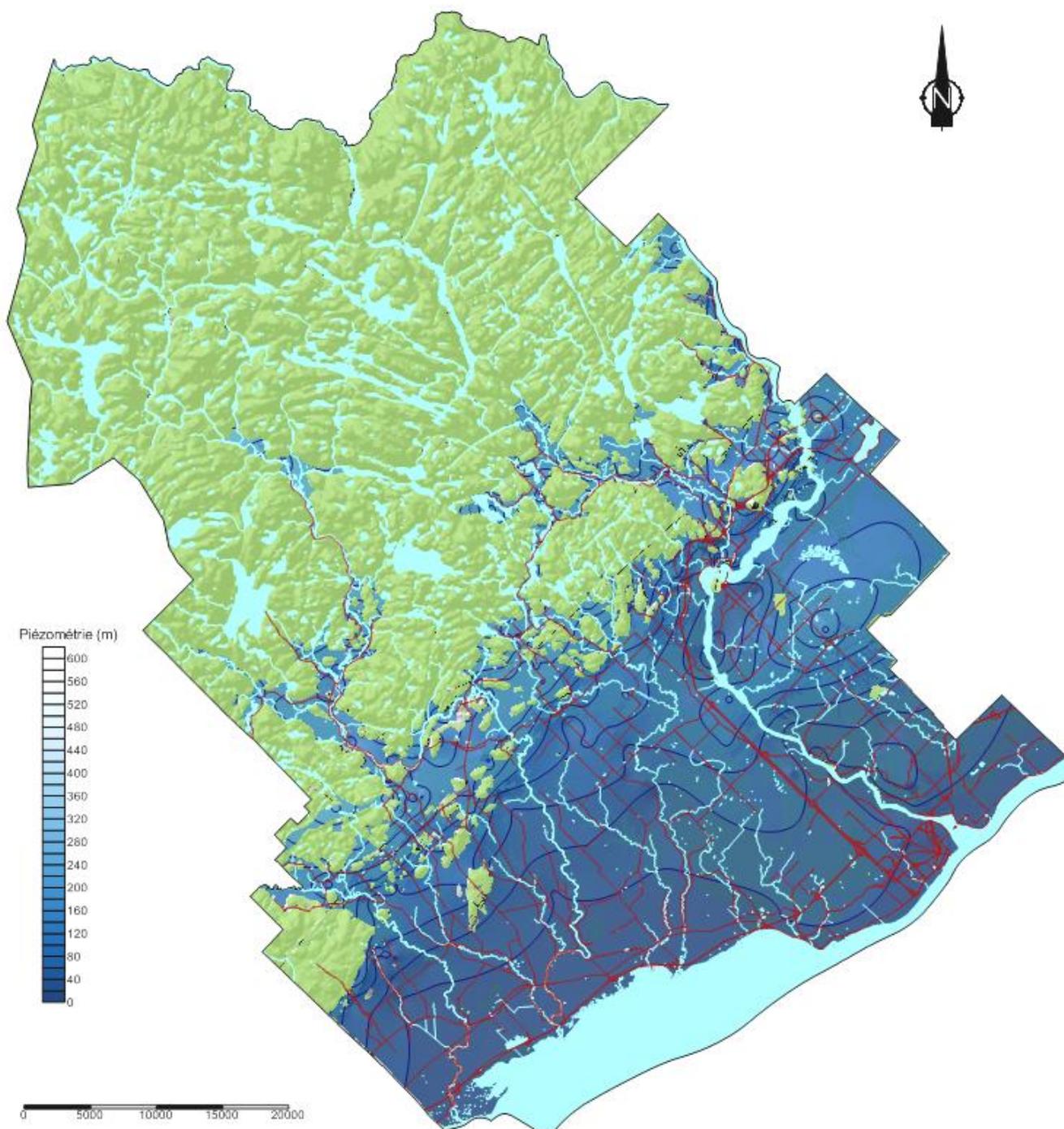
- Sur le territoire du plateau Laurentien, la surface piézométrique des nappes comprises dans le socle rocheux est caractérisée par de forts gradients hydrauliques et des directions d'écoulement variables qui correspondent avec les pentes du terrain. La surface piézométrique des nappes comprises dans les sédiments fluvioglaciaires est, quant à elle, beaucoup plus plane en termes de gradients, tandis que les directions d'écoulement sont vers les cours d'eau qui drainent les vallées;
- Sur le territoire du piedmont, la surface piézométrique est semblable à celle du plateau Laurentien, dans la mesure où un important contraste de perméabilité entre le socle rocheux et les dépôts meubles granulaires fait en sorte que la surface alterne entre des zones bosselées et des zones relativement planes. Par contre la surface piézométrique des dépôts meubles ne correspond pas à la forme de vallées allongées;
- Sur le territoire du paléodelta de la rivière Saint-Maurice, la piézométrie est peu affectée par la rivière Saint-Maurice, à l'exception de la zone de ravinement qui la borde. En effet, la rivière a incisé les dépôts meubles jusqu'à une élévation inférieure à la base de l'aquifère. C'est donc cette dernière qui contrôle l'élévation du point de sortie de l'aquifère de Shawinigan jusqu'au pont de l'autoroute 40 à Trois-Rivières, où l'élévation de la couche d'argile devient inférieure à l'élévation des eaux de surface (rivières Saint-Maurice et fleuve Saint-Laurent). Du côté est de la rivière Saint-Maurice, l'écoulement souterrain s'effectue parallèlement à celle-ci, tandis que du côté ouest, la présence d'un affleurement de till fait en sorte qu'un rehaussement piézométrique est créé à cet endroit. Au nord de ce secteur, l'écoulement se divise en deux : une partie s'écoule en direction nord-est vers la rivière St-Maurice, tandis que l'autre partie s'écoule vers le lac St-Pierre. Les gradients hydrauliques sur les nappes libres du paléodelta sont très faibles. Ils sont de l'ordre de 0,002;
- Enfin, sur le territoire de la plaine argileuse, la piézométrie épouse les formes du terrain avec une piézométrie presque égale au niveau du sol.

Figure 5.7 Piézométrie de la nappe libre



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 20 accompagnant ce rapport.

Figure 5.8 Piézométrie des nappes captives et semi-captives



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 19 accompagnant ce rapport.

En ce qui concerne les **gradients verticaux**, seulement quelques données sont disponibles. L'information disponible est interprétée comme suit :

- Dans le secteur de Sainte-Angèle-de-Prémont, un nid de puits permet de déterminer qu'il existe un gradient vertical vers le bas de 0,011 entre la nappe libre et la nappe captive;
- À Shawinigan, dans le secteur de Lac-à-la Tortue, deux nids de puits permettent de déterminer qu'il existe un gradient vertical vers le bas de 0,6 et de 1 entre la tourbière et l'aquifère sableux sous-jacent. Ce fort gradient indique qu'à l'endroit où les mesures ont été prises, la tourbière forme probablement une nappe perchée;
- À Trois-Rivières, dans le secteur de Saint-Louis-de-France, deux nids de puits sont installés à proximité l'un de l'autre dans la nappe libre. Les niveaux d'eau sont très semblables et les gradients calculés sont différents, ce qui permet de croire qu'il n'existe pas de tendance dans la composante verticale de l'écoulement à l'intérieur de la nappe libre dans ce secteur;
- À Trois-Rivières, dans le secteur de Trois-Rivières Ouest, un nid de puits aménagé dans la nappe libre permet de mesurer des niveaux d'eau identiques, ce qui indique l'absence de gradient hydraulique dans ce secteur de la nappe libre.

De façon générale, il est possible d'affirmer que dans les zones de recharge, on peut s'attendre à observer des gradients verticaux vers le bas, tandis que dans les zones de résurgence, le gradient devrait s'inverser.

---

### 5.3.2 SÉRIES CHRONOLOGIQUES

La ville de Trois-Rivières, la Régie d'aqueduc de Grand-Pré et le MDDEFP effectuent respectivement depuis 1972, 1997 et 2006 des **suivis piézométriques** dans un réseau de piézomètres de surveillance. Ces suivis permettent d'observer les fluctuations annuelles et saisonnières de la piézométrie. Les **figures 5.9 et 5.10** montrent des graphiques de suivi effectués respectivement à Trois-Rivières et Sainte-Angèle-de-Prémont dans les nappes libres du Paléodelta de la rivière Saint-Maurice et de la Moraine de Saint-Narcisse. Il est possible d'y faire les observations suivantes :

- À Trois-Rivières, les fluctuations annuelles de la piézométrie sont **de l'ordre de 1,5 m**. Il est aussi possible d'observer un cycle de fluctuations de sept à huit ans au cours duquel le niveau piézométrique peut fluctuer dans une enveloppe d'environ deux mètres;
- Les fluctuations annuelles de la piézométrie de la nappe captive de Sainte-Angèle de Prémont semblent plus aléatoires. Il est possible que ce piézomètre soit affecté par les activités de prélèvement de la Régie d'aqueduc de Grand-Pré. Il est possible toutefois que le même cycle de sept à huit ans se produise dans cette nappe comme le témoigne le rehaussement de 2004;
- Dans les deux cas, **l'aquifère ne semble pas être en condition de surexploitation**.

Figure 5.9 Suivi piézométrique MAUR00961 – Nappe libre de Trois-Rivières, secteur Cap-de-la-Madeleine

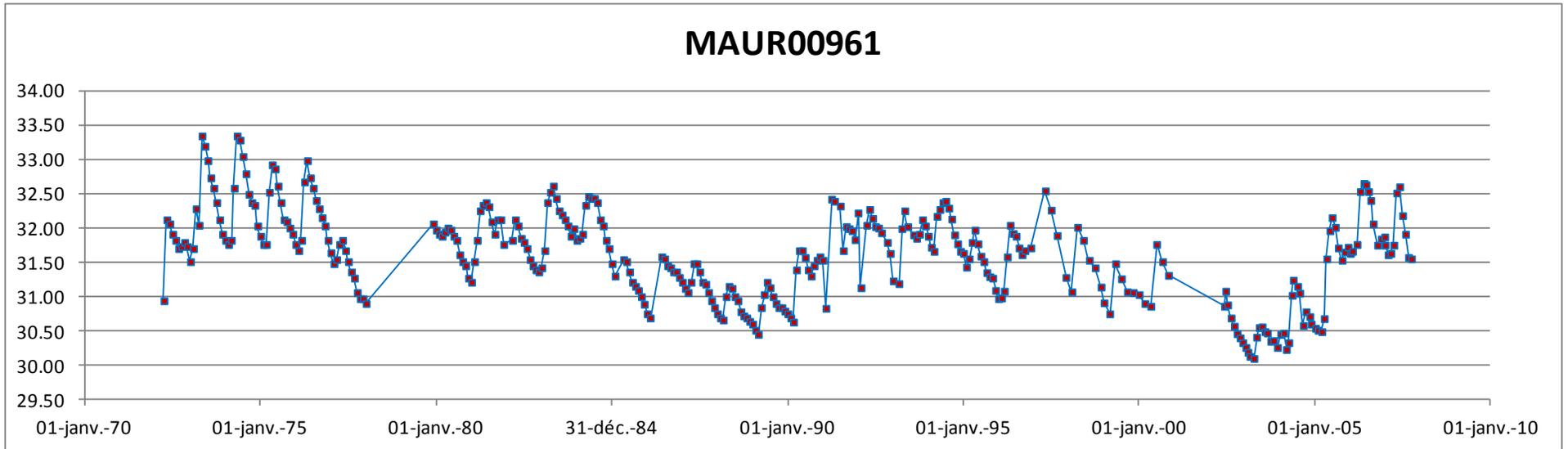
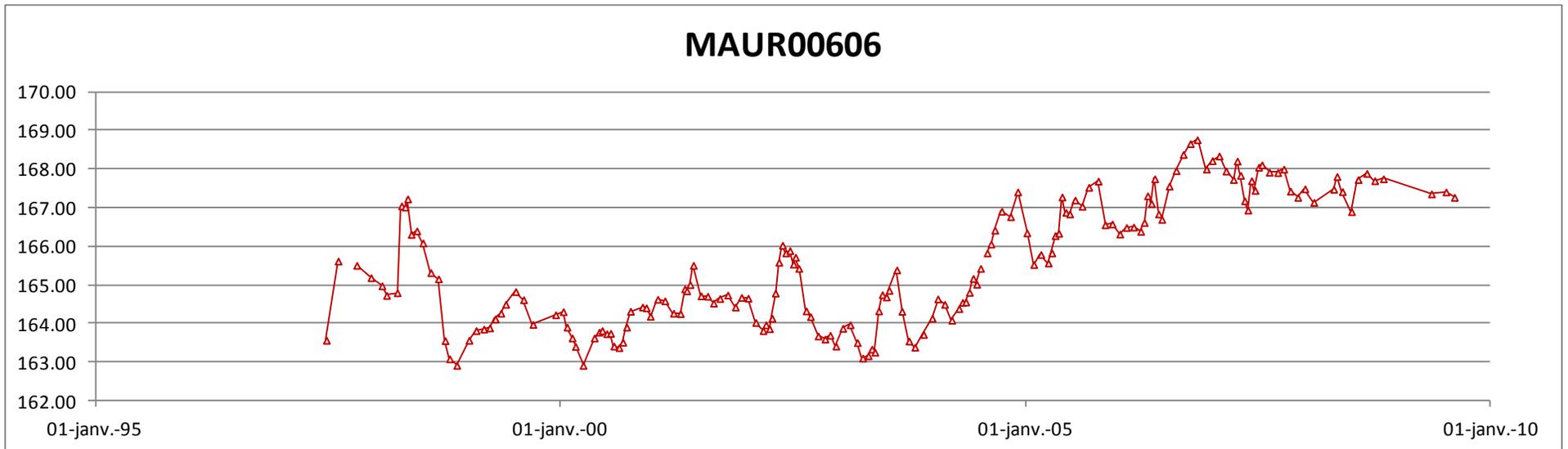


Figure 5.10 Suivi piézométrique MAUR00606 – Nappe captive de Sainte-Angèle-de-Prémont



#### 5.4 RECHARGE ET BILAN HYDROLOGIQUE

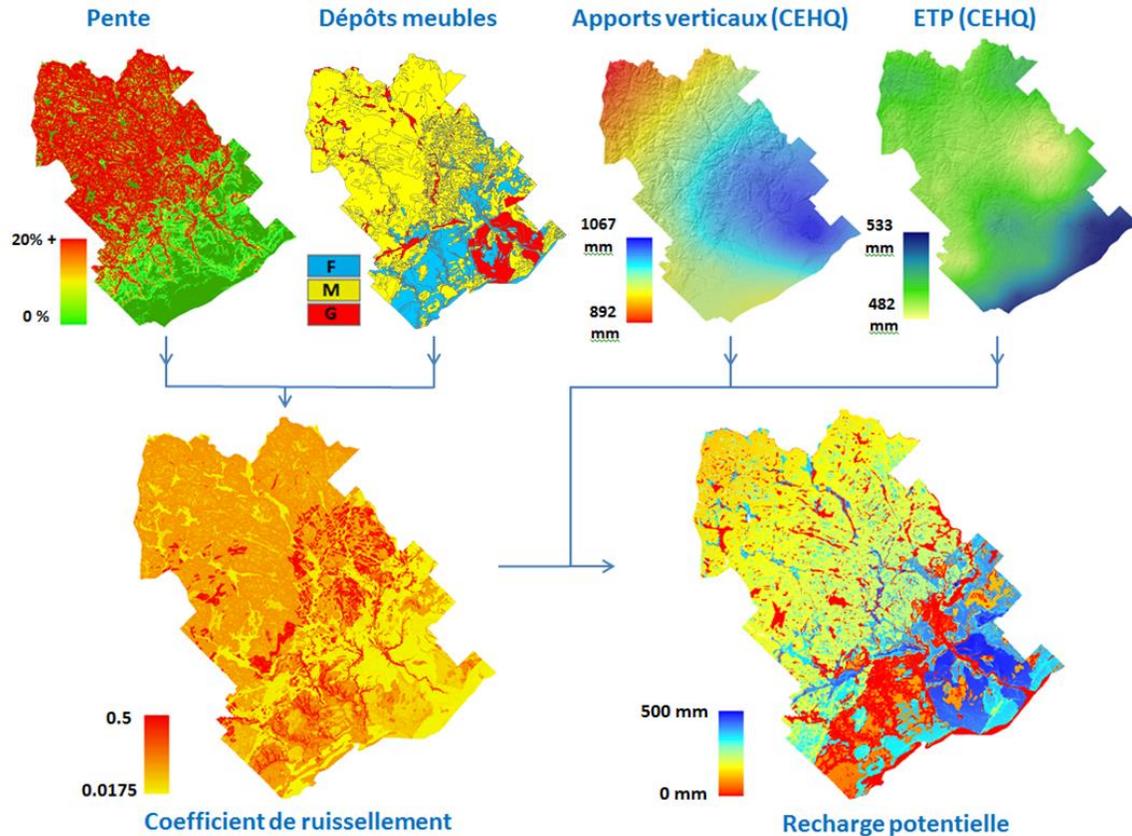
Le taux de **recharge potentielle** des aquifères a été estimé sur l'ensemble du territoire à l'étude par spatialisation d'intrants tels que la pente du terrain et la nature des dépôts meubles, ainsi que les apports verticaux fournis par le centre d'expertises hydriques du Québec (Poirier et al., 2012) et les températures quotidiennes minimale et maximale, également fournies par le CEHQ. Ces données, d'abord fournies dans une grille de 10 km par 10 km, ont été réparties sur la même grille de 100 m par 100 m, de façon à ce que toutes les données soient alignées sur un même maillage.

La **figure 5.11** illustre le processus de calcul spatialisé de la recharge potentielle sur le territoire. Le **coefficient de ruissellement** a été calculé à l'aide d'une formule inspirée de la méthode rationnelle où des cotes ont été attribuées en fonction de la texture des sols et ensuite pondérées avec la pente. L'**évapotranspiration potentielle** moyenne annuelle a été calculée à l'aide de la formule de calcul d'Hydro-Québec (Poirier et al., 2012) en fonction des températures minimales et maximales quotidiennes des séries temporelles comprises entre 1970 et 2010. Enfin, la recharge potentielle a été calculée pour chaque maille en appliquant le coefficient de ruissellement aux apports verticaux annuels moyens, puis en soustrayant l'évapotranspiration potentielle de ce résultat.

Une **validation** de cette méthode a été faite pour le bassin versant de la rivière Yamachiche en comparant le volume d'eau potentiellement infiltré annuellement avec le débit de base simulé à l'exutoire de cette rivière. Ce bassin versant a été choisi puisqu'il s'agit du plus grand bassin versant, entièrement situé à l'intérieur du territoire. Bien que le débit de base utilisé pour fins de comparaison n'ait pas été mesuré directement, celui-ci a été calculé à l'aide d'un modèle élaboré avec le code Hydrotel, lequel a été calibré sur les stations de mesure des rivières Maskinongé et du Loup.

Le taux de recharge sur le paléodelta de la rivière St-Maurice a aussi été calculé à l'aide du logiciel HELP qui permet de modéliser le taux de recharge annuel moyen à partir des statistiques météorologiques mensuelles enregistrées à Trois-Rivières entre 1971 et 2000. La recharge unitaire obtenue pour la surface sableuse de cette portion du territoire est de **499,5 mm/an**, ce qui s'accorde également avec le calcul effectué pour l'ensemble du territoire.

Figure 5.11 Méthodes d'estimation de la recharge



Le **tableau 5.3** présente un sommaire du bilan hydrique par bassin versant sur le territoire à l'étude. La somme de la lame d'eau annuelle par unité de surface de l'ensemble des mailles de chaque bassin versant a été calculée pour la précipitation, le ruissellement, l'évapotranspiration et la recharge, de façon à obtenir le volume d'eau annuel de chacune des composantes du bilan hydrique. Il est possible d'y faire les observations suivantes :

- La précipitation moyenne annuelle sur l'ensemble du territoire est de **3,5 milliards de mètres cubes d'eau** dont une partie ruisselle directement vers les cours d'eau, une partie retourne à l'atmosphère via le processus d'évapotranspiration et une partie recharge les aquifères;
- Le pourcentage de la lame d'eau annuellement précipitée contribuant à la recharge des aquifères varie de 13 à 29% et il est de 21% pour l'ensemble du territoire, ce qui représente **743 millions de mètres cubes d'eau**;
- Le pourcentage de la lame d'eau contribuant au ruissellement varie de 21 à 41% pour 31% sur l'ensemble du territoire;
- L'évapotranspiration de la lame d'eau varie, quant à elle de 45 à 50% et 48% sur l'ensemble.

**Tableau 5.3 Sommaire du bilan hydrique par bassin versant (A) et par municipalité (B)**

A)

Bassin versant	Précipitation totale (m <sup>3</sup> /an)	Ruissellement (m <sup>3</sup> /an)	%	Évapotranspiration (m <sup>3</sup> /an)	%	Recharge (m <sup>3</sup> /an)	%
Rivière Saint-Maurice	1.50E+09	4.52E+08	30%	7.19E+08	48%	3.29E+08	22%
Rivière du Loup	1.17E+09	3.59E+08	31%	5.82E+08	50%	2.30E+08	20%
Rivière Yamachiche	2.71E+08	8.32E+07	31%	1.22E+08	45%	6.61E+07	24%
Rivière Maskinongé	1.65E+08	6.32E+07	38%	7.51E+07	45%	2.67E+07	16%
Rivière Champlain	1.36E+08	2.96E+07	22%	6.70E+07	49%	3.98E+07	29%
Petite Rivière Yamachiche	1.09E+08	4.43E+07	41%	5.04E+07	46%	1.45E+07	13%
Ruisseau Saint-Charles	6.94E+07	1.47E+07	21%	3.49E+07	50%	1.97E+07	28%
Rivière du Bois-Blanc	4.79E+07	1.63E+07	34%	2.40E+07	50%	7.58E+06	16%
Ruisseau aux Glaises	3.48E+07	7.59E+06	22%	1.74E+07	50%	9.74E+06	28%

B)

Municipalité	Précipitation totale (m <sup>3</sup> /an)	Ruissellement (m <sup>3</sup> /an)	%	Évapotranspiration (m <sup>3</sup> /an)	%	Recharge (m <sup>3</sup> /an)	%
Charette	4.28E+07	1.58E+07	37	1.75E+07	41	9.48E+06	22
Louiseville	6.18E+07	1.68E+07	27	3.12E+07	51	1.38E+07	22
Maskinongé	7.24E+07	2.64E+07	36	3.69E+07	51	9.07E+06	13
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	1.37E+08	3.23E+07	24	6.30E+07	46	4.17E+07	30
Saint-Alexis-des-Monts	1.09E+09	2.91E+08	27	5.72E+08	52	2.27E+08	21
Saint-Barnabé	6.07E+07	3.00E+07	49	2.50E+07	42	5.66E+06	9
Saint-Boniface	1.16E+08	4.49E+07	39	4.72E+07	40	2.39E+07	21
Sainte-Angèle-de-Prémont	3.78E+07	8.05E+06	21	1.87E+07	50	1.11E+07	29
Saint-Édouard-de-Maskinongé	5.23E+07	1.87E+07	36	2.29E+07	43	1.07E+07	21
Saint-Élie-de-Caxton	1.32E+08	3.39E+07	26	6.45E+07	49	3.36E+07	25
Saint-Étienne-des-Grès	1.09E+08	3.75E+07	34	4.56E+07	42	2.59E+07	24
Sainte-Ursule	6.70E+07	2.77E+07	41	2.97E+07	45	9.60E+06	14
Saint-Justin	7.72E+07	2.63E+07	34	3.70E+07	48	1.39E+07	18
Saint-Léon-le-Grand	7.56E+07	3.76E+07	50	3.22E+07	42	5.77E+06	8
Saint-Mathieu-du-Parc	2.30E+08	6.58E+07	29	1.10E+08	48	5.38E+07	23
Saint-Paulin	9.88E+07	3.74E+07	38	4.35E+07	44	1.79E+07	18
Saint-Sévère	3.24E+07	1.86E+07	57	1.23E+07	38	1.49E+06	5
Shawinigan	7.95E+08	2.38E+08	30	3.81E+08	48	1.76E+08	22
TNO aquatique de la MRC de Maskinongé	1.33E+08	9.03E+06	7	1.22E+08	91	2.13E+06	2
TNO aquatique du TE de Shawinigan	7.69E+06	4.14E+06	54	2.94E+06	38	6.14E+05	8
Trois-Rivières	3.45E+08	7.46E+07	22	1.83E+08	53	8.78E+07	25
Yamachiche	1.07E+08	3.12E+07	29	5.23E+07	49	2.35E+07	22
<b>Somme</b>	<b>3.88E+09</b>	<b>1.13E+09</b>	<b>29</b>	<b>1.95E+09</b>	<b>50</b>	<b>8.04E+08</b>	<b>21</b>

## 5.5 ZONES DE RECHARGE ET DE RÉSURGENCE

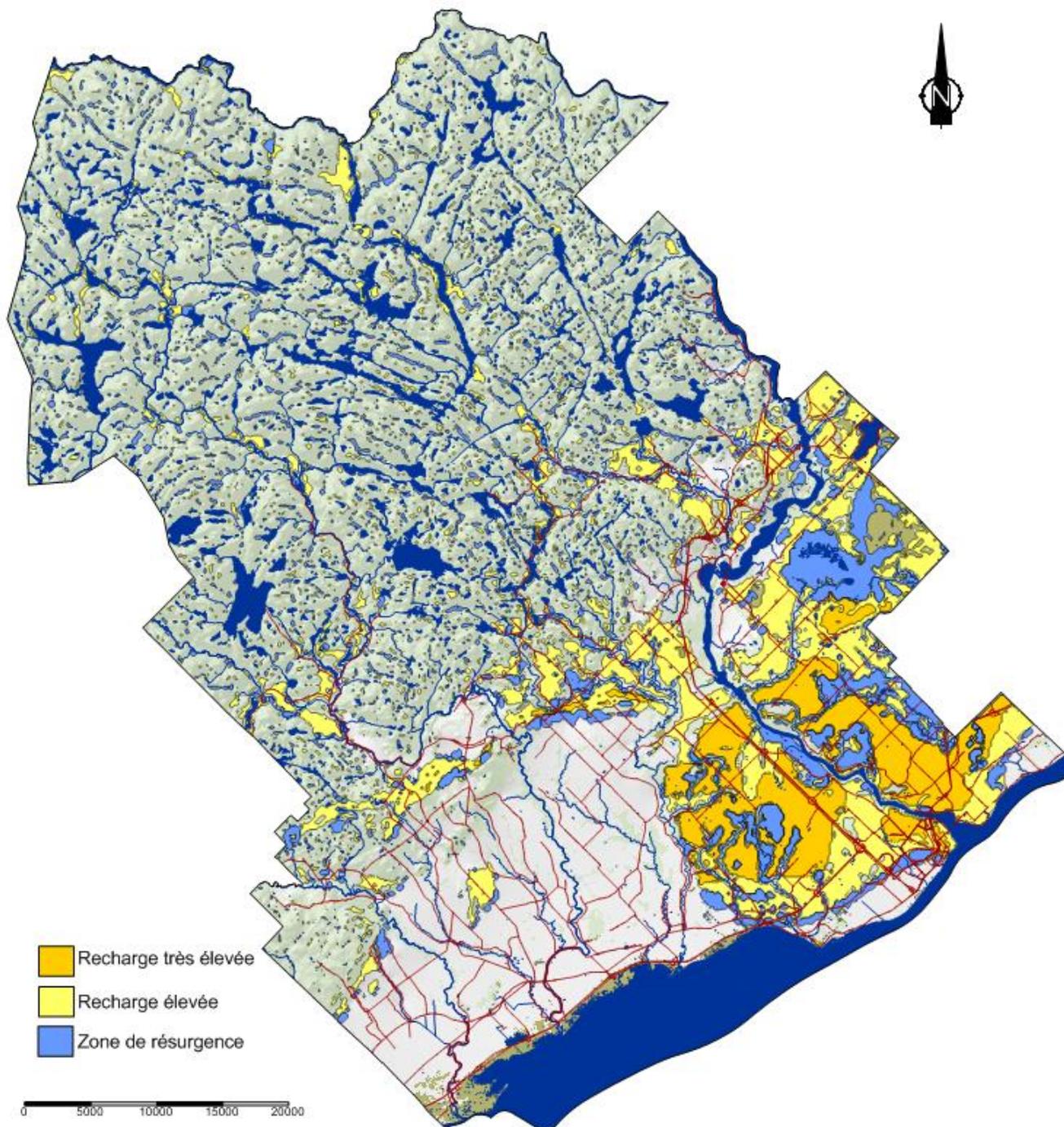
Afin d'illustrer les zones de recharge et de résurgence, les taux de recharge par unité de surface, dont les calculs sont présentés à la **section 5.4**, ont servi de paramètres dans le modèle numérique d'écoulement souterrain développé dans le cadre du projet. Étant donné que la surface du terrain est implicitement une charge imposée dans ce modèle, les flux d'eau qui s'échappent de la nappe vers la surface sont comptabilisés comme des sorties d'eau. Il est donc possible de générer une carte des flux d'eau sur l'ensemble du territoire en se basant sur le résultat de la modélisation. La grille de recharge obtenue a ensuite été traitée de façon à faire ressortir trois classes de flux, soit : les **zones de recharge très élevée** (400 mm et plus), les **zones de recharge élevée** (250 à 400 mm) et les **zones de résurgence** (flux négatifs).

Il est possible d'observer sur la **figure 5.12** que les zones de recharge élevée et très élevée correspondent aux portions du territoire où le relief est surélevé et où les surfaces sont principalement composées de sable. À l'inverse, les zones de résurgence sont localisées en bordure des dépôts à forte recharge, généralement en pied de talus et/ou au contact de terrains peu perméables et dans les milieux humides. Sur le terrain, ces zones sont la plupart du temps à la tête des réseaux hydrographiques.



*Résurgences d'eau souterraine (Mont-Carmel à gauche et St-Élie-de-Caxton)*

Figure 5.12 Zones de recharge préférentielles et de résurgence



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique 28 accompagnant ce rapport.

## 6 QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

### 6.1 TYPES D'EAU EN FONCTION DES CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES

En faisant la **synthèse hydrogéochimique** des anions et cations majeurs analysés dans le cadre du projet, et en la combinant aux analyses isotopiques des eaux souterraines, il est possible de relier les types d'eaux souterraines avec les contextes hydrogéologiques et, par conséquent, de déterminer la contamination des eaux souterraines par les activités de surface. En termes hydrogéochimiques, **11 types d'eau** ont été identifiés sur le territoire (**figure 6.1**). Les eaux souterraines de type bicarbonaté-calciq (Ca-HCO<sub>3</sub>) sont les plus récurrents. Ce type d'eau se situe surtout dans les zones de recharge et est lié à la dissolution des carbonates. En effet, les aquifères à nappe libre renferment généralement des eaux souterraines moins âgées, moins évoluées et moins minéralisées que les aquifères à nappe captive.

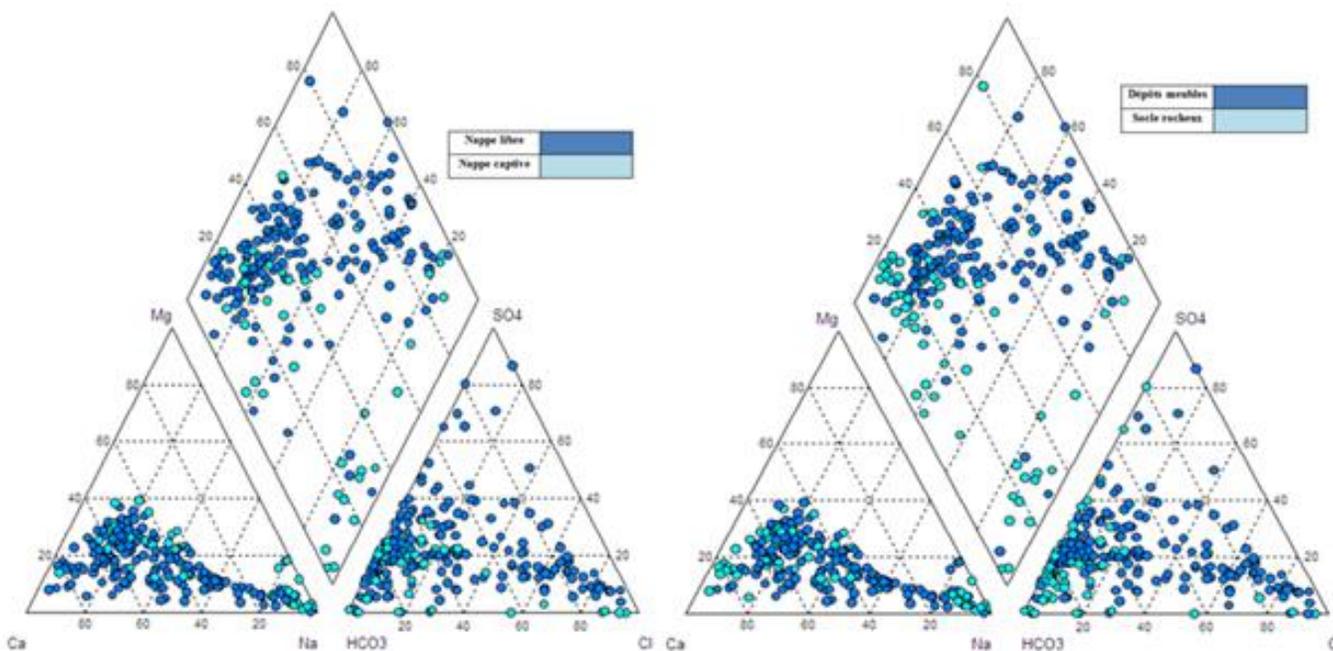


Diagramme de Piper illustrant le type d'eau en fonction du contexte hydrogéologique et en fonction du type d'aquifère

En termes isotopiques, les **temps de résidence** de l'eau souterraine dans les aquifères ont été classés en cinq catégories, soit les eaux ayant séjourné moins d'un an dans l'aquifère, de 1 à 5 ans, de 5 à 10 ans, de 10 à 20 ans et de 10 000 ans et plus. La **figure 6.2** présente une carte montrant les temps de résidence des eaux souterraines dans les aquifères en fonction du contexte hydrogéologique. Les figures 6.1 et 6.2 permettent de faire les observations suivantes :

- Les eaux les plus jeunes sont de type bicarbonaté-calciq (Ca-HCO<sub>3</sub>) et chloruré-sodique (NaCl) et sont en condition de nappe libre dans les dépôts meubles;

- Les eaux ayant un temps de résidence entre 1 et 5 ans sont de type bicarbonaté-calcique (Ca-HCO<sub>3</sub>), chloruré-sodique (NaCl), chlorurée calcique (CaCl) et calciques anions mixtes (Ca-mixtes anions). Toutes proviennent de nappes libres en dépôts meubles et sont localisées dans la région hydrogéologique du piedmont;
- Les eaux ayant un temps de résidence entre 5 et 10 ans sont également de type bicarbonaté-calcique (Ca-HCO<sub>3</sub>), chloruré-sodique (NaCl) et chlorurée calcique (CaCl). Elles proviennent principalement de nappes libres dans les dépôts meubles, mais aussi de nappes captives dans les dépôts et de nappes libres et captives dans le réseau de fissures du socle rocheux dans le piedmont et le plateau laurentien, à quelques exceptions près;
- Les eaux ayant un temps de résidence entre 10 et 20 ans sont de type bicarbonaté-calcique (Ca-HCO<sub>3</sub>), bicarbonaté sodique (Na-HCO<sub>3</sub>) et chloruré-sodique (NaCl). Elles proviennent de nappes libres dans les dépôts meubles et dans le réseau de fissures du socle rocheux, situées, à une exception, dans la région du plateau Laurentien;
- Enfin, les eaux âgées de plus de 10 000 ans sont toutes de type chloruré-sodique (NaCl) et proviennent de la nappe captive située dans le réseau de fissures des roches sédimentaires Paléozoïques sous une épaisse couche de sédiments fins.

Il peut paraître étonnant que les eaux les plus récentes et les plus âgées soient toutes deux de type chloruré-sodique. L'origine des chlorures et du sodium est cependant différente pour ces eaux souterraines. Dans le cas des eaux souterraines récentes, le chlorure de sodium proviendrait d'une contamination d'origine anthropique, tandis que dans le cas des eaux âgées, il proviendrait d'une eau de mer fossilisée. La **section 6.3.2** présente une analyse détaillée de la problématique reliée aux chlorures et permet de distinguer les origines de l'eau de type chloruré-sodique.

Les temps de résidence obtenus par l'interprétation des résultats de tritium ont été validés avec les résultats de deutérium et de l'oxygène 18. En effet, la comparaison des résultats pour les  $\delta^2\text{H}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  sur les échantillons d'eaux souterraines avec les eaux météoriques au sud-ouest de la Mauricie démontre qu'aucune modification n'a été apportée par l'interaction de l'eau et du matériel géologique (Cloutier, 2004). La similarité de composition entre les eaux météoriques et les eaux souterraines de la Mauricie témoigne en effet d'une eau souterraine peu évoluée et peu âgée.

Figure 6.1 Types d'eau souterraine en fonction du contexte hydrogéologique

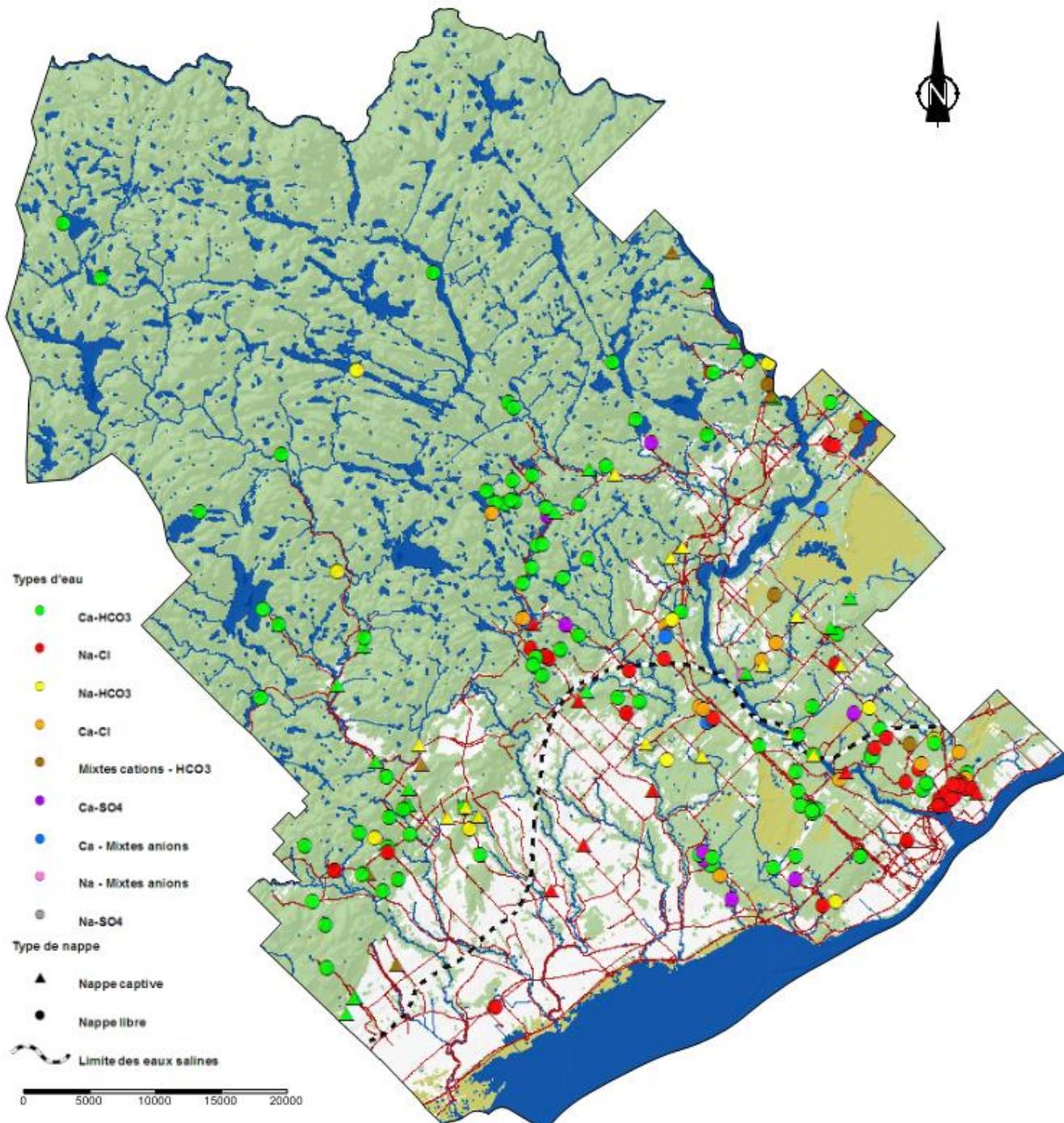
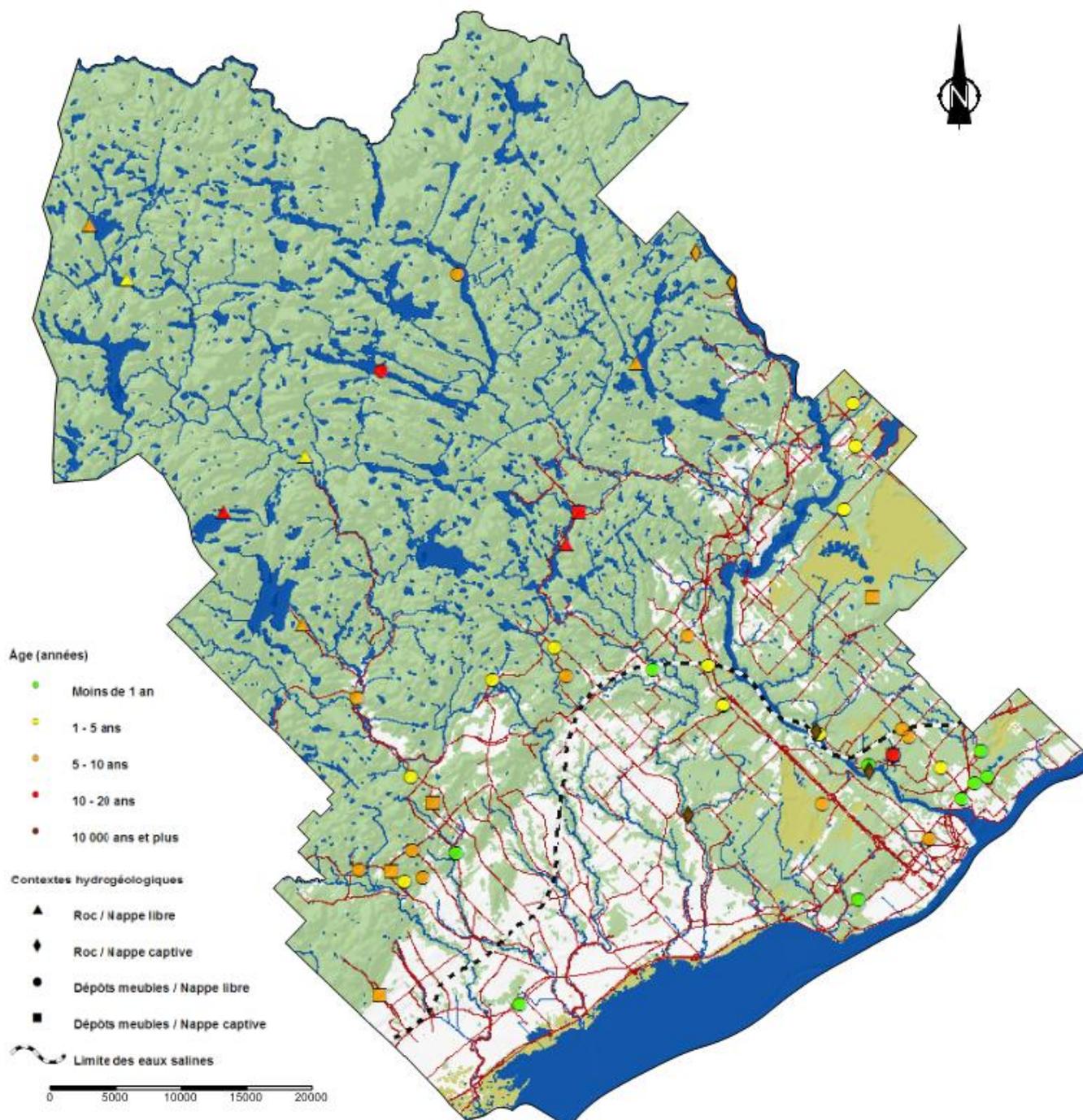


Figure 6.2 Temps de résidence des eaux souterraines dans les aquifères



Le **tableau 6.1** présente le sommaire des caractéristiques des eaux souterraines des principaux aquifères du territoire. Il est possible d'y faire les observations suivantes :

- Le **pH** des aquifères à nappe captive est systématiquement plus élevé que celui des aquifères à nappe libre. Les valeurs de pH observées varient entre 6,2 et 8,2;
- La **conductivité électrique**, représentative de la minéralisation des eaux souterraines, est également systématiquement plus élevée dans les nappes captives que dans les nappes libres. Les conductivités observées varient entre 33 et 2340  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;
- Les concentrations en **chlorures** sont, de façon générale, plus élevées dans la nappe libre du paléodelta de la Saint-Maurice que dans les autres nappes, sauf en ce qui concerne les nappes captives situées dans la plaine argileuse, où de grandes concentrations sont mesurées. Les concentrations moyennes des aquifères varient de 1,5 à 4300 mg/L;
- Les plus grandes concentrations en **nitrites et nitrates** sont localisées dans les aquifères à nappe libre du sud du territoire, soit dans les dépôts littoraux du lac à Lampsilis et dans les dépôts du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. Une seule nappe captive contient des valeurs anormalement élevées en nitrates. Les concentrations moyennes des aquifères varient de 0,05 à 6,7 mg/L;
- Les concentrations de **fer** et de **manganèse** sont fréquemment corrélées. On retrouve des concentrations élevées de ces ions dans les aquifères de fond de vallées du Bouclier et principalement dans l'aquifère à nappe libre du paléodelta de la rivière Saint-Maurice;
- Le **temps de résidence** des eaux souterraines dans les aquifères, déterminé à l'aide des isotopes du tritium et du carbone, est plus court pour les nappes libres que pour les nappes captives. Il varie de **moins d'un an** dans les nappes libres de sable, à **plus de 30 000 ans** dans la nappe captive du socle rocheux Paléozoïque enfouie sous les argiles de la mer de Champlain. Ces âges sont probablement surestimés ou biaisés en raison de la présence de carbone dans les roches, mais les temps de résidence demeurent tout de même élevés.

Les problématiques de qualité retrouvées sur le territoire à l'étude sont présentées de façon spécifique à la **section 6.2**.

**Tableau 6.1 Sommaire des caractéristiques des eaux souterraines**

#	Description de l'aquifère	Nappe	N	pH	Conductivité µS/cm	Chlorures mg/L	Nitrates-Nitrites N mg/L	Fer mg/L	Manganèse mg/L	Âge Ans	Type d'eau
<b>1C</b>	Les fonds de vallées du Bouclier	Captive	5	6.5	157	4.0	0.20	<b>0.700</b>	<b>0.110</b>	13.9	Ca-HCO3
<b>1L</b>	Les fonds de vallées du Bouclier	Libre	12	6.2	93	3.3	0.05	<b>0.235</b>	0.013	8.7	Ca-HCO3
<b>2C</b>	Le paléodelta de la rivière Maskinongé et les dépôts adjacents	Captive	6	7.4	194	8.6	0.10	0.028	0.013	7.9	Ca-HCO3
<b>2L</b>	Le paléodelta de la rivière Maskinongé et les dépôts adjacents	Libre	10	6.5	110	2.8	0.55	0.015	0.003	5.8	Mixtes (Ca-Na)-HCO3
<b>3C</b>	Le paléodelta de la rivière Yamachiche et les dépôts adjacents	Captive	1	6.7	185	29.0	1.00	<b>0.750</b>	0.005	-	Na-Cl
<b>3L</b>	Le paléodelta de la rivière Yamachiche et les dépôts adjacents	Libre	10	6.3	93	7.2	0.20	0.052	0.018	5.7	Ca-HCO3
<b>4. La moraine de Saint-Narcisse et les dépôts adjacents</b>											
<b>4AC</b>	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Captive	3	7.6	128	4.4	0.10	0.050	0.014	7.7	Ca-HCO3
<b>4AL</b>	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Libre	2	7.0	73	1.5	0.10	0.015	0.002	-	Ca-HCO3
<b>4BC</b>	Charette	Captive	1	<b>8.1</b>	210	<b>420.0</b>	0.30	0.050	0.072	-	Na-Cl
<b>4BL</b>	Charette	Libre	5	6.4	87	1.6	0.20	0.015	0.008	< 1 an	Ca-HCO3
<b>4CC</b>	Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin	Captive	3	7.5	127	2.5	0.30	0.015	0.001	9.8	Ca-HCO3
<b>4CL</b>	Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin	Libre	3	6.7	33	0.3	0.20	0.015	0.002	3.6	Ca-HCO3
<b>5C</b>	Les dépôts de la faille de Saint-Cuthbert*	Captive	0	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>6C</b>	Les dépôts fluvioglaciers sous la plaine argileuse*	Captive	0	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>7L</b>	Les dépôts littoraux du lac Lampsilis	Libre	2	6.8	398	64.5	<b>6.70</b>	0.057	0.010	< 1 an	Na-Cl
<b>8. Le paléodelta de la rivière Saint-Mauricie</b>											
<b>8AL</b>	Saint-Boniface	Libre	5	6.1	113	11.0	0.99	0.015	0.005	6.0	Mixtes (Cl-HCO3)
<b>8BL</b>	Shawinigan (Shawinigan-Sud et Lac-à-la-Tortue)	Libre	7	6.5	184	22.0	0.30	<b>0.230</b>	<b>0.100</b>	3.3	Na-Cl
<b>8CL</b>	Saint-Étienne-des-Grès	Libre	8	6.6	185	28.0	<b>1.55</b>	0.015	0.003	3.5	Mixtes (Ca-Na)-Cl
<b>8DL</b>	Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Libre	6	6.8	98	11.8	<b>2.15</b>	0.015	0.004	2.5	Mixtes (Ca-Na)-Cl
<b>8EL</b>	Secteur Pointe-du-Lac (Trois-Rivières) et Yamachiche	Libre	12	6.5	47	1.3	0.20	0.015	0.014	< 1 an	Ca-HCO3
<b>8FC</b>	Secteurs Trois-Rivières et Trois-Rivières-Ouest**	Captive	0	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>8FL</b>	Secteurs Trois-Rivières et Trois-Rivières-Ouest	Libre	17	6.5	<b>354</b>	1.8	0.18	0.050	<b>0.210</b>	7.0	Ca-HCO3
<b>8GL</b>	Secteur Saint-Louis-de-France (Trois-Rivières)	Libre	15	7.2	181	7.6	0.60	0.050	0.010	5.6	Ca-HCO3
<b>8HC</b>	Secteur Cap-de-la-Madeleine (Trois-Rivières)*	Captive	1	7.4	<b>1438</b>	<b>4300.0</b>	<b>2.00</b>	<b>3.100</b>	<b>0.190</b>	-	Na-Cl
<b>8HL</b>	Secteur Cap-de-la-Madeleine (Trois-Rivières)	Libre	29	6.5	<b>370</b>	<b>79.0</b>	<b>1.20</b>	<b>0.110</b>	<b>0.059</b>	< 1 an	Na-Cl

#	Description de l'aquifère	Nappe	N	pH	Conductivité μS/cm	Chlorures mg/L	Nitrates-Nitrites N mg/L	Fer mg/L	Manganèse mg/L	Âge Ans	Type d'eau
<b>9. Le bouclier</b>											
9AC	Domaine de Mékinac-Taureau	Captive	5	-	147	3.5	0.05	0.015	0.006	5.0	Ca-HCO3
9AL	Domaine de Mékinac-Taureau	Libre	8	6.8	133	2.1	0.12	0.015	0.011	4.2	Ca-HCO3
9BC	Terrane de Morin	Captive	11	<b>7.9</b>	<b>315</b>	9.8	0.05	0.081	0.027	-	Na-HCO3
9BL	Terrane de Morin	Libre	18	7.4	198	1.5	0.05	0.015	0.004	12.8	Ca-HCO3
9CC	Suites intrusives	Captive	1	-	168	0.2	0.05	0.061	<b>0.240</b>	-	Ca-HCO3
9CL	Suites intrusives	Libre	8	7.0	202	4.0	0.09	0.015	0.003	7.7	Ca-HCO3
10C	Grès	Captive	1	-	285	16.0	0.05	<b>0.160</b>	0.008	-	Na-HCO3
11C	Calcaire	Captive	7	<b>8.2</b>	<b>683</b>	<b>69.0</b>	0.05	<b>0.110</b>	0.006	16168	Na-HCO3
12C	Shale*	Captive	1	<b>7.7</b>	<b>2340</b>	<b>460.0</b>	0.05	<b>0.550</b>	<b>0.570</b>	30386	Mixtes (Cl-HCO3)

\* Nappe captive non exploitée

\*\* Sables des Vieilles Forges

## 6.2 PROBLÉMATIQUES DE QUALITÉ

Les eaux souterraines du territoire à l'étude sont fréquemment affectées par des **problématiques de qualité de l'eau**, notamment pour les concentrations en chlorures, en manganèse, en fer, en nitrites-nitrates, en coliformes totaux, en coliformes fécaux et en bactéries entérocoques. En effet, parmi les 223 échantillons utilisés (20 parmi les 243 échantillons prélevés n'ont pas été utilisés en raison d'une mauvaise balance ionique), **58%** dépassent au moins une des normes physico-chimiques applicables alors que pour les paramètres bactériologiques, **39%** dépassent les normes applicables (sur 120 échantillons soumis à l'analyse bactériologique). Les **figures 6.3 et 6.4** présentent respectivement des cartes de distribution des dépassements bactériologiques et physico-chimiques. Les dépassements ont été classés en fonction de deux critères, soit les concentrations maximales acceptables (CMA), reliés à la santé humaine et les critères d'objectif esthétique (OE), reliés aux inconvénients de perception (odeur, mauvais goût, dépôts de tartre). Les sections qui suivent présentent les principales problématiques documentées.

### 6.2.1 DÉPASSEMENTS DES CRITÈRES DE CONCENTRATION MAXIMALE ACCEPTABLE (CMA)

Sur le territoire à l'étude, **16 dépassements** des concentrations maximales acceptables (CMA) reliées à la santé humaine ont été identifiés. Les paramètres physico-chimiques qui dépassent ces critères sont les fluorures (9 dépassements), le baryum (5 dépassements), le plomb (1 dépassement) et les nitrates (1 dépassement), tandis que les paramètres microbiologiques sont les bactéries coliformes totales, fécales et entérocoques (47 puits avec dépassements, tous confondus).

Les dépassements en fluorure (CMA = 1,5 mg/L) et baryum (CMA = 1,0 mg/L) sont une problématique identifiée par d'autres études hydrogéologiques régionales faisant partie du PACES (communications personnelles). Les causes de leur présence sont d'origines naturelles (MDDEFP, 2012). En effet, les matériaux qui forment les aquifères contiennent des minéraux qui se dissolvent lentement dans les eaux souterraines. Il est à noter que quatre des puits où des dépassements de baryum ont été observés ne sont pas des puits d'eau potable. Il s'agit de forages effectués dans le cadre du projet.

Selon l'hypothèse la plus plausible, le seul dépassement documenté en plomb (CMA = 0,01 mg/L) serait d'origine anthropique. Il serait relié à la stagnation d'eau à proximité d'un robinet d'échantillonnage rarement utilisé, localisé dans de vieilles canalisations qui contiennent probablement du plomb. Il ne serait donc pas représentatif de l'eau souterraine captée.

Les concentrations en nitrates de plus de 2 mg/L seraient aussi d'origine anthropique. En effet, les principales sources de nitrates sont les fertilisants agricoles organiques et chimiques, les rejets sanitaires ainsi que la décomposition d'organismes végétaux et animaux. Les nitrates sont entraînés vers les nappes d'eau souterraine par l'infiltration de la pluie ou la fonte des neiges (MDDEFP, 2012). Il

est plus probable d'obtenir des concentrations plus élevées dans les portions du territoire possédant une vocation agricole, particulièrement dans les aquifères à nappe libre en condition d'aérobie, puisque la présence d'argile assure une protection contre l'infiltration des nitrates vers les nappes d'eau souterraine à certains endroits et que la dégradation des nitrates s'effectue en condition anaérobie. Quant au seul dépassement en nitrates (CMA = 10 mg/L) observé, celui-ci ne peut être corrélé à une origine anthropique puisqu'il provient d'un puits qui capte une eau saumâtre confinée sous environ 90 mètres d'argile marine. Par ailleurs, l'eau de ce puits n'est pas consommée.

En ce qui concerne les dépassements des paramètres microbiologiques, ceux-ci sont attribuables à l'activité humaine (présence d'éléments épurateurs individuels ou autres sources de bactéries) combinée soit à la vulnérabilité élevée de l'aquifère (nappe libre, matériau de surface perméable, taux de recharge élevé, etc.) ou soit à un vice de construction du puits (accumulation d'eau autour du puits, absence de collerette étanche, margelle inexistante) permettant aux eaux de surface de s'infiltrer directement dans le puits. Jusqu'à 10 colonies de bactéries coliformes totales sont tolérées, tandis qu'aucune colonie de bactéries coliformes d'origine fécale ou entérocoque n'est tolérable dans les eaux souterraines destinées à la consommation humaine.



*Exemples de puits vulnérables à la contamination microbiologique*

### 6.2.2 DÉPASSEMENTS DES CRITÈRES D'OBJECTIF ESTHÉTIQUE (OE)

Sur le territoire à l'étude, **238 dépassements** des critères d'objectifs esthétiques (OE) ont été constatés. Ces dépassements sont répartis sur 110 puits. Les problématiques les plus fréquentes sont reliées à des concentrations excessives en manganèse (82 dépassements), à un pH hors norme (59 résultats hors norme), en fer (49 dépassements) et, dans une moindre mesure, en solides totaux dissous (16 dépassements), en chlorures (13 dépassements), en dureté (9 dépassements), en sodium (7 dépassements) et en sulfures (3 dépassements).

Les problématiques spécifiques du fer et du manganèse, ainsi que des chlorures et du sodium sont décrites de façon spécifique aux **sections 6.3.1 et 6.3.3**.

Les résultats hors norme du pH sont principalement liés à un pH acide (53 échantillons présentent un pH inférieur à 6,5, tandis que 6 échantillons présentent un pH supérieur à 8,5). Près de 96% des échantillons présentant un pH inférieur à 6,5 se trouvent dans les dépôts meubles en condition de nappe libre et sont distribués uniformément sur le territoire tandis que 67% des échantillons possédant un pH basique se situent dans le socle rocheux en condition captive et sont répartis principalement dans le piedmont et sur le plateau laurentien, soit dans la partie nord du territoire.

En ce qui concerne les sulfures, leur présence est associée à des causes naturelles, généralement caractérisée par des bactéries sulfato-réductrices (MDDEFP, 2012). En raison de ces conditions anaérobiques, l'eau a une odeur et un goût d'œuf pourri. Trois dépassements ont été identifiés dans la partie est du territoire à l'étude. Ces derniers se trouvent dans trois contextes hydrogéologiques différents, soit dans le socle rocheux en condition de nappe libre et de nappe captive ainsi que dans les dépôts meubles en condition de nappe captive. Il est à noter que des conditions de nappe captive sont plus sujettes à être contaminées par des sulfures car l'aquitard empêche aux gaz dissous de s'évaporer vers l'atmosphère.

Les dépassements dans les concentrations en solides dissous totaux sont intimement reliés aux concentrations des principaux constituants de l'eau, soit les cations calcium, magnésium, sodium et potassium ainsi que les anions carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates et les nitrates. Huit puits où un dépassement est observé se situent dans les dépôts meubles en nappe libre, cinq dans le socle rocheux en nappe captive et trois dans les dépôts meubles en condition de nappe captive. Les dépassements en nappe captive peuvent être principalement expliqués par des causes naturelles, telle la présence d'eau salée fossile, tandis que les dépassements en nappe libre sont expliqués par des concentrations élevées en chlorures de sodium provenant de sources anthropiques (infiltration de sel déglacant, infiltrations des eaux usées industrielles, etc.). Ces dépassements se situent dans la partie sud du territoire à l'étude.

La dureté est un problème récurrent dans les eaux souterraines du Québec. Cette dernière est calculée à partir des quantités d'ions de calcium et de magnésium présents dans l'eau souterraine. Au total, neuf dépassements ont été identifiés dans quatre contextes hydrogéologiques, soit dans les dépôts meubles et dans le socle rocheux en condition de nappe libre et de nappe captive. Spatialement, ces dépassements sont situés dans la plaine argileuse (n=3), dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice (n=4) et sur le plateau laurentien (n=2). La dureté de l'eau semble être liée à la présence d'eau salée ou à la présence d'eau contenant de fortes concentrations d'ions calcium et magnésium.

Figure 6.3 Qualité bactériologique des eaux souterraines

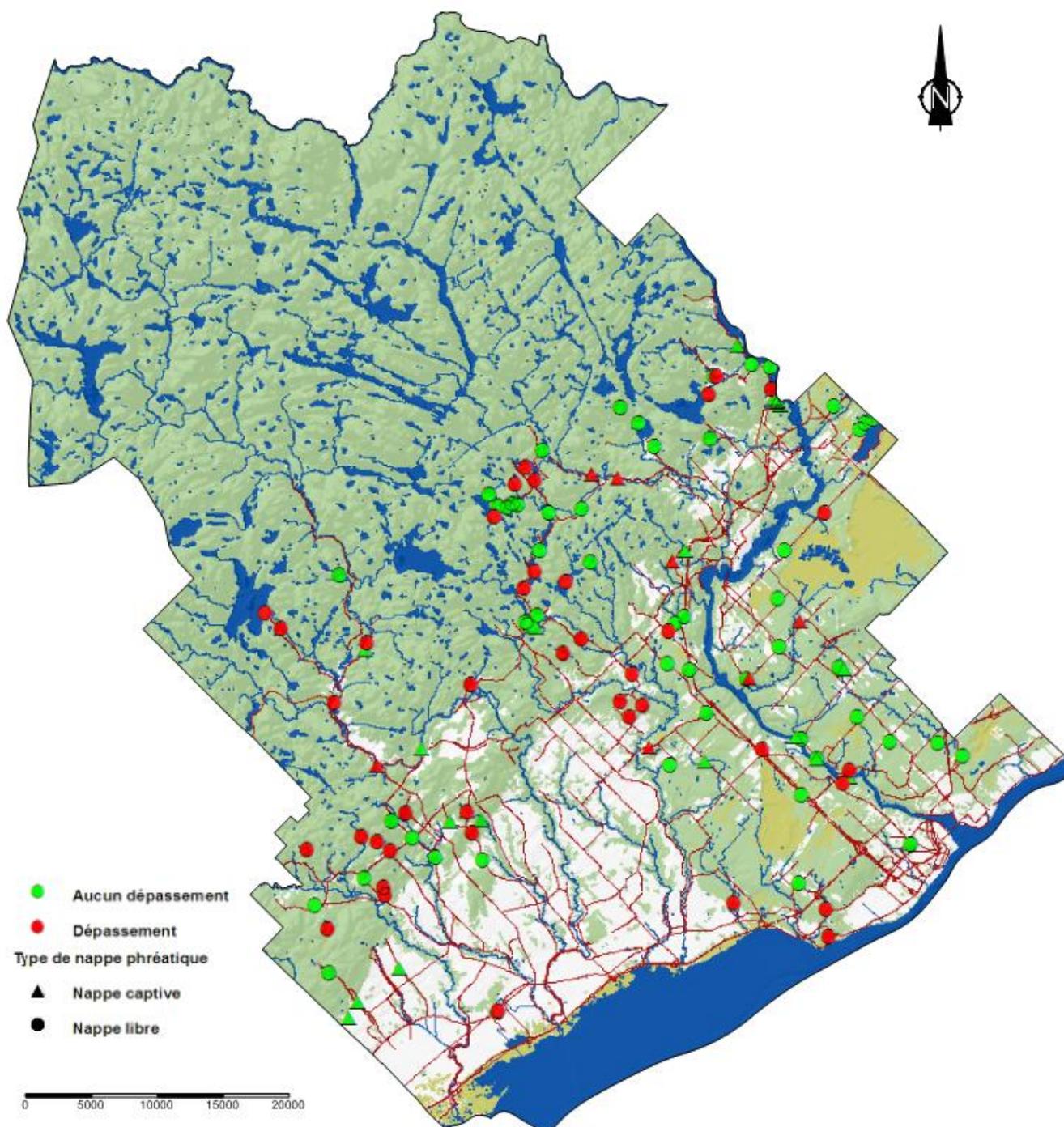
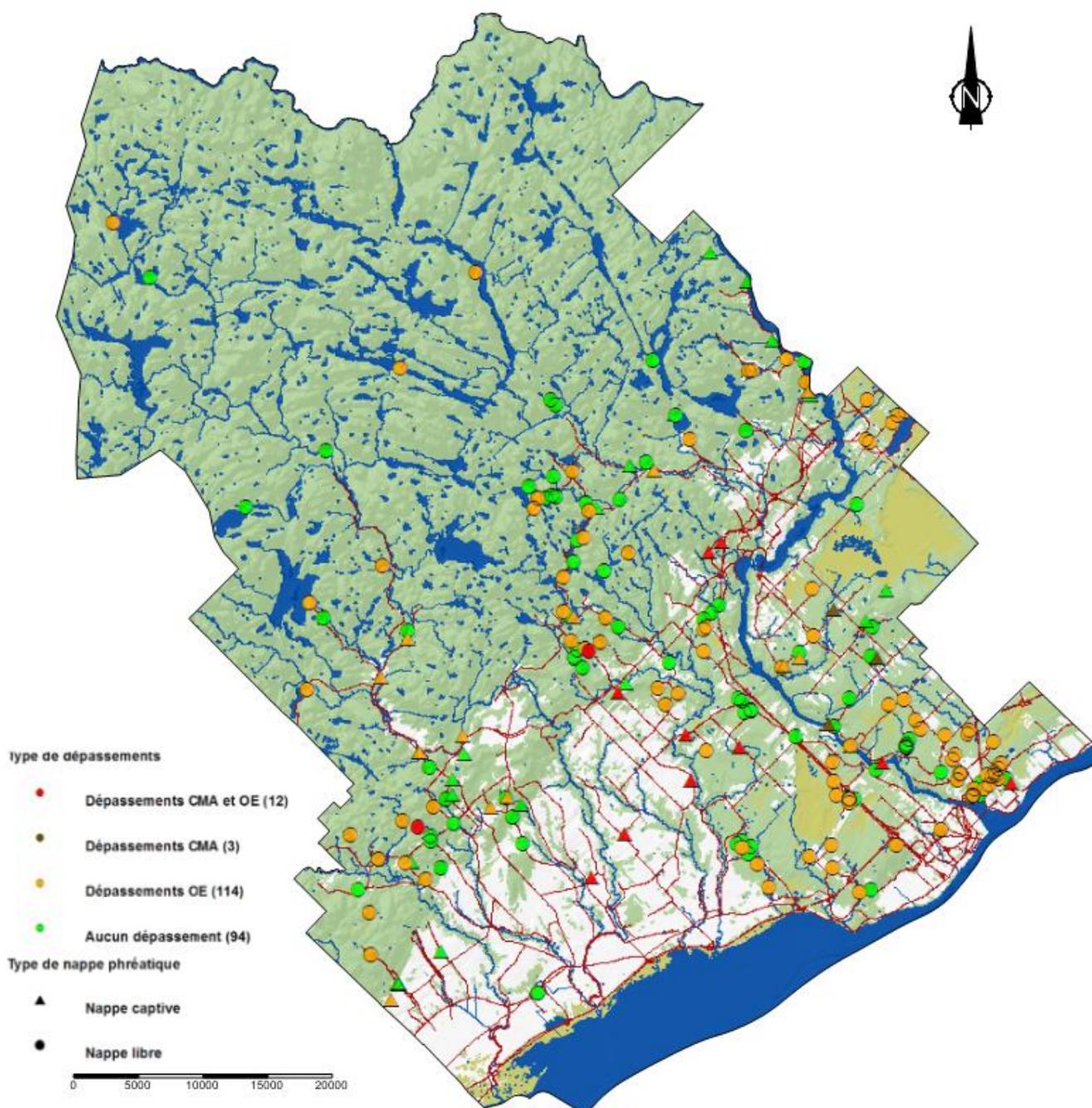


Figure 6.4 Qualité physico-chimique des eaux souterraines



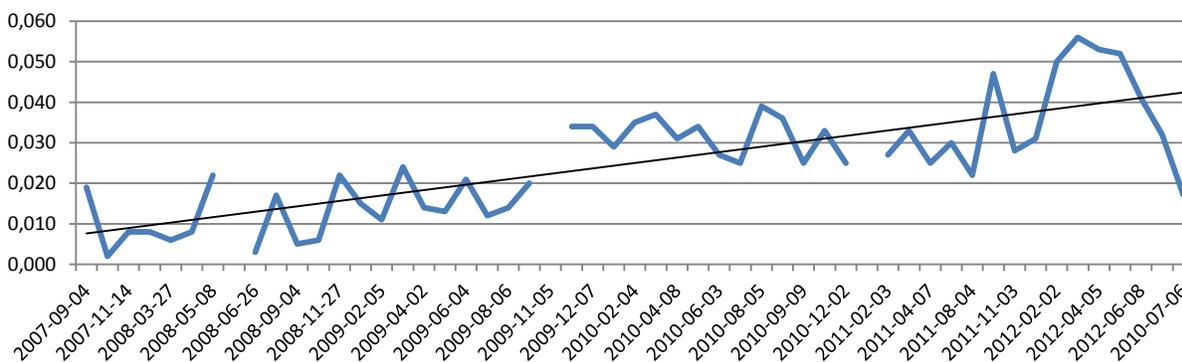
Cette figure est une représentation simplifiée des livrables cartographiques no 24 et 25 accompagnant ce rapport.

## 6.3 PROBLÉMATIQUES SPÉCIFIQUES

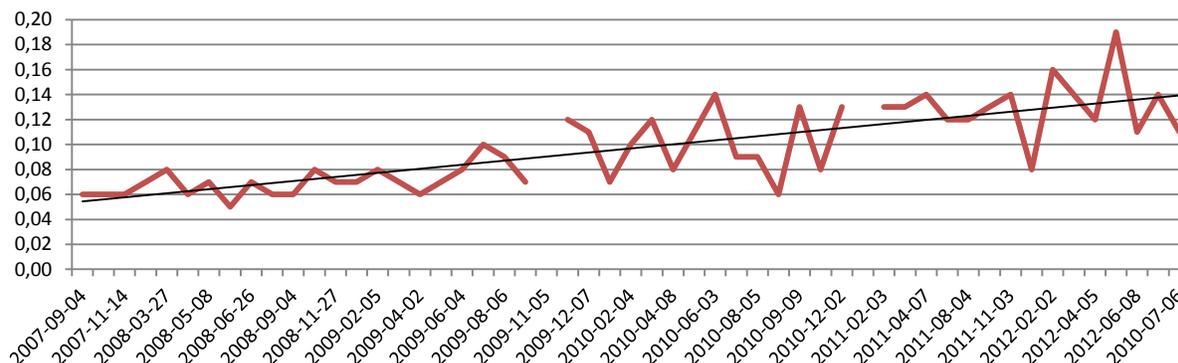
### 6.3.1 PROBLÉMATIQUE DU FER ET DU MANGANÈSE

La problématique de **concentrations élevées en fer et manganèse** dans les eaux souterraines est très répandue sur le territoire. Sur l'ensemble des échantillons prélevés, 49 dépassements ont été identifiés pour la concentration du fer et 82 dépassements pour le manganèse. Cette problématique est concentrée particulièrement sur l'aquifère à nappe libre du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. En effet, 43% des dépassements totaux en fer et 45% en manganèse se trouvent à l'intérieur des limites de la ville de Trois-Rivières, pour laquelle il s'agit d'un enjeu économique important, puisque des activités de traitement d'eau et de réhabilitation de puits sont souvent nécessaires. De plus, il est possible d'observer une augmentation généralisée des concentrations de ces deux ions dans le puits municipaux, comme le témoignent les graphiques ci-dessous.

MAUR00259 - concentration en manganèse (mg/L)



MAUR00259 - concentration en fer (mg/L)



Les recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada pour le fer et le manganèse sont d'ordre esthétique (OE), soit de  $\leq 0,3$  mg/L et de  $\leq 0,05$  mg/L respectivement (Santé Canada, 2012). Ce sont des causes naturelles qui expliquent des concentrations élevées en fer et en manganèse dans

l'eau souterraine. Ces métaux sont souvent présents à l'état naturel en raison de l'altération météorique des roches et des minéraux comme les amphiboles, les micas ferromagnésiens, les sulfures de fer, les magnétites, les oxydes, les carbonates ainsi que les minéraux d'argile ferrugineuse (MDDEFP, 2012).

Il est difficile d'identifier avec précision la cause de la présence en excès de ces minéraux dans les eaux souterraines. Dans le cadre du projet, quatorze échantillons de sols provenant de forages aménagés en puits ont été soumis au laboratoire *IOS* de Saguenay dans le but d'identifier les **minéraux lourds** pouvant contenir du fer ou du manganèse. Cette identification visait à corrélérer la présence de sulfures ou d'oxydes de fer et/ou de manganèse avec les concentrations de ces ions dans les eaux souterraines. Le rapport du laboratoire est présenté en annexe, tandis que le **tableau 6.2** présente les résultats d'analyses d'eau et des sols, ainsi que les surfaces spécifiques calculées par le granulomètre au laser. Il est possible d'y faire les observations suivantes :

- Les concentrations en fer et manganèse dans les eaux souterraines correspondent à leurs domaines de stabilité pH – Eh respectifs;
- Les sols contiennent seulement des traces de sulfures (de 0 à 0,25%) et très peu d'oxydes (de 0,64 à 4,29%);
- Il n'est pas possible de corrélérer les concentrations en fer et manganèse présents dans les eaux souterraines avec la quantité de sulfures et d'oxydes présents dans les sols;
- Il ne semble pas possible de corrélérer les concentrations en fer et manganèse présents dans les eaux souterraines avec la surface spécifique des grains dans les échantillons de sol.

**Tableau 6.2 Corrélation entre la composition des sols et la chimie de l'eau souterraine**

Identifiant	Profondeur (m)	Résultats Fe (mg/L - Eau)	Résultats Mn (mg/L - Eau)	pH (-)	Eh (mV)	Sulfures (% sol)	Oxydes (% sol)	Surface spécifique (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> - sol)
MAUR06468	31,2	0,2	0,054	6,68	n/a	0,00	2,83	1676,47
MAUR06467	51,1	3,1	0,19	7,37	n/a	0,04	1,71	n/a
MAUR06302	16,0	3,0	0,94	5,99	n/a	0,01	2,25	n/a
MAUR06301	127,2	<0,10	0,072	8,12	n/a	0,11	0,64	985,15
MAUR06472	52,6	<0,10	0,001	7,92	n/a	0,00	3,10	3836,32
MAUR06466	70,9	<0,10	0,014	7,59	n/a	0,25	4,29	2 572
MAUR06474	26,7	0,71	0,37	7,41	n/a	0,00	1,91	1443,08
MAUR06474	20,6	0,72	0,32	7,78	-81,4	0,00	0,66	1151,04
MAUR06475	25,1	0,17	0,061	7,04	17,8	0,03	3,73	n/a
MAUR06475	20,6	0,16	0,062	6,84	24,8	0,00	1,22	n/a
MAUR06478	37,3	<0,10	0,61	6,51	78,9	0,00	1,21	719,96
MAUR06478	28,2	<0,10	0,29	6,16	110,7	0,00	3,55	622,53
MAUR06478	19,0	<0,10	0,18	6,43	103,1	0,00	2,82	1024,04
MAUR06478	9,9	<0,10	0,22	6,18	120,3	0,00	2,83	778,9

De toute évidence, la composition chimique du milieu granulaire dans lequel l'eau souterraine circule influence peu les concentrations en fer et manganèse dans les eaux souterraines. Il ne semble pas qu'il soit possible de corrélérer ces concentrations avec le débit d'exploitation des puits, ni avec le pH de l'eau qui provient des précipitations, puisque celui-ci est en augmentation.

Au stade actuel des recherches en cours, l'hypothèse la plus plausible pouvant expliquer les variations spatiales dans les concentrations en fer et manganèse à l'intérieur du même aquifère serait la dégradation de matière organique en surface. Cette hypothèse est basée notamment sur la proximité de puits possédant de fortes concentrations de Fe et Mn par rapport aux milieux humides qui sont situés sur le territoire. En effet, la matière organique influence la diminution des concentrations en oxygène ainsi qu'en nitrates dans les eaux souterraines, créant un milieu réducteur, ce qui peut accélérer la solubilisation du fer et du manganèse puisque ces ions agissent comme donneurs d'électrons (AitLasri, 1997). La matière organique proviendrait principalement des milieux humides et potentiellement de fuites dans le réseau d'égout ou d'autres activités anthropiques. La consommation de matière organique par les bactéries hétérotrophes présentes dans les aquifères entraîne des baisses du pH et du Eh, permettant ainsi la réduction chimique du  $\text{Fe}^{3+}$  et du  $\text{Mn}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  et du  $\text{Mn}^{2+}$  (DiRuggiero et Gounot, 1990), et contribuant donc à l'augmentation des concentrations de ces métaux dans l'eau souterraine.

Ainsi, la présence de nombreux milieux humides et l'augmentation de la surface urbanisée sur le territoire de Trois-Rivières pourrait expliquer la distribution spatiale des concentrations en Fe et Mn, ainsi que leur variation temporelle. Il s'agit d'une hypothèse de travail et des travaux de recherche approfondis devraient être effectués afin de démontrer cette relation et proposer des solutions.

### 6.3.2 PROBLÉMATIQUE DES CHLORURES

Les concentrations élevées en **chlorures** sont une des problématiques reconnues du territoire à l'étude. Les chlorures peuvent tirer leur origine des **activités anthropiques** telles l'épandage de sel déglacant, ou des **événements géologiques** tels la séquestration d'eau marine en nappe captive. Afin de distinguer leur origine, le ratio Cl/Br est utilisé comme traceur afin d'identifier l'origine de l'eau souterraine salée.

Le diagramme ci-dessous présente le ratio Cl/Br pour les échantillons prélevés au cours du projet. Sur 223 échantillons, seulement sept échantillons présentent une relation linéaire, laquelle indique que l'eau est d'origine marine, tandis que tous les autres échantillons ont des concentrations plus élevées en chlorures qu'en bromures, ce qui indique qu'elles sont d'origine anthropique. Ces sept échantillons proviennent tous d'une nappe captive, mais par contre, ce ne sont pas tous les échantillons provenant d'une nappe captive qui sont d'origine marine.

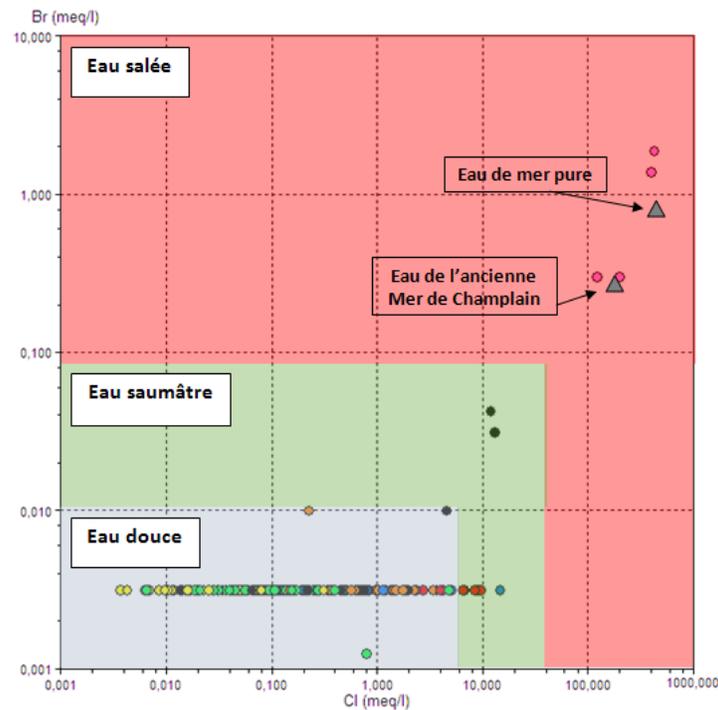
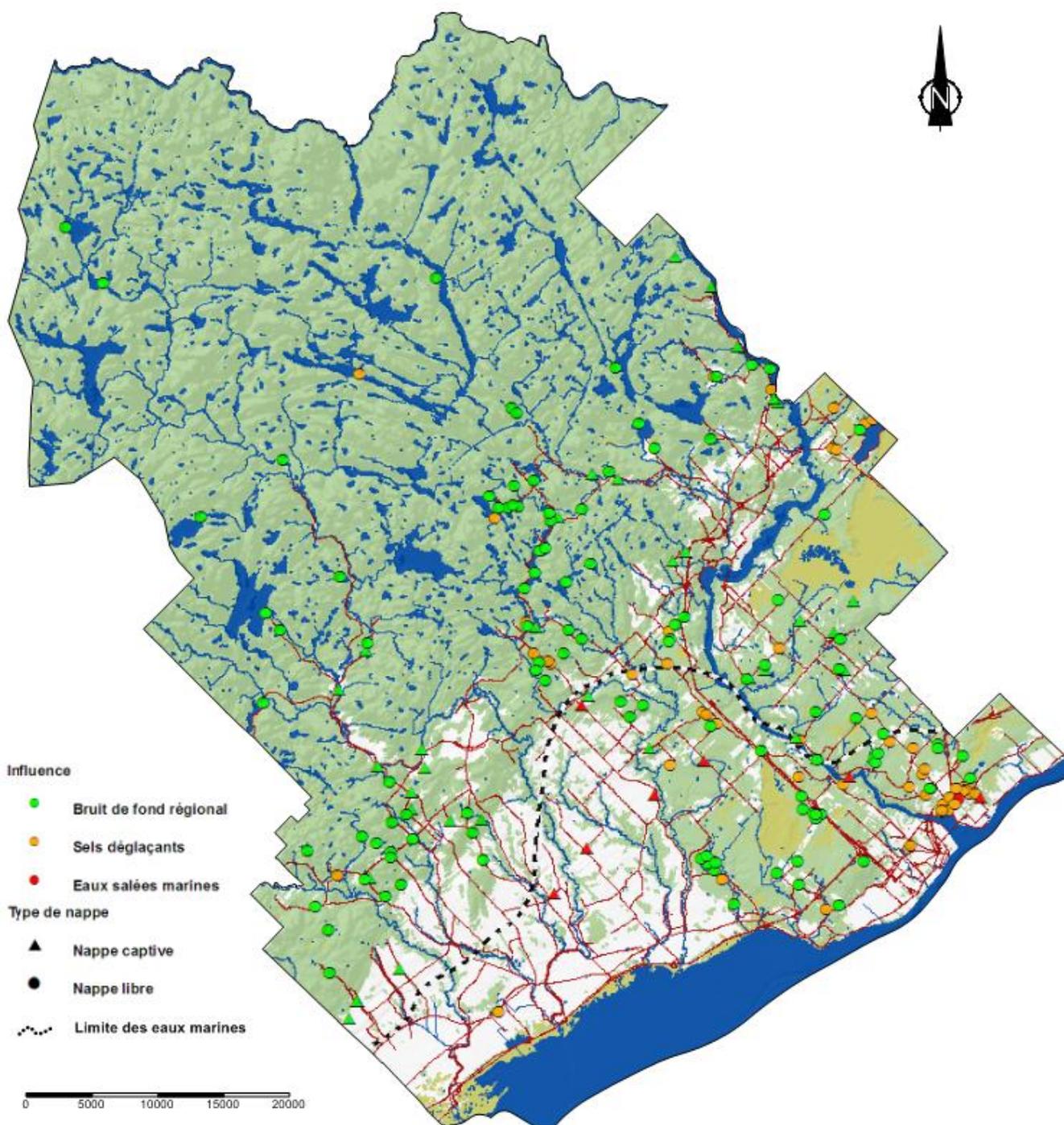


Diagramme de dispersion du ratio Cl/Br dans les eaux souterraines

La **figure 6.5** montre une carte de localisation des échantillons affectés par la présence de chlorures. Les échantillons d'eau souterraine d'origine marine sont représentés par la couleur rouge, tandis que les échantillons d'eau pouvant être contaminés par les chlorures provenant de sel déglacant sont représentés par la couleur orange. Enfin, la couleur verte est utilisée pour représenter les échantillons d'eau contenant des concentrations en chlorures représentatives du bruit de fond naturel, où les concentrations en chlorures sont relativement faibles. De plus, la limite entre les eaux d'origine marine

et les eaux plus récente a été actualisée de la limite originelle tracée par Prévôt (1972), en fonction des résultats de cette étude.

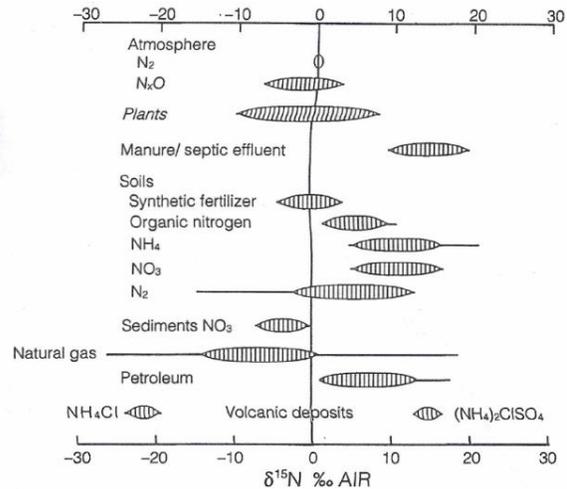
**Figure 6.5 Origine des chlorures dans les eaux souterraines**



### 6.3.3 PROBLÉMATIQUE DES NITRATES

Sur le territoire à l'étude, peu de dépassements des concentrations maximales acceptables ont été notés pour les nitrates, toutefois, **35 échantillons** ont présenté des concentrations en nitrates entre 2 et 10 mg/L, ce qui est considéré comme au-dessus du bruit de fond naturel. La plupart de ces fortes concentrations ont été identifiées dans la nappe libre formée par le paléodelta de la rivière Saint-Maurice, notamment dans les villes de Trois-Rivières et de Shawinigan ainsi que dans les municipalités de Saint-Étienne-des-Grès, de Saint-Boniface et de Notre-Dame-du-Mont-Carmel. La **figure 6.6** montre la localisation des puits ayant une concentration élevée en nitrates.

Une problématique particulière au niveau des nitrates avait été soulevée par la ville de Trois-Rivières dans le secteur de Saint-Louis-de-France. Dans ce secteur, cinq des sept stations d'échantillonnage, dont un ouvrage de captage municipal de la ville de Trois-Rivières, présentent des concentrations en nitrates supérieures à 2 mg/L. Ces fortes concentrations proviennent probablement de sources anthropiques, mais il n'est pas possible de distinguer leur origine entre les éléments épurateurs situés à proximité et les zones à vocation agricole situées dans un rayon de deux kilomètres. L'**isotope  $\delta^{15}\text{N}$** , en combinaison avec les isotopes du tritium ( $^3\text{H}$ ), du deutérium ( $\delta^2\text{H}$ ) et de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$ ), a donc été utilisé dans le cadre du projet, puisque son occurrence diffère selon les origines possibles des nitrates dans les eaux souterraines. Le diagramme suivant illustre la provenance possible de cet isotope selon sa concentration.



Concentrations en  $^{15}\text{N}$  dans les matières naturelles (Létolle, 1980; Amberger et Schmidt, 1987; Böttcher et al., 1990; Clark et Fritz, 1997)

Deux séries d'échantillonnages ont été réalisées à une année d'intervalle (novembre 2010 et novembre 2011) afin d'évaluer l'évolution de la qualité de l'eau du secteur. La période d'échantillonnage choisie correspond à la haute piézométrie automnale, qui devrait correspondre à un lessivage des nitrates. Les paramètres de suivi comprennent une série de paramètres *in situ* (oxygène dissous, solides totaux dissous, conductivité électrique, température, pH et potentiel d'oxydo-réduction) et une série analysée

en laboratoire. Deux des sept stations d'échantillonnage sont aménagées en nid de piézomètres, ce qui permet de distinguer la répartition verticale des paramètres analysés.

Les résultats des analyses isotopiques effectuées sur les échantillons prélevés en novembre 2010 sont compilés au **tableau 6.3**. Les stations UQTR 204 et 205 sont aménagées en nid de piézomètres, de même que les stations UQTR 206 et 208, tandis que les stations UQTR 207 et 210 sont des puits municipaux.

**Tableau 6.3 Résultats de l'analyse des isotopes**

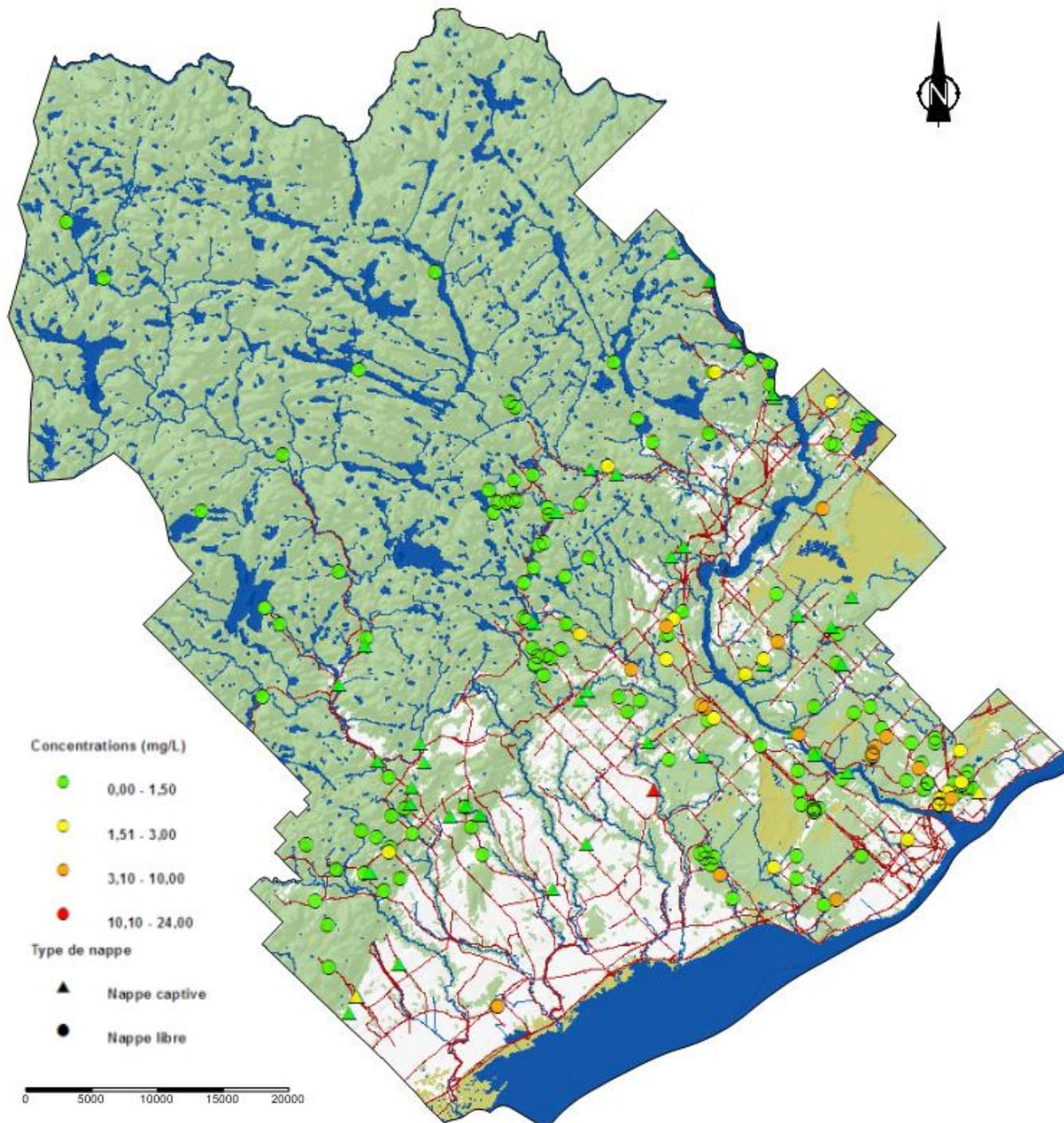
Échantillon	Profondeur (m)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ vs VSMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ vs VSMOW)	<sup>3</sup> H (TU)	<sup>15</sup> N (‰)
UQTR 204	12	0,6	-12,38	-85,4	16,0	-
UQTR 205	24	2,2	-12,47	-85,6	9,1	3,0
UQTR 206	22	5,9	-12,35	-84,9	11,6	3,8
UQTR 207	23	6,4	-12,19	-83,1	9,7	5,7
UQTR 208	33	<0,1	-12,69	-88,7	9,0	-
UQTR 209	14	3,6	-12,35	-85,0	13,8	4,7
UQTR 210	15	0,2	-12,44	-85,4	14,1	-

Les résultats des travaux d'investigation permettent de faire les observations suivantes :

- Les résultats obtenus en  $\delta^{15}\text{N}$  varient entre 3 et 5,7‰ dans tous les échantillons et sembleraient éliminer une origine provenant des fosses septiques résidentielles en amont piézométrique;
- Les isotopes stables de l'eau ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$ ) sont relativement semblables et indiquent qu'il s'agit d'un aquifère rechargé par les précipitations et dont le temps de parcours est relativement récent, soit de quelques mois à quelques années;
- Les crépines profondes sont affectées par de plus grandes concentrations en nitrates que les crépines situées plus près de la surface;
- Le temps de résidence de l'eau est plus long dans les crépines profondes que dans les crépines situées plus près de la surface. En effet, les concentrations en tritium varie entre 13,8 et 16 TU pour les crépines situées entre 12 et 15 m de profondeur (temps de résidence de 2 à 5 ans) et entre 9,1 et 11,6 TU pour des profondeurs entre 22 et 24 m (temps de résidence de 8 à 12 ans);
- La crépine du piézomètre de la station UQTR 208 recoupe, quant à elle un aquifère à nappe captive d'origine différente, non affectée par la présence de nitrates, bien que son temps de résidence soit équivalent à celui des crépines situées entre 22 et 24 mètres de profondeur.

L'interprétation croisée des nitrates, du tritium et du  $\delta^{15}\text{N}$  permet donc de croire que pour ce cas particulier, l'origine des nitrates est éloignée et ne proviendrait pas d'éléments épurateurs ou de compost animal, mais plutôt de fertilisants chimiques.

Figure 6.6 Localisation des puits ayants une concentration élevée en nitrates



## 7 GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES EN MAURICIE

### 7.1 USAGE DE LA RESSOURCE ET POTENTIEL D'EXPLOITATION

Mises à part les villes de Shawinigan et de Trois-Rivières, les municipalités du territoire s'approvisionnent presque exclusivement à partir des eaux souterraines. Dans le cas de la ville de Trois-Rivières, **61% de la population** est desservie par des eaux souterraines. La ville de Shawinigan s'approvisionne quant à elle exclusivement à partir des eaux de surface. **Au total, 55% de la population du territoire visé est approvisionnée à partir des eaux souterraines**, soit 122 768 habitants. De ce nombre, 106 212 personnes sont desservies par un réseau municipal et 16 556 personnes sont desservies par des ouvrages de captage individuels (Tableau 7.1).

La population des 17 municipalités incluses dans le territoire de la **MRC de Maskinongé** est à 98% alimentée en eau potable par l'eau souterraine. Près de 80 % de la population a accès à l'eau potable via un réseau d'aqueduc municipal. On dénombre actuellement un total de **50 ouvrages de captage municipaux** dans la MRC alimentés par des nappes d'eau souterraine alors que trois prises d'eau de surface desservent une réseau d'aqueduc privé (Aqueduc du Bois-Blanc à St-Justin, Aqueduc du Bouleau-Blanc à St-Élie-de-Caxton et Aqueduc du domaine Ouellet à St-Élie-de-Caxton). La population n'ayant pas accès à un réseau public a, en grande majorité, accès à son eau potable par un puits privé.

Il y a plus de dix ans, afin de faire face à diverses problématiques de qualité et de quantité d'alimentation en eau potable, sept municipalités du territoire de la MRC de Maskinongé se sont regroupées en formant la **Régie d'aqueduc de Grand-Pré**, dans le but d'offrir à la population une eau potable de qualité au meilleur coût possible. En 1999, le volume d'eau souterraine capté quotidiennement par la régie était de l'ordre de 10 000 m<sup>3</sup>/jour, alors que la capacité théorique des ouvrages de captage est estimée à environ 17 800 m<sup>3</sup>/jour. En période de pointe, la demande se situe à environ 16 000 m<sup>3</sup>/jour (Régie d'aqueduc de Grand-Pré, 1999).

La **ville de Trois-Rivières** exploite actuellement 62 puits distribués dans les secteurs de Cap-de-la-Madeleine, Sainte-Marthe-du-Cap, Saint-Louis-de-France, Trois-Rivières, Trois-Rivières-Ouest et Pointe-du-Lac. Le volume d'eau souterraine capté annuellement dans l'ensemble de ces puits est d'un ordre de grandeur de onze millions de mètres cubes. Les eaux souterraines prélevées alimentent 61% de la population de la ville.

Plusieurs prises d'eau souterraine desservant des établissements touristiques, tels que les auberges de Concept Éco-Plein-Air, Le Baluchon, l'Auberge Sacacomie, le camping du Parc et les hébergements de la Réserve faunique Mastigouche, ont également été recensées par le MDDEFP ou les municipalités concernées. À titre d'exemple, on retrouve au moins 28 prises d'eau souterraine desservant des établissements touristiques dans la MRC de Maskinongé.

Tableau 7.1 Populations desservies par les eaux souterraines (MDDEFP, 2012)

Municipalité	Population	Desservie par réseau public	Non desservie par réseau public	Desservie par eaux souterraines	Desservie par eaux de surface	Réseaux municipaux	Source	Population desservie
Charette	930	550	380	100%	0%	Charette	Eau souterraine	550
Louiseville	7 758	7 758	0	100%	0%	Louiseville (via Régie Grand Pré)	Eau souterraine	7 758
Maskinongé	2 320	2 165	155	100%	0%	Maskin. 01 (via Régie Grand Pré)	Eau souterraine	2 165
Saint-Alexis-des-Monts	3 198	1 800	1 398	100%	0%	Saint-Alexis-des-Monts	Eau souterraine	1 800
Saint-Barnabé	1 461	1 461	0	100%	0%	Saint-Barnabé (puits de St-Élie)	Eau souterraine	1 461
Saint-Boniface	4 370	3 175	1 195	100%	0%	Saint-Boniface (puits) # 1	Eau souterraine	3 175
Sainte-Angèle-de-Prémont	718	617	101	100%	0%	Régie de Grand Pré Sect.Est	Eau souterraine	307
						Sainte-Angèle (via régie)	Eau souterraine	310
Saint-Édouard-de-Maskin.	827	827	0	100%	0%	Régie de Grand Pré sect.Ouest	Eau souterraine	452
						Saint-Édouard-de-Maskinongé	Eau souterraine	375
Saint-Élie-de-Caxton	2 013	725	1 288	100%	0%	Saint-Élie-de-Caxton	Eau souterraine	625
						Saint-Élie (par St-Barnabé)	Eau souterraine	100
Saint-Étienne-des-Grès	4 385	3 085	1300	100%	0%	Saint-Étienne-des-Grès	Eau souterraine	3 085
Sainte-Ursule	1 378	1 096	282	100%	0%	Sainte-Ursule (village) (via régie)	Eau souterraine	786
						Sainte-Ursule (Fontarabie)	Eau souterraine	310
Saint-Justin	1 003	600	403	100%	0%	Saint-Justin (via régie Grand Pré)	Eau souterraine	600
Saint-Léon-le-Grand	956	788	168	100%	0%	Saint-Léon-le-Grand (via régie)	Eau souterraine	521
						Saint-Léon (Chacoura)	Eau souterraine	267
Saint-Mathieu-du-Parc	1 451	411	1040	100%	0%	Saint-Mathieu-du-Parc (montagne # 1)	Eau souterraine	115
						Saint-Mathieu-du-Parc (village)	Eau souterraine	296
Saint-Paulin	1 564	1 226	338	100%	0%	Saint-Paulin	Eau souterraine	1 226
Saint-Sévère	367	367	0	100%	0%	Charette	Eau souterraine	367
Yamachiche	2 861	2 861	0	100%	0%	Yamachiche (puits de St-Élie)	Eau souterraine	325
						Yamachiche (via régie Grand Pré)	Eau souterraine	2 536
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	5 565	4 700	865	100%	0%	NDMC (Bellevue)	Eau souterraine	450
						NDMC (village)	Eau souterraine	4 250
Shawinigan	50 132	46 533	3599	0%	100%	Shawinigan	Lac	32 300
						Grand-Mère	Lac	14 233
Trois-Rivières	130 901	123 258	7 643	61%	39%	Cap-de-la-Madeleine	Eau souterraine	33 500
						Saint-Louis-France	Eau souterraine	7 000
						Sainte-Marthe-du-Cap	Eau souterraine	4 500
						Pointe-du-Lac	Mixtes	6 000
						Trois-Rivières Ouest	Eau souterraine	24 000
<b>Total</b>	<b>224 158</b>	<b>204 003</b>	<b>20 155</b>	<b>55%</b>	<b>45%</b>	Trois-Rivières	Rivière	48 285

Une importante prise d'eau commerciale alimentant «**Les Sources Saint-Élie inc.**» effectue un captage souterrain de plus en plus important pour la vente d'eau embouteillée. Le volume d'eau capté est de 218 m<sup>3</sup>/jour en été (6 jours sur 7) et diminue à environ 145 m<sup>3</sup>/jour en automne et en hiver (4 jours sur 7) (Les Sources Saint-Élie, 2008). L'entreprise prévoit prendre de l'expansion pouvant aller jusqu'à doubler sa production dans un avenir rapproché. «L'**Office générale des eaux minérales Itée**» exploite aussi commercialement un site de captage d'eau souterraine pour la vente d'eau minérale naturelle gazéifiée, localisée à Saint-Justin. La production s'effectue sur 2 à 5 jours par semaine et est moins importante que celle effectuée par «Les Sources Saint-Élie inc.».

Les **industries** du territoire utilisant de l'eau souterraine sont principalement constituées de petites et moyennes entreprises dont les besoins en eau sont relativement limités. Cependant, les municipalités doivent, afin de stimuler le développement d'entreprises de transformation sur leur territoire, être en mesure de prévoir des demandes accrues pour subvenir aux demandes éventuelles d'entreprises nécessitant une consommation d'eau élevée. Certaines exploitations ont toutefois des besoins particuliers. Mentionnons le cas de l'entreprise *Savoura*, qui s'approvisionne en eau souterraine au moyen d'un réseau de puits pour subvenir aux besoins en eau des serres de production de tomates, récemment implantées à proximité du lieu d'enfouissement sanitaire de Saint-Étienne-des-Grès.

D'autre part, l'importance de **l'activité agricole**, principalement localisée dans la plaine du St-Laurent, peut avoir un impact sur la qualité de l'eau souterraine, mais également au niveau de la quantité d'eau consommée. On retrouve, par exemple, 515 entreprises agricoles sur le territoire de la MRC de Maskinongé (Statistique Canada, 2006). On y retrouve un nombre important d'entreprises d'élevage laitier, d'élevage porcin et d'autres types d'élevage, ainsi qu'une culture intensive du sol. La consommation moyenne d'une entreprise agricole compte pour une part importante des besoins en eau des municipalités où sont localisées ces exploitations.

Le tableau 7.2 présente une synthèse des prélèvements en réseau et hors réseau. Le tableau 7.3 présente un bilan des prélèvements d'eau souterraine et d'eau de surface versus la consommation d'eau en réseau, tandis que le tableau 7.4 présente un bilan des prélèvements et de la consommation hors réseau. La figure 7.1 montre la distribution de la consommation d'eau pour chacune des municipalités de la MRC, pour la municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel et pour les villes de Shawinigan et Trois-Rivières. Il est à noter que ces tableaux ont été construits à partir de plusieurs sources d'information différentes, ainsi que par calcul à partir de statistiques de consommation. Il est donc probable que ces données ne reflètent pas exactement la réalité. Néanmoins, il est possible d'en tirer les informations suivantes :

- Le prélèvement total annuel d'eau sur le territoire à l'étude est de l'ordre de 100 millions de mètres cubes;

- Les prélèvements annuels sont répartis comme suit : 20% proviennent des eaux souterraines, soit un volume total annuel 20 millions de mètres cubes, tandis que 80% proviennent des eaux de surface (soit le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saint-Maurice), soit 80 millions de mètres cubes;
- La consommation annuelle d'eau est répartie comme suit : 20% de l'eau prélevée est consommée en usage résidentiel, soit 20 millions de mètres cubes, 1%, en usage agricole et 78% en usage industriel, commercial et institutionnel;
- Les prélèvements annuels d'eau souterraine pour fins de distribution en réseau correspondent à 88% des prélèvements d'eau souterraine, soit 17,4 Mm<sup>3</sup>, versus 2,4Mm<sup>3</sup> hors réseau, tandis que les prélèvements d'eau de surface pour fins de distribution en réseau correspondent à 30% des prélèvements d'eau de surface, soit un volume annuel de 24,3 Mm<sup>3</sup> versus 55,5 Mm<sup>3</sup> hors réseau;
- 91% de l'eau consommée annuellement en usage résidentiel provient de réseaux (18,6Mm<sup>3</sup>), 74% de l'eau consommée en usage agricole provient de réseaux (1Mm<sup>3</sup>) et 28% de l'eau consommée en usage industriel, commercial et institutionnel provient de réseaux (22,2 Mm<sup>3</sup>). Il est particulier que le milieu agricole consomme principalement en réseau, mais cette consommation s'explique par l'absence d'aquifères permettant l'alimentation en eau de qualité et en quantité suffisante dans la plaine argileuse au nord du lac Saint-Pierre;
- Les plus grands préleveurs d'eau souterraine sont la ville de Trois-Rivières (11,3 Mm<sup>3</sup>/an), qui capte ses eaux souterraines à partir de la nappe libre du paléodela de la rivière Saint-Maurice, suivie de la Régie d'aqueduc de Grand-Pré, qui capte de l'eau souterraine sur les territoires de Saint-Édouard-de-Maskinongé, Sainte-Ursule et Saint-Angèle-de-Prémont. Aucun prélèvement d'eau souterraine n'est effectué sur le territoire des municipalités de Louiseville, Saint-Barnabé, Saint-Sévère et Yamachiche;
- Les plus grands préleveurs d'eau de surface sont des industries privées situées à Trois-Rivières (38 Mm<sup>3</sup>/an) et Shawinigan (18 Mm<sup>3</sup>), qui captent de l'eau en dehors des réseaux d'aqueduc municipaux.

**Tableau 7.2 Synthèse des prélèvements et de la consommation d'eau**

Municipalité	Prélèvement (m3/an)		Consommation (m3/an)		
	Eau souterraine	Eau de surface	Résidentielle	Agricole	Industrielle, commerciale et institutionnelle
Total réseau	17 423 878.45	24 339 606.00	18 578 772.25	992 781.52	22 191 930.70
Total hors réseau	2 435 058.16	55 522 399.34	1 820 894.25	342 552.91	55 794 010.34
Grand total	19 858 936.61	79 862 005.34	20 399 666.50	1 335 334.43	77 985 941.04

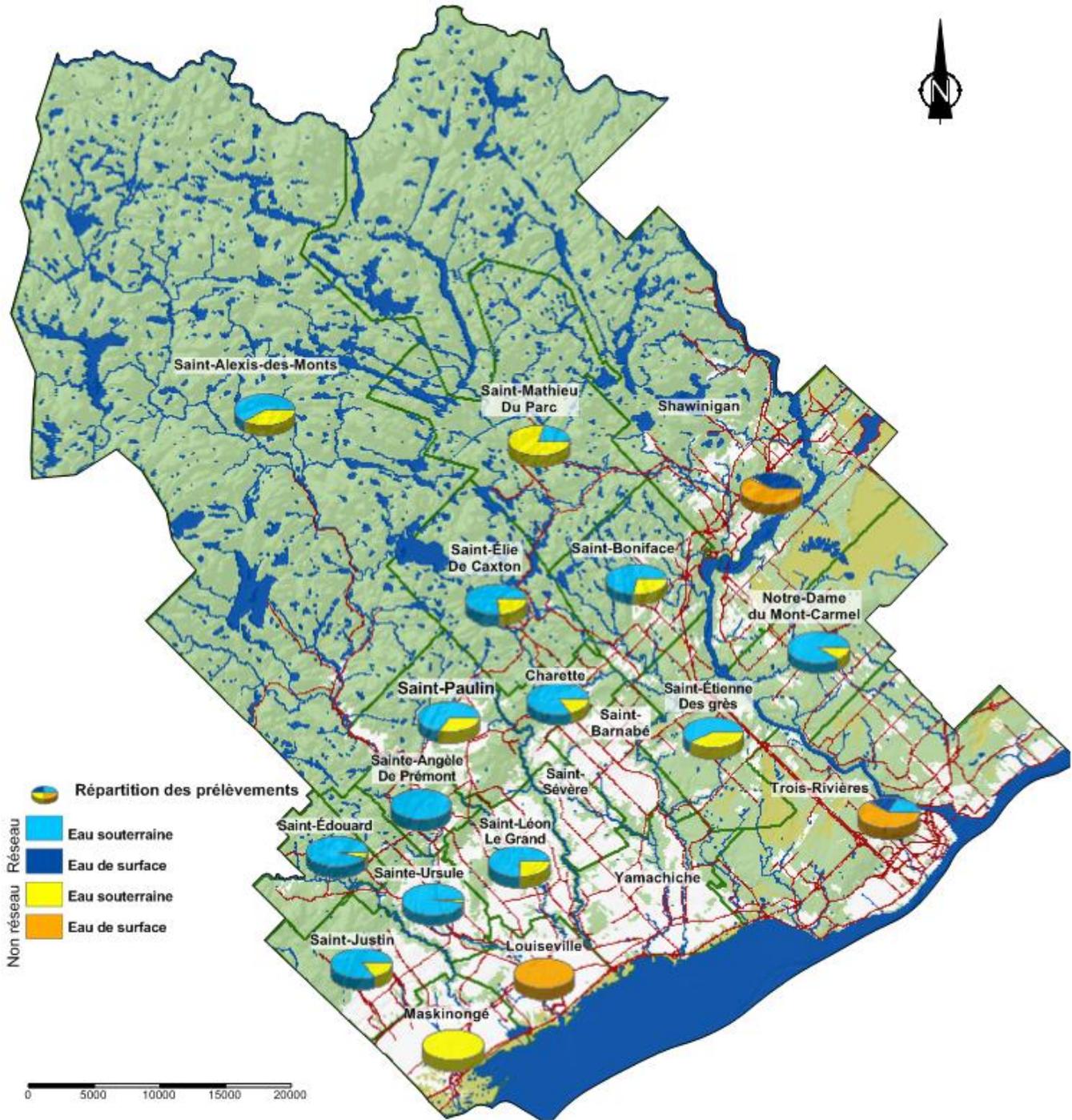
**Tableau 7.3 Bilan des prélèvements et de la consommation d'eau en réseau**

Municipalité	Prélèvement (m3/an)		Consommation (m3/an) en réseau		
	Eau souterraine	Eau de surface	Résidentielle	Agricole	Industrielle, commerciale et institutionnelle
Charette	209 552.20	-	50 187.50	-	46 902.50
Louiseville	-	-	707 917.50	2 295.67	606 383.83
Maskinongé	-	-	197 556.25	40 328.16	70 040.59
Saint-Alexis-des-Monts	252 981.50	-	164 250.00	-	88 731.50
Saint-Barnabé	-	-	133 316.25	106 225.46	263 718.29
Saint-Boniface	433 089.00	-	289 718.75	7 229.53	136 140.72
Sainte-Angèle-de-Prémont	1 655 096.00	-	28 476.00	7 834.00	24 207.00
Saint-Édouard-de-Maskin.	445 676.00	-	75 463.75	-	32 839.90
Saint-Élie-de-Caxton	568 960.00	-	58 980.00	150.32	6 570.00
Saint-Étienne-des-Grès	318 404.00	-	281 506.25	-	36 897.75
Sainte-Ursule	1 096 185.00	-	100 010.00	87 443.00	100 316.00
Saint-Justin	123 715.45	-	73 000.00	100 013.00	84 908.00
Saint-Léon-le-Grand	61 020.00	-	71 905.00	155 217.00	2 522.00
Saint-Mathieu-du-Parc	25 483.30	-	15 290.00	-	10 193.00
Saint-Paulin	226 300.00	-	111 872.50	90 836.46	23 591.04
Saint-Sévère	-	-	33 488.75	38 749.61	40 223.64
Yamachiche	-	-	261 066.25	164 092.56	387 857.19
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	691 039.00	-	428 875.00	41 907.68	220 256.32
Shawinigan	-	11 749 066.00	4 246 136.25	22 808.45	7 480 121.30
Trois-Rivières	11 316 377.00	12 590 540.00	11 249 756.25	127 650.63	12 529 510.12

**Tableau 7.4 Bilan des prélèvements et de la consommation d'eau hors réseau**

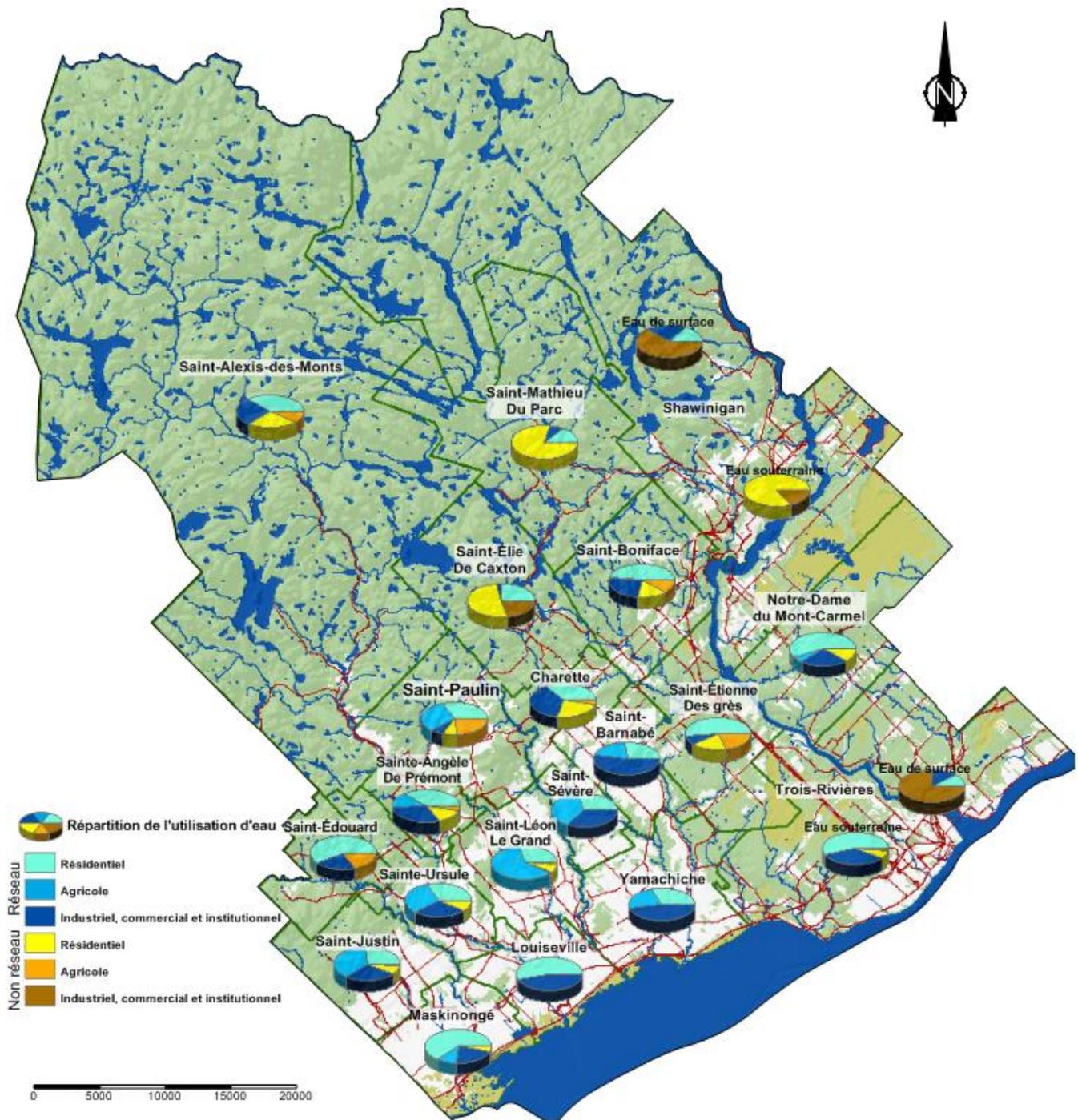
Municipalité	Prélèvement (m3/an)		Consommation (m3/an) hors réseau		
	Eau souterraine	Eau de surface	Résidentielle	Agricole	Industrielle, commerciale et institutionnelle
Charette	38 957.19	-	34 675.00	4 282.19	-
Louiseville	-	54 615.34	-	-	54 615.34
Maskinongé	14 143.75	-	14 143.75	-	-
Saint-Alexis-des-Monts	163 170.68	-	127 567.50	35 603.18	-
Saint-Barnabé	-	-	-	-	-
Saint-Boniface	172 322.31	-	109 043.75	63 278.56	-
Sainte-Angèle-de-Prémont	11 560.09	-	9 216.25	2 245.84	98.00
Saint-Édouard-de-Maskin.	21 905.12	-	-	21 905.12	-
Saint-Élie-de-Caxton	166 684.00	-	117 530.00	-	49 154.00
Saint-Étienne-des-Grès	224 744.68	-	118 625.00	106 119.68	-
Sainte-Ursule	25 732.50	-	25 732.50	-	-
Saint-Justin	21 779.83	-	18 524.00	3 255.83	-
Saint-Léon-le-Grand	19 620.98	-	15 330.00	4 290.98	-
Saint-Mathieu-du-Parc	94 961.82	-	94 900.00	61.82	-
Saint-Paulin	112 346.14	-	30 842.50	81 503.64	-
Saint-Sévère	-	-	-	-	-
Yamachiche	-	-	-	-	-
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	83 674.29	-	78 931.25	4 743.04	-
Shawinigan	387 860.80	17 729 999.00	328 409.00	378.80	17 789 072.00
Trois-Rivières	875 593.98	37 737 785.00	697 423.75	14 884.23	37 901 071.00

Figure 7.1 Distribution des prélèvements d'eau par municipalité



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 26 accompagnant ce rapport.

Figure 7.2 Distribution de l'utilisation de l'eau souterraine par municipalité



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 26 accompagnant ce rapport.

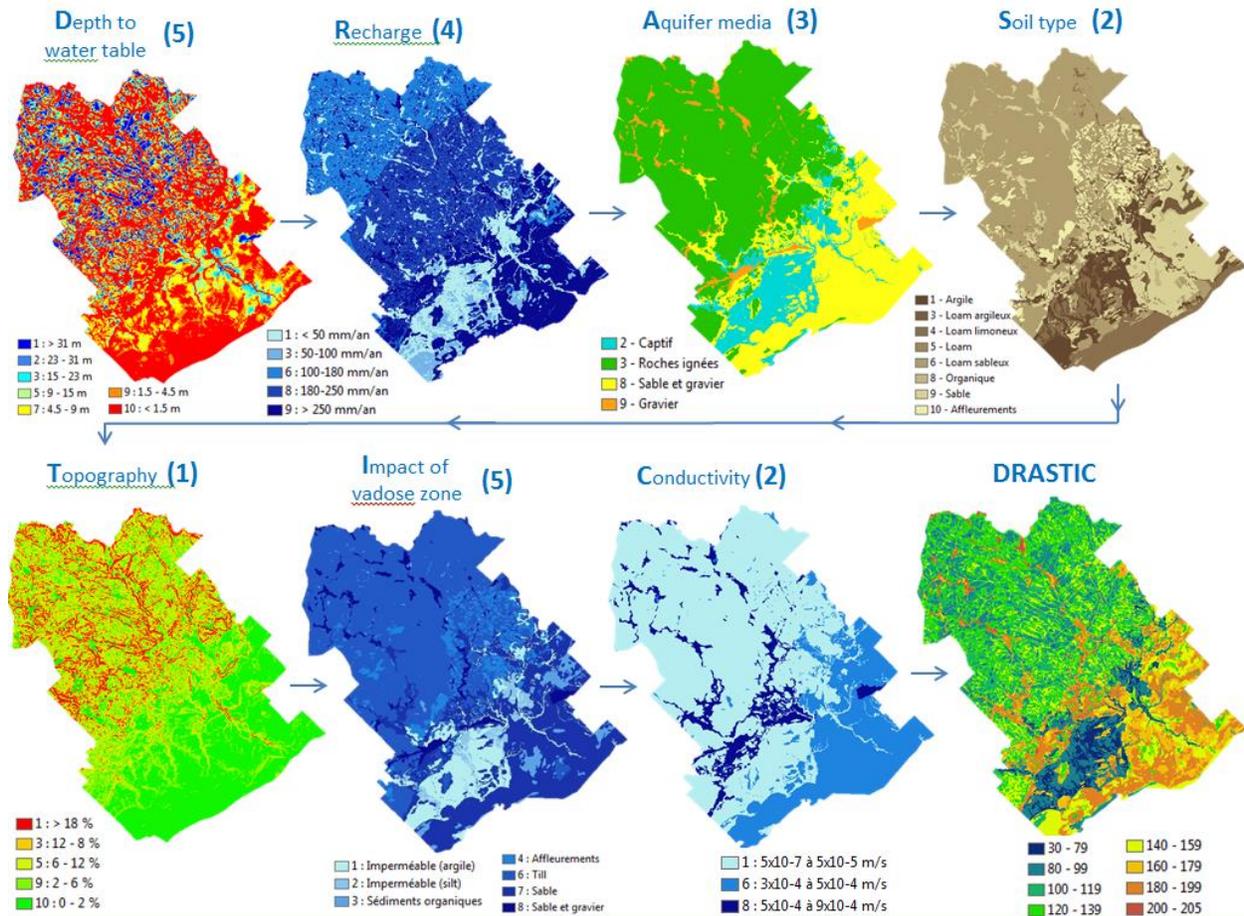
## 7.2 VULNÉRABILITÉ DES NAPPES

L'**indice de vulnérabilité** des eaux souterraines reflète le niveau de risque de contamination de l'eau souterraine causé par l'activité humaine. Le MDDEFP se réfère à la **méthode DRASTIC** comme moyen d'évaluation de cet indice. Il s'agit d'une méthode ou système normalisé qui permet une évaluation quantitative du potentiel de contamination des nappes d'eau souterraine à l'aide des conditions hydrogéologiques qui prévalent dans la région concernée. La méthode DRASTIC est décrite en détail dans le document EPA/600 2-87-035 (Aller et al., 1987).

Cette méthode tient compte de **sept paramètres hydrogéologiques**, soit la profondeur de l'aquifère, le taux de recharge, la nature de l'aquifère, le type de sol superficiel, la pente du terrain, la nature de la zone comprise entre la surface et le toit de l'aquifère et enfin, la conductivité hydraulique. Chacun de ces paramètres est quantifié en lui attribuant une valeur numérique, laquelle est à son tour multipliée par un facteur pondérateur. L'indice DRASTIC résultant est la somme des produits obtenus pour chacun des paramètres considérés. Plus l'indice est élevé, plus le potentiel de contamination de la nappe d'eau souterraine est élevé. L'indice DRASTIC d'un aquifère peut être évalué au minimum à 23 et, au maximum, à 226. À des fins de cartographie, un code de couleur de l'indigo au rouge est attribué à cette plage de valeurs de vulnérabilité.

Deux cartes d'indice DRASTIC ont été réalisées pour le territoire à l'étude : l'une pour l'ensemble des nappes libres, l'autre pour l'ensemble des nappes captives. Toutes deux ont été préparées selon la méthodologie illustrée à la **figure 7.3**. Chacun des paramètres a d'abord été spatialisé en format matriciel, ensuite, les mailles de chacune des grilles ont été multipliées par leur facteur pondérateur respectif, puis les sept grilles ont été additionnées de façon à obtenir un indice DRASTIC pour chaque maille du fichier matriciel. Un travail de classification par couleur, selon la méthodologie décrite dans le document original de l'EPA, a ensuite été fait pour compléter la cartographie.

Figure 7.3 Méthode de calcul de la vulnérabilité des eaux souterraines



Les figures 7.4 et 7.5 présentent les cartes d'indice DRASTIC pour la nappe libre et pour la nappe captive. En ce qui concerne la nappe libre, il est possible d'y observer que la vulnérabilité est distribuée selon les contextes hydrogéologiques de la façon suivante :

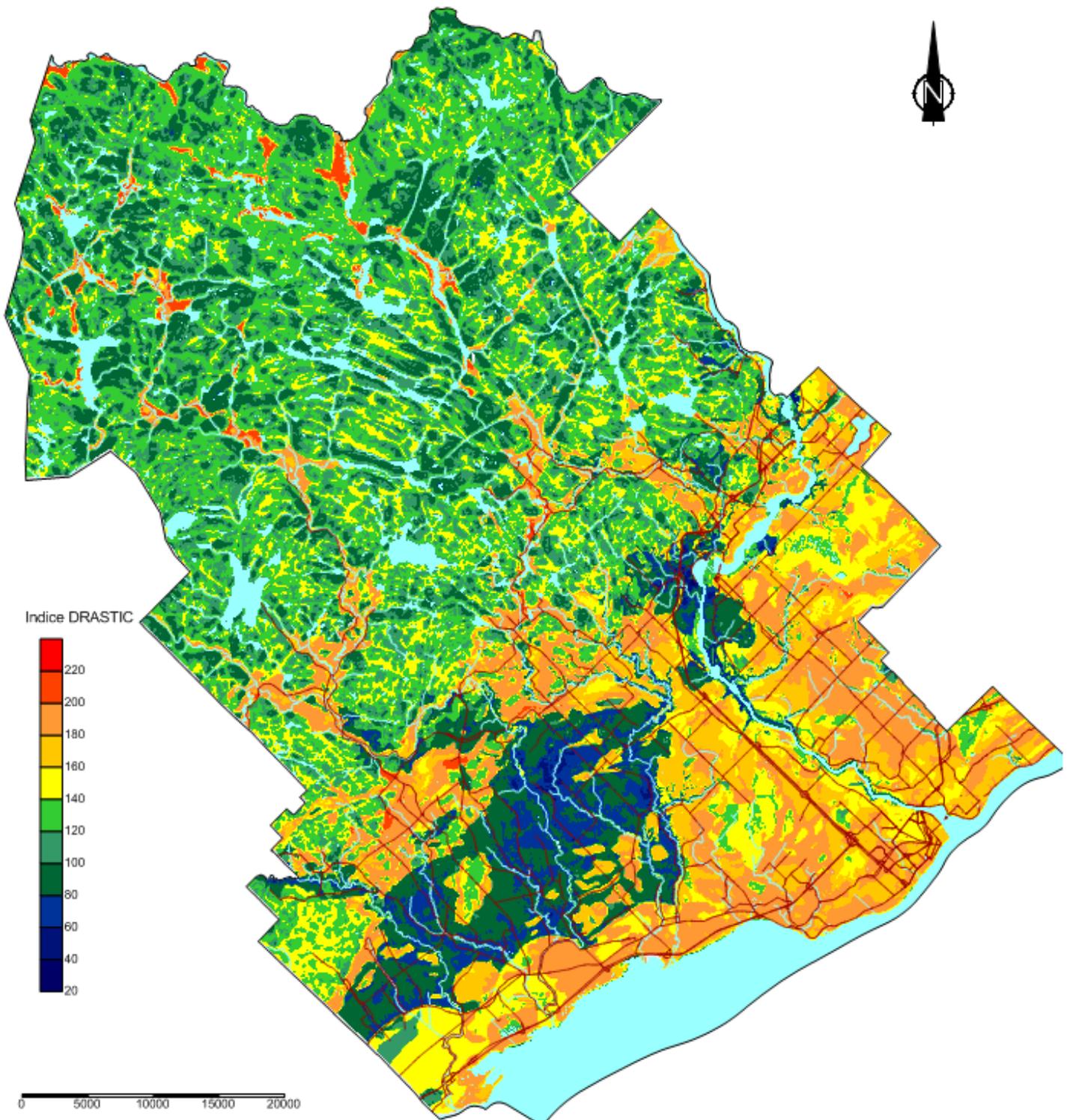
- les sables superficiels associés au paléodelta de la rivière Saint-Maurice et aux alluvions possèdent une vulnérabilité élevée, soit un indice DRASTIC estimé entre 140 et 200;
- Les sables et graviers superficiels associées aux vallées du plateau Laurentien et les crêtes de la moraine de Saint-Narcisse dans la zone du Piedmont possèdent également une vulnérabilité élevée, soit un indice DRASTIC entre 160 et 200;
- Les zones de roc affleurant ou sous une mince couche de till du plateau Laurentien possèdent une vulnérabilité modérée, soit entre 80 et 140;
- La plaine argileuse possède une faible vulnérabilité, soit un indice DRASTIC entre 30 et 80.

En ce qui concerne la nappe captive et semi-captive, l'indice DRASTIC s'applique à l'aquifère qui présente le meilleur potentiel aquifère. Ainsi, en présence d'une mince couche de till captif recouvrant

le socle rocheux, c'est cette dernière unité qui est considérée. Dans le cas d'un dépôt fluvio-glaciaire captif surmontant le socle rocheux, l'indice DRASTIC s'applique alors au dépôt fluvio-glaciaire. La vulnérabilité de la nappe captive et semi-captive est distribuée de la façon suivante :

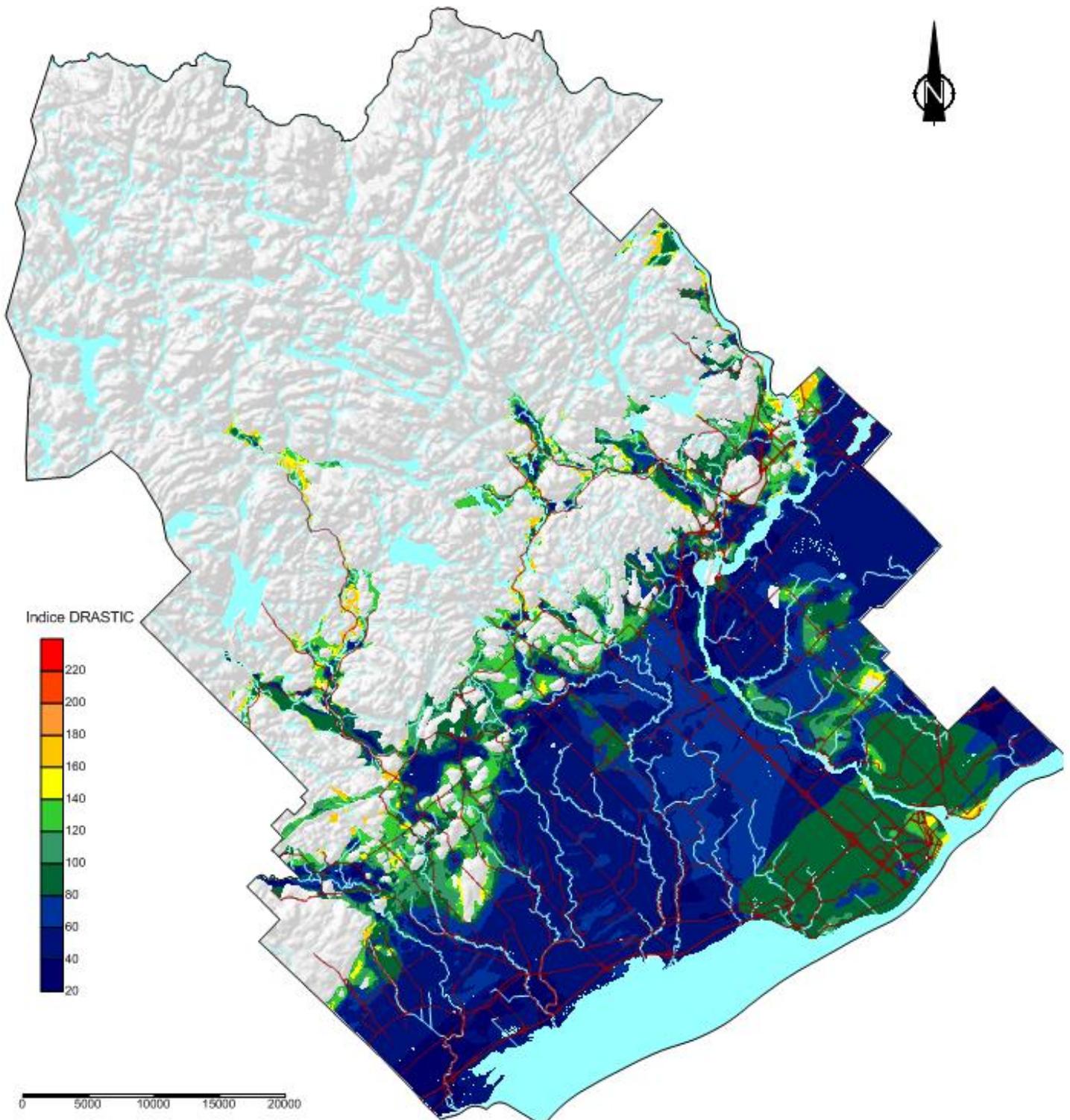
- Les nappes semi-captives du piedmont possèdent une vulnérabilité de moyenne à élevée, soit un indice DRASTIC estimé entre 120 et 160;
- Les zones de nappe semi-captive sous le paléodelta de la rivière Saint-Maurice possèdent également un indice DRASTIC estimé entre 120 et 160;
- les nappes captives sous la plaine argileuse possèdent une faible vulnérabilité caractérisée par un indice DRASTIC entre 30 et 80.

Figure 7.4 Vulnérabilité des nappes libres selon la méthode DRASTIC



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 22 accompagnant ce rapport.

Figure 7.5 Vulnérabilité des nappes captives et semi-captives selon la méthode DRASTIC



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 22 accompagnant ce rapport.

### 7.3 RISQUES POUR LES EAUX SOUTERRAINES

Au total, plus de 2500 activités anthropiques ayant un potentiel de contamination variant de faible à très élevé ont été répertoriées au sud-ouest de la Mauricie. De plus, 134 terrains contaminés ont été identifiés sur le territoire. Ces différentes activités ont été regroupées dans les catégories suivantes :

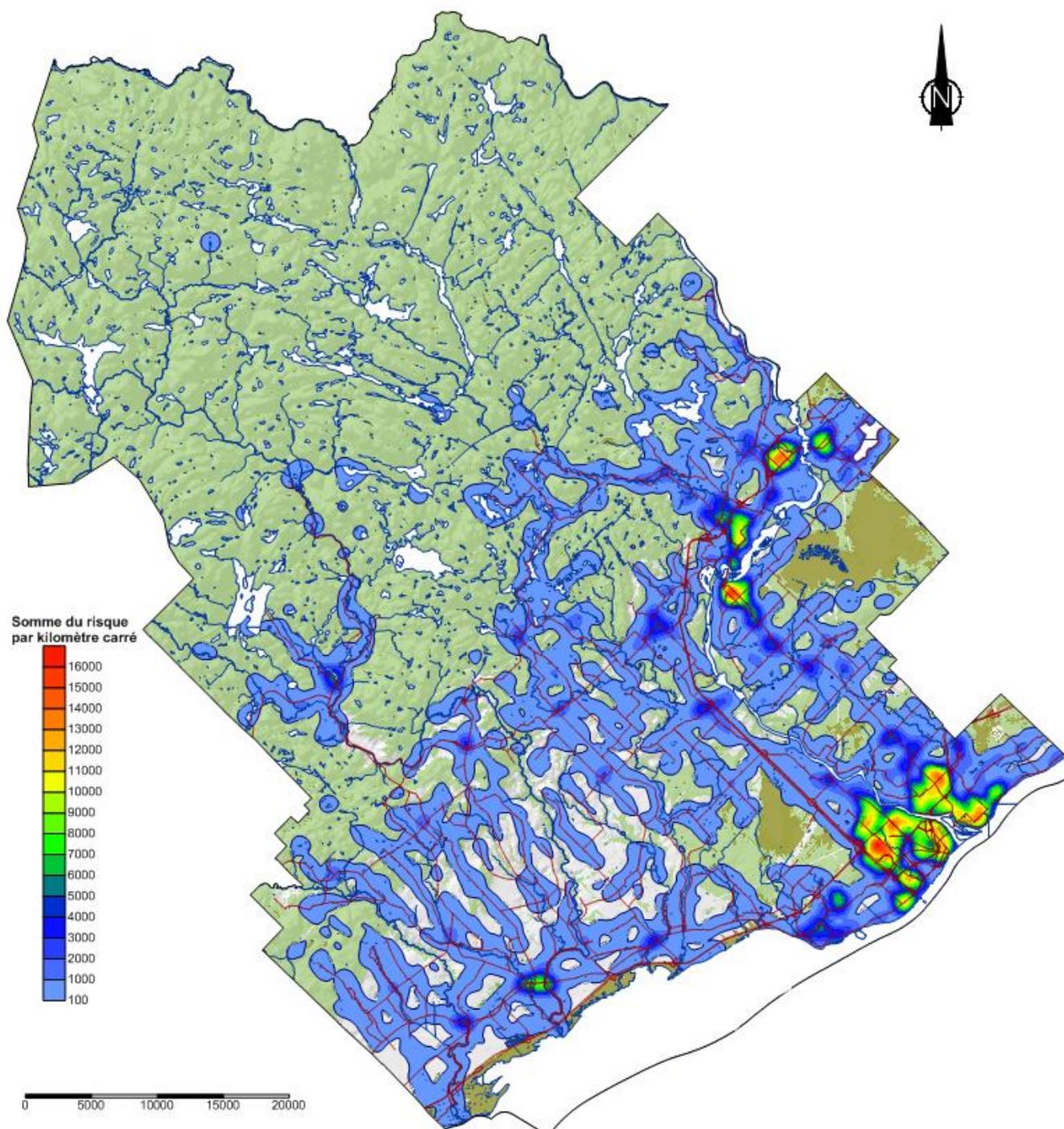
- Industries chimiques
- Industries du bois
- Industries de produits alimentaires
- Industries de la transformation
- Industries électriques et électroniques
- Production et distribution d'électricité et de gaz
- Entreposage et utilisation de produits pétroliers, chimiques ou toxiques
- Raffinage et transformation de sous-produits pétroliers
- Fabrication et réparation du matériel de transport
- Fabrication de produits minéraux non métalliques
- Base d'entraînement militaire
- Assainissement et gestion des déchets
- Activités minières non métalliques
- Agriculture et exploitations forestières
- Centrale hydraulique et hydroélectrique

L'identification et la cartographie des activités à risque permettent, avec l'utilisation de la carte de vulnérabilité décrite à la section précédente, d'identifier les zones sensibles où des mesures particulières de protection et de suivi doivent être élaborées afin de protéger les eaux souterraines.

Six cartes ont d'abord été créées afin de mettre en évidence la localisation des activités anthropiques potentiellement polluantes sur le territoire. Sur ces cartes, les codes de couleurs pour les activités anthropiques sont reliés au risque de contamination, soit faible (en vert), modéré (en jaune), élevé (en orange) ou très élevé (en rouge). Les activités agricoles n'ont pas été reliées à un risque puisque leur impact sur les eaux souterraines est diffus et difficile d'évaluer, faute de détails sur les types de production agricoles et les façons de faire précises de chaque producteur.

Ensuite, une carte de densité des activités anthropiques pondérée par rapport au risque de contamination par kilomètre carré a été créée. Le calcul de la densité a été effectué à l'aide de l'outil «Density Kernel » dans le logiciel ArcGIS. Deux paramètres ont été utilisés, soit des cellules d'une dimension de 100 x 100 mètres et un rayon de recherche de 1000 mètres afin d'obtenir une densité représentative des tendances régionales. La figure 7.6 montre la carte de densité des activités anthropiques. Il est possible d'y observer que les activités anthropiques possédant un fort risque de pollution pondéré sont surtout concentrées dans les zones urbaines des municipalités et villes.

Figure 7.6 Densité des activités anthropiques potentiellement polluantes



Cette figure est une représentation simplifiée du livrable cartographique no 23 accompagnant ce rapport.

## 8 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

### 8.1 PRIORITÉS DE GESTION ET D'EXPLOITATION

#### 8.1.1 EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Cette étude a permis de décrire les **conditions hydrogéologiques régionales** basées sur une cartographie à l'échelle 1/100 000 établie à l'aide des données disponibles. À la lumière des résultats obtenus, il est possible de formuler les conclusions et recommandations suivantes :

1. Le bilan hydrique régional démontre que la recharge est d'environ 743 Mm<sup>3</sup>/an alors que les prélèvements totaux d'eau souterraine sont de l'ordre de 20 Mm<sup>3</sup>/an, ce qui représente environ 3% de la recharge. Globalement, les ressources en eau souterraine de la Mauricie ne semblent donc pas surexploitées. Il subsisterait même dans certains secteurs un potentiel d'exploitation intéressant. Toutefois, localement, certaines nappes peuvent être à la limite de leur capacité.
2. Le suivi piézométrique à long terme démontre que les niveaux d'eau semblent stables. Les suivis historiques suggèrent toutefois qu'il existe des cycles de sept à huit ans au cours desquels les niveaux d'eaux peuvent descendre de 2 m. Les années où les précipitations sont moins abondantes, le niveau d'eau dans certains puits peut être critique et limiter l'exploitation de la nappe. **Recommandation 1** : Il sera important de poursuivre le suivi des piézomètres actuels et d'étendre le réseau pour couvrir les principaux aquifères de la région. Une analyse plus détaillée des relations entre le régime des précipitations et la piézométrie des nappes sera nécessaire pour évaluer l'impact des changements climatiques en cours sur l'exploitation des aquifères régionaux.
3. Bien que la ressource soit abondante, elle est mal répartie sur le territoire. Certaines municipalités ont peu ou pas d'aquifères exploitables (Louiseville, Maskinongé, Saint-Sévère), alors que d'autres municipalités possèdent des ressources en eau importantes. Les municipalités de la MRC de Maskinongé ont contourné ce problème en créant la Régie d'aqueduc de Grand-Pré qui puise l'eau là où elle se trouve et la redistribue régionalement. Cette initiative, qui doit être soutenue, est une particularité de la Mauricie et est un exemple de concertation régionale en matière de gestion des eaux souterraines.

4. Les aquifères composés de dépôts meubles localisés dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice et dans les vallées du piedmont sont les plus productifs et les plus exploités. Ces aquifères alimentent en eau potable plus de la moitié de la population de la Mauricie.
5. Certains aquifères, peu exploités, semblent présenter un potentiel intéressant. C'est le cas notamment des dépôts comblant la dépression de la faille de Saint-Cuthbert. Les données actuelles sont toutefois insuffisantes et il sera nécessaire de procéder à davantage de travaux de caractérisation afin d'évaluer le potentiel réel de ces aquifères.
6. Le chauffage et la climatisation par géothermie sont une pratique relativement récente au Québec. En Mauricie, des institutions telles que l'hôpital Cooke et le Technoparc, à Trois-Rivières, et l'hôtel Sacacomie, à Saint-Alexis-des-Monts, sont actuellement chauffées et climatisées par géothermie. Compte tenu de la température relativement élevée des eaux souterraines (environ 10 degrés Celsius à Trois-Rivières), du fort potentiel aquifère de la région et du caractère inépuisable de cette ressource énergétique, il est probable que la géothermie connaisse un essor important dans le futur.

---

#### 8.1.2 PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES

7. Près de 40% des puits domestiques de la Mauricie ne respecte pas les normes en ce qui concerne la contamination bactériologique. En ce qui concerne plus spécifiquement les coliformes fécaux, 12% des puits ne sont pas conformes. Cette contamination est toutefois probablement associée à une mauvaise installation et un mauvais entretien des puits. À cet effet, un manque de sensibilisation des utilisateurs a été observé au cours de l'étude. Lors de l'échantillonnage, près de 50% des propriétaires confirmaient qu'ils n'étaient pas au fait des procédures à suivre pour nettoyer ou pour décontaminer leur puits. **Recommandation 2** : Il serait souhaitable de sensibiliser davantage les propriétaires quant à l'aménagement de leur puits et la réalisation d'analyses régulières de qualité d'eau.
8. Les concentrations excessives en manganèse et en fer pourraient potentiellement être reliées à la présence de milieux humides dans l'aire d'alimentation des puits. **Recommandation 3** : Il est recommandé d'approfondir cette hypothèse afin de mieux comprendre la dynamique de ces métaux dans les aquifères et de mieux planifier l'aménagement des puits municipaux.
9. L'épandage de sels déglaçants sur le réseau routier semblent provoquer une augmentation des concentrations en chlorures dans l'eau des puits. **Recommandation 4** : Il est recommandé de

diminuer les quantités de sels épandus dans l'aire d'alimentation des puits ou de trouver des solutions alternatives aux méthodes et aux produits d'épandage utilisés actuellement.

10. L'analyse de la distribution spatiale des puits suggère que les portions du territoire possédant une vocation agricole, particulièrement dans les aquifères granulaires à nappe libre, présentent des risques accrus de contenir des concentrations élevées en nitrates. **Recommandation 5** : Il est recommandé de porter une attention particulière aux types de culture et à la fertilisation appliquée sur les sols sablonneux afin de limiter le lessivage des nitrates vers la nappe phréatique, particulièrement dans l'aire d'alimentation des puits résidentiels et municipaux. La présence de grandes cultures sur le delta de la rivière Saint-Maurice semble notamment présenter un risque élevé en ce qui concerne les concentrations en nitrates.
11. L'empiètement graduel de l'urbanisation sur les aquifères, comme le pavage des rues et la construction de bâtiments, réduit la surface d'infiltration nécessaire au renouvellement des ressources en eau souterraine et augmente le risque de contamination. Dans les régions urbanisées telles qu'à Trois-Rivières, où la nappe libre est très vulnérable et où le réseau d'aqueduc dépend en grande partie des ressources en eaux souterraines, la protection des eaux souterraines doit être réalisée de manière concertée. Le développement du territoire doit tenir compte des aires de protection des ouvrages de captage d'eau souterraine. Un exemple de gestion adéquate du territoire dans les aires d'alimentation des puits est la création d'un espace destiné aux activités telles que la course à pied, la marche, le vélo et le ski de randonnée dans le secteur de Cap-de-la-Madeleine, entre l'autoroute 40 et le champ de captage du secteur. **Recommandation 6** : L'impact du développement urbain sur la recharge et la qualité des eaux souterraines à Trois-Rivières devrait être évalué.
12. L'une des plus grandes sources de conflits d'usage avec les eaux souterraines est reliée à l'exploitation des granulats dans la région du piedmont. En effet, la moraine de Saint-Narcisse présente des épaisseurs considérables de sable et de gravier avec un niveau de nappe très profond. Toutefois, à ce jour, aucune problématique de contamination des nappes d'eaux souterraines reliée à l'exploitation d'une sablière n'a été documentée. En effet, les aquifères exploités dans le piedmont sont presque tous en condition de nappe captive ou semi-captive, ce qui leur confère un certain degré de protection. Néanmoins, la gestion de ces activités doit être effectuée de façon à éviter tout déversement en conservant les équipements en dehors des aires d'excavation, en évitant l'entreposage d'hydrocarbures et autres matières dangereuses et en gardant une distance minimale entre le fond des excavations et le niveau de la nappe d'eau souterraine.

## 8.2 DIFFUSION ET MISE À JOUR DE L'INFORMATION

13. L'information présentée dans ce document et dans la base de données qui l'accompagne pourra être utilisée par les aménagistes et les urbanistes, les organismes de bassins versants, les responsables de la gestion des eaux souterraines de la ville de Trois-Rivières et de la Régie d'aqueduc de Grand-Pré, ainsi que par les experts-conseils et les entrepreneurs en puits et forage dans le cadre de projets de captage d'eau ou de géothermie.
  
14. Il est capital de connaître l'emplacement des grands préleveurs sur un territoire si l'on désire être en mesure de protéger les sources d'alimentation en eau des communautés et des commerces et industries et d'éviter les conflits d'usage. **Recommandation 7** : Il est recommandé de rendre public la localisation géographique de tous les grands préleveurs.
  
15. Le mode de fonctionnement actuel du système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDEFP est intéressant, mais ce dernier pourrait être amélioré en intégrant notamment des données de qualité de l'eau. Rappelons que le « Règlement sur le captage des eaux souterraines » oblige la réalisation d'une analyse d'eau dans les trente jours suivant le forage d'un nouveau puits. Cet article du règlement n'est malheureusement pas suffisamment appliqué et les données ne sont pas colligées et conservées dans une base de données. De plus, le SIH actuel ne renferme presque exclusivement que des données de forages résidentiels décrits par des entrepreneurs puisatiers. Il faudrait étendre les sources d'information, de manière à ce que tout forage, qu'il soit réalisé dans un cadre municipal, industriel ou commercial, pour de la recherche en eau ou pour de la géothermie, soit inclus dans la base de données. Les forages effectués à des fins de caractérisation environnementale, de caractérisation géotechnique, ou d'exploration minière, gazière ou pétrolière devraient également y être intégrés.

## RÉFÉRENCES

- AitLasri, R. (1997). De l'identification des aquifères contaminés par le manganèse et le fer. Université de Pierre et Marie CURIE. Anjou Recherche. Paris VI., 57 p.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, H.J., Petty, J.R. et Hackett, G. (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. In : Ada OK, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency Report EPA-600/2-87-035.
- Béland, R. (1967). Région de Saint-Gabriel-de-Brandon, Comtés de Joliette, Berthier et Maskinongé. Cantons d'Angoulême, Berthier (en Haut), Brandon, Dailleboust, d'Argenteuil, de Calonne, Ramsay-nord, de Calonne, DuSable, Gauthier, Hope (Lanaudière), Hunter (Lanaudière), Lanaudière, Lanoraye et Peterborough. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, RG 133, 18 pages, 1 carte (1:63 360).
- Bolduc, A. M. (1999a). Géologie des formations superficielles, région de Trois-Rivières, Québec. Commission Géologique du Canada, Dossier Public 2994 (1:50 000).
- Bolduc, A.M. (1999b). Géologie des formations superficielles, région de Shawinigan, Québec. Commission Géologique du Canada, Dossier Public 2995, (1:50 000).
- Clark, T H, et Globensky, Y. (1976). Région de Trois-Rivières, Cantons de Bruyères, Cap-de-la-Madeleine, Caxton, Dumontieur, Godfroy, Grandpré, Hunterstown, Yamachiche, Marsolet, Nicolet, Pointe-du-Lac, Rivière-du-Loup, Roquetaillade, Shawinigan, Saint-Maurice, Ste-Marguerite. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, RG 164, 87 pages, 1 carte (1:63 360).
- Cloutier, V. (2004). Origin and geochemical evolution of groundwater in the Paleozoic Basses-Laurentides sedimentary rock aquifer system, St. Lawrence Lowlands, Québec, Canada. PhD Thesis, INRS-Eau, Terre & Environnement, Québec, Canada.
- Corrigan, D. et van Breemen, O. (1997). U-Pb age constraints for lithotectonic evolution of the Grenville Province along the Mauricie transect, Québec. Canadian Journal of Earth Science, 34 : 299-316.
- Denis, R. (1976). Région de Saint-Gabriel de Brandon. Rapport Géologique 168, Service de l'exploration géologique du Ministère des Richesses Naturelles, Québec, Carte 1772 : Géologie du Quaternaire (1:63 360).
- Di Ruggiero, J. et Gounot, A.M. (1990). Microbial manganese reduction mediated by bacterial strains isolated from aquifer sediments. Micob. Ecol., 20 : 53-63.
- Dimroth, E. (1963). Géologie des régions de Chapleau, Allard, Angoulême, de Calonne, Houde, Desaulniers, Comtés de Saint-Maurice et Maskinongé. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, RP 501, 12 pages. 1 carte (1:63 360).
- Dresser, J.A. (1930). Rapport annuel du service des mines de Québec, Service des mines, Province de Québec, Canada, 112 p.

- Emslie, R. F. et Hunt, P.A. (1990). Age and petrogenic significance of igneous mangerite-charnockite suites associated with massif anorthosites, Grenville Province. *Journal of Geology*, 98 : 213-232.
- Fortin, J. P., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J. et Villeneuve, J. P. (2001). Distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. I: Description of model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6: 91-99.
- Gadd, N.R (1971). Géologie des dépôts meubles. La partie Centrale des Basses-Terres du St-Laurent, Québec. Commission Géologique du Canada, Carte 1197A (1:125 000).
- Globensky, Y. (1987). Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, MM 85-02, 70 pages, 1 carte (1:250 000).
- Goulet, N. (1971). Étude pétrologique, structurale et géochronologique des formation cristallines du quart nord-est de la feuille Saint-Gabriel-de-Brandon (Province de Grenville, Bouclier Canadien), thèse Ph. D., Université de Grenoble 1, Grenoble, France. Cote bibliothécaire QE 475G696e, Disponible à la bibliothèque du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, TH 0666, 203 p.
- Hocq, M. (1979). Le Précambrien de la Province de Grenville dans la région de Saint-Paulin, Comtés de Maskinongé et de Saint-Maurice, P.Q. Thèse de Maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada. Cote bibliothécaire QE 655 H686p. Disponible à la bibliothèque du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, TH 0099, 271 p.
- Hooke, R.L. (2005). *Principles of glacier mechanics*. Cambridge University Press, 429 p.
- Lachance, F. (1995). L'exploitation Industrielle de l'Ocre en Mauricie 1850-1968, Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, 128 p.
- Lacasse, K. (2013). Géochimie des aquifères du sud-ouest de la Mauricie. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 159 p.
- Lamarche, L. (2005). Histoire géologique holocène du Lac Saint-Pierre et de ses ancêtres. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, 137 p., annexes et carte.
- Légaré, G. (2013). Hydrostratigraphie et modélisation géologique 3D du sud-ouest de la Mauricie. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 100 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP, 2012). Eau souterraine [En ligne], <http://www.MDDEFP.gouv.qc.ca/eau/inter.htm> (page consultée le 30 septembre 2012).
- Nadeau, L., Brouillette, P. et Hébert., C. (2006). Architecture et évolution tectonique de l'orogène du Grenville, région de Portneuf-Mauricie, Québec. Excursion B6. Congrès annuel de l'AGC-AMC, Planète Terre à Montréal. 160 p., 1 carte.

Nadeau L., Brouillette, P., et Hébert, C. (2009). Carte géologique de compilation, Région de Portneuf-Mauricie, Province de Grenville, Québec. Produit par la Commission géologique du Canada, Disponible au ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, sous le numéro de document GM 63830; 1 carte (1:125 000).

Nadeau, L. et van Breemen, O. (1994). Do the 1.45 – 1.39 Ga Montauban group and the La Bostonnais complex constitute a Grenvillian accreted terrane? In Waterloo '94, Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts, 19, A81.

Nash, J. E. et Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.

Occhietti, S. (2007). The Saint-Narcisse morainic complex and early Younger Dryas events on the southeastern margin of the Laurentide ice sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, 61: 89-118.

Poirier, C. (2012). Estimation préliminaire des débits de base à des sites de stations hydrométriques du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). Contribution au Programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Présentation power point faite aux équipes PACES, 2012-10-30. Données numériques identifiées sous la version beta\_v2 2012-10-02, déposés sur le site ftp du PACES.

Poirier, C., Fortier Filion, T.-C., Turcotte, R., Lacombe, P. (2012). Apports verticaux journaliers estimés de 1900 à 2010 – version 2012. Contribution au Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Direction de l'expertise hydrique, 112 p.

Parent, M., Paradis, S.J. et Boivin, R. (2010). Formations superficielles : Légende et notes descriptives – 1 : 50 000 à 1 : 250 000, version 11. Commission Géologique du Canada.

Paterson, W.S.B. (1994). *The physics of glaciers*. 3<sup>e</sup> édition. Oxford, New York, Tokyo, Pergamon Press, 480 p.

Philpotts, A R. (1967). Régions de Allard, Belleau, Desaulniers, Cap-de-La-Madeleine, Caxton, Chapleau, de Calonne, et Hunterstown, Comtés de Saint-Maurice, Maskinongé et Laviolette. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, RG 127, 54 pages, 1 carte (1:63 360).

Prévôt, J.M., 1972, Carte hydrogéologique des Basses-Terres du Saint-Laurent, Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'Hydrogéologie, échelle 1: 250 000

Rivers, T., Martignole, J., Gower, C. et Davidson, T. (1989). New tectonic divisions of the Grenville Province Southeast Canadian Shield. *Tectonics*, 8 : 63-84.

Rondot, J. (1978). Région du Saint-Maurice, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, DPV 594, 91 pages. 2 cartes (1:100 000).

Rousseau Beaumier, T. (2012). Modélisation hydrologique des bassins versants du sud-ouest de la Mauricie. Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 32 p.

Rousseau A. N., Mailhot A., Gariépy S., Salvano, E. et Villeneuve J. P. (2002). Computation of probability of exceeding environmental load allocations from point and diffuse sources using the integrated modeling system GIBSI, INRS, 15(SPECIAL): 121-148.

Royer, A., Rousseau A.N., Fortin J.-P., et Turcotte R. (2006). PHYSITEL, un SIG pour la mise en place de modèles hydrologiques. Affiche présentée dans le cadre du deuxième symposium scientifique d'Ouranos sur la climatologie et adaptation à l'échelle régionale, 2-3 novembre 2006, Montréal, Qc, Canada.

Santé Canada (2012). Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada [En ligne], [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2012-sum\\_guide-res\\_recom/index-fra.php#t2](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2012-sum_guide-res_recom/index-fra.php#t2) (page consultée le 30 septembre 2012).

Schimann, K. (1971). Étude, structurale, pétrographique et géochimique du Massif Sacacomie, Province de Grenville, (Bouclier Canadien), Thèse de Ph.D, Université de Nancy 1, Nancy, France. Cote bibliothécaire QE 515 S335e, Thèse disponible à la bibliothèque du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec TH 0890.

Turcotte, R., Fortin, J. P., Rousseau, A. N., Massicotte, S. et Villeneuve, J. P. (2001). Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology*, 240 : 225-242.

## ANNEXES

Les annexes sont disponibles sur demande : [stephane.campeau@uqtr.ca](mailto:stephane.campeau@uqtr.ca)

Annexe 1 Cartes thématiques des livrables du projet (30 cartes)

Annexe 2 Méthodologies (61pages)

Annexe 3 Résultats des travaux de résistivité électrique (77 pages)

Annexe 4 Résultats des travaux de sismique-réfraction (54 pages)

Annexe 5 Résultats des travaux de sismique-réflexion haute-résolution (3 pages et une carte format A0)

Annexe 6 Résultats des travaux de sondage au piézocône (14 pages)

Annexe 7 Résultats des travaux de forage (30 pages)

Annexe 8 Coupes hydrostratigraphiques de forages archivés (88 pages)

Annexe 9 Résultats des analyses granulométriques (829 pages)

Annexe 10 Résultats des analyses minéralogiques (29 pages)

Annexe 11 Résultats des essais hydrauliques (228 pages)

Annexe 12 Résultats des datations de fossiles au radiocarbone (10 pages)

Annexe 13 Résultats des analyses bactériologiques (202 pages)

Annexe 14 Résultats des analyses chimiques (422 pages)

Annexe 15 Résultats des analyses isotopiques (11 pages)