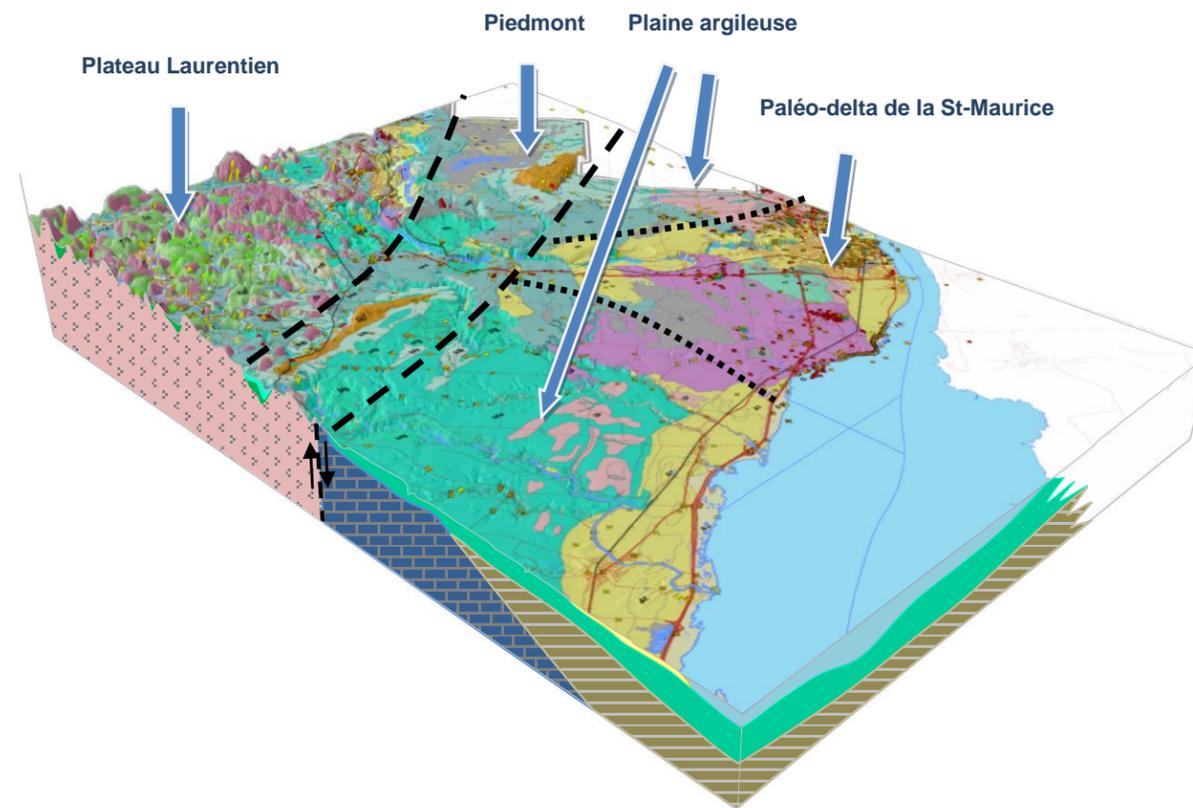


CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE DU SUD-OUEST DE LA MAURICIE



Département des sciences de l'environnement
Centre de Recherche sur les Interactions bassins Versants - Ecosystèmes aquatiques (RIVE)
Université du Québec à Trois-Rivières

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)

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

Hydrologie

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

Télé-détection

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-François 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)

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. Nous remercions également le Décanat des études de cycles supérieurs et de la recherche et le Service des communications de l'UQTR pour leur support. Les auteurs désirent enfin 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
- 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 Saint-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, Louiseville
- M. Michel Cousineau, DG, Saint-Justin

Ce document est une synthèse vulgarisée des résultats du projet de caractérisation des eaux souterraines du sud-ouest de la Mauricie. Le rapport final de l'étude, ainsi que des documents complémentaires, sont disponibles sur le site suivant : www.uqtr.ca/geographie/hydro

Citation du rapport final :

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).*



TABLE DES MATIÈRES

Résumé	1	Qualité des eaux souterraines	23
Limites de l'étude	4	L'échantillonnage des eaux souterraines	23
Description du territoire à l'étude	5	Les types d'eaux souterraines et leur âge	23
Limites territoriales	5	La réglementation	23
Occupation du sol	6	La qualité des aquifères en bref	23
Milieux humides et aires protégées	7	Problématiques de qualité d'eau	24
Physiographie	8	Qualité bactériologique des eaux souterraines	24
Réseau hydrographique et bilan hydrologique	9	Problématiques de qualité d'eau	25
Historique de l'exploitation des ressources « géologiques » en Mauricie	10	Qualité chimique des eaux souterraines	25
Contexte géologique	11	Problèmes d'ordre esthétique	26
Histoire géologique	11	Gestion durable des eaux souterraines du sud-ouest de la Mauricie	27
Géologie du socle rocheux	12	Le prélèvement et la consommation des eaux souterraines	27
Topographie de la surface du socle rocheux	12	Bilan des prélèvements et de la consommation d'eau	27
Histoire géologique récente : le Quaternaire	13	Répartition des prélèvements en réseau et hors réseau	28
Modèle géologique tridimensionnel de la Mauricie	14	Distribution de l'utilisation de l'eau par municipalité	28
Géologie des dépôts meubles	15	Vulnérabilité des aquifères	29
Épaisseur totale des dépôts meubles	15	Vulnérabilité des nappes libre, captive et semi-captive	29
Méthodes utilisées en hydrogéologie	16	Vulnérabilité des nappes libres	30
Contexte hydrogéologique	17	Vulnérabilité des nappes captives	30
Les écoulements souterrains	17	Inventaire des activités à risque sur le territoire	31
Description des contextes hydrogéologiques	18	Densité des activités potentiellement polluantes	31
Contextes hydrogéologiques	18	Conclusions et recommandations	32
Profils hydrostratigraphiques	19	L'exploitation des eaux souterraines du sud-ouest de la Mauricie	32
Écoulements souterrains	21	La protection des eaux souterraines	32
Piézométrie des nappes libres	21	Références	33
Processus de recharge et de résurgence des eaux souterraines	22		
Aires de recharge et de résurgence des eaux souterraines	22		

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 document est une **synthèse vulgarisée** des résultats du projet. Le rapport final de l'étude 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 géoréférencées. Le rapport final est disponible sur le site suivant : www.uqtr.ca/geographie/hydro

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 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 fluvi-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 et 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 **paléo-delta 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 Saint-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-calciq 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, mis à part un certain nombre de puits domestiques. 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, suivie de la Régie d'Aqueduc de Grand-Pré.

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.

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 nitrates**. Les dépassements en **fluorures (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 **nitrates**, 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 ¹⁵N), dans un des secteurs touchés par les nitrates, 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 nitrates. Les installations septiques résidentielles et la fuite de réseaux d'égouts pourraient également être des sources de nitrates, bien que dans une moindre mesure.

En ce qui concerne les normes **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 paléo-delta 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 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.

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 paléo-delta 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 Mm³/an alors que les prélèvements totaux d'eau souterraine sont de l'ordre de 20 Mm³/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 **paléo-delta** 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 **nitrites**. **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 nitrites 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 nitrites.
- 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. **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 sources de conflits d'usage est reliée à l'exploitation des **granulats** dans la région du piedmont. 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 et en gardant une distance minimale entre le fond des excavations et le niveau de la nappe.

LIMITES 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 des données 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.



DESCRIPTION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE

LIMITES TERRITORIALES

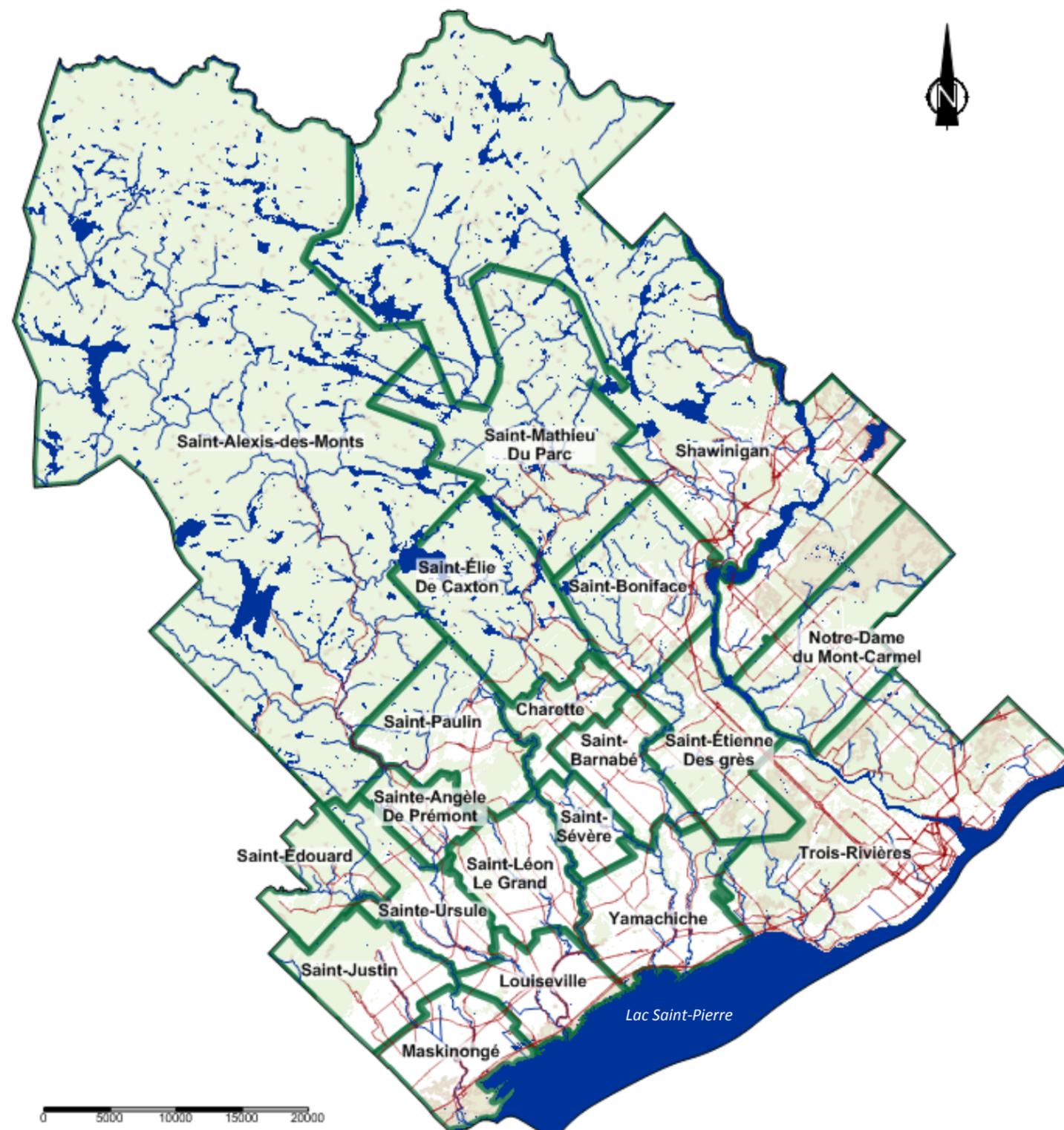
Le territoire à l'étude est situé au sud-ouest de la Mauricie. Sa **superficie est de 3 915 km²**. Il couvre la MRC de Maskinongé, les villes de Trois-Rivières et de Shawinigan ainsi que la municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel (MRC Des Chenaux).

La **MRC de Maskinongé** et ses 17 municipalités font intégralement partie de l'aire d'étude et occupent plus de 65% de la superficie. 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.

La population du territoire à l'étude est de **223 234 habitants**. Les deux principaux centres, Trois-Rivières et Shawinigan, regroupent 80% de la population. 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.

Municipalités du territoire à l'étude

Municipalité	MRC ou ville	Superficie (km ²)	Population
Saint-Alexis-des-Monts	Maskinongé	1137	3201
Shawinigan	Shawinigan	803	51734
Trois-Rivières	Trois-Rivières	335	129886
Saint-Mathieu-du-Parc	Maskinongé	229	1447
TNO aquatique de la MRC de Maskinongé	Maskinongé	132	0
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	Des Chenaux	131	5343
Saint-Élie-de-Caxton	Maskinongé	130	1447
Saint-Boniface-de-Shawinigan	Maskinongé	112	4401
Yamachiche	Maskinongé	107	2714
Saint-Étienne-des-Grès	Maskinongé	106	4211
Saint-Paulin	Maskinongé	98	1585
Saint-Justin	Maskinongé	79	1028
Maskinongé	Maskinongé	79	2224
Saint-Léon-le-Grand	Maskinongé	76	977
Sainte-Ursule	Maskinongé	69	1376
Louiseville	Maskinongé	64	7373
Saint-Barnabé	Maskinongé	59	1213
Saint-Édouard-de-Maskinongé	Maskinongé	54	817
Charette	Maskinongé	42	934
Sainte-Angèle-de-Prémont	Maskinongé	38	691
Saint-Sévère	Maskinongé	32	332



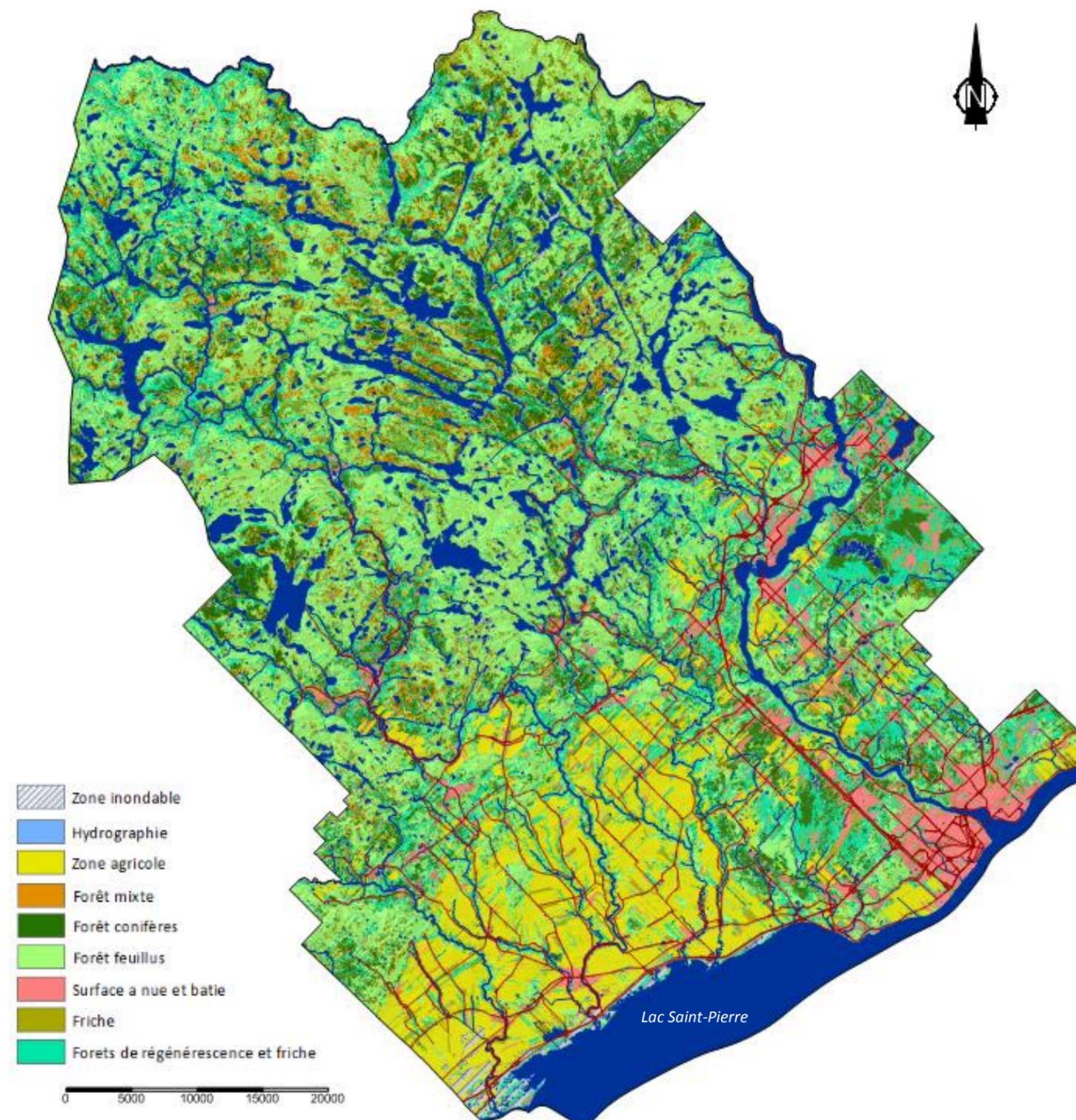
OCCUPATION DU SOL

Le territoire du sud-ouest de la Mauricie est principalement occupé par des forêts qui, avec les zones en régénérescence et les friches, représentent 68% de l'aire d'étude. Le secteur agricole vient au deuxième rang, avec 10% des superficies. Les surfaces cultivées sont principalement concentrées dans la plaine argileuse qui s'étend au nord du lac Saint-Pierre, bien que l'on retrouve également des exploitations agricoles sur le paléo-delta sablonneux de la rivière Saint-Maurice et dans les vallées. Le réseau hydrographique, les surfaces à nue et bâties et les zones déboisées occupent, respectivement 9%, 8% et 5% du territoire. Les principales zones urbaines et industrielles sont concentrées le long de la rivière Saint-Maurice et des autoroutes 40 et 55.

Couverture	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Forêts de feuillus	1125	28,7
Zones en régénérescence et friches	769	19,6
Forêts de conifères	484	12,4
Zones agricoles	396	10,1
Hydrographie	343	8,8
Surfaces à nue et bâties	311	7,9
Forêts mixtes	306	7,8
Zones déboisées	185	4,7

Les cultures sont subdivisées comme suit :

Couverture	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Maïs	120	3,1
Foin	89	2,3
Soya	83	2,1
Orge	28	0,7
Avoine	18	0,5
Blé	17	0,4
Maraîcher	13	0,3
Non-classifié	10	0,3
Cultures mixtes	6	0,2
Surface à nu	7	0,2
Autres cultures	2	0,1



MILIEUX HUMIDES ET AIRES PROTÉGÉES

Les milieux humides du sud-ouest de la Mauricie occupent 179 km², soit environ 5% du territoire à l'étude. Ils sont principalement répartis en trois zones liées au contexte géomorphologique. Ces zones sont les suivantes :

- **Zone 1. Les terrains sablonneux de Shawinigan à Trois-Rivières :** Cette zone possède les plus grands milieux humides du territoire, dont l'un est situé à Shawinigan et l'autre à Trois-Rivières. Les milieux humides qui y sont observés sont développés en terrain plat sur un substratum sableux. Ces conditions sont idéales pour que le niveau de la nappe d'eau souterraine s'élève suffisamment pour affleurer en surface et remplir les dépressions telles que d'anciens chenaux d'écoulement dans le paléo-delta de la rivière Saint-Maurice ou les dépressions situées entre les dunes de sable, créant ainsi des conditions favorables à la formation de tourbe et l'accumulation de matière organique.
- **Zone 2. Les marais et marécages du lac Saint-Pierre :** Cette zone borde le lac Saint-Pierre sur l'ensemble de son étendue. Elle est située en plaine d'inondation. Ces milieux sont développés sur un substratum argileux, originant des phases successives de sédiments fins provenant du lac à Lampsilis et de la mer de Champlain. Ces dépôts sont très peu perméables et situés en terrain bas; ils retiennent l'eau en surface, créant ainsi des conditions propices au développement de milieux humides.
- **Zone 3. Le plateau Laurentien :** Cette zone de vaste étendue, comporte de nombreux très petits milieux humides, associés au réseau hydrographique (la taille de la carte ci-contre ne permet pas de les représenter, étant donné leur taille restreinte). Ces petits milieux humides sont généralement situés au fond des vallées et en bordure des cours d'eau, en zone de résurgence des eaux souterraines. Ils se sont développés sur un till glaciaire peu perméable.

Qu'est-ce qu'un milieu humide ?

Il s'agit de l'ensemble des sites saturés d'eau ou inondés pendant une période suffisamment longue pour influencer la végétation et le substrat.

Le marais

Les marais sont des habitats dominés par des herbaçaias sur substrat minéral partiellement où complètement submergé au cours de la saison de croissance. Dans la majorité des cas, ils sont en lien avec un cours d'eau, mais peuvent également être isolés.

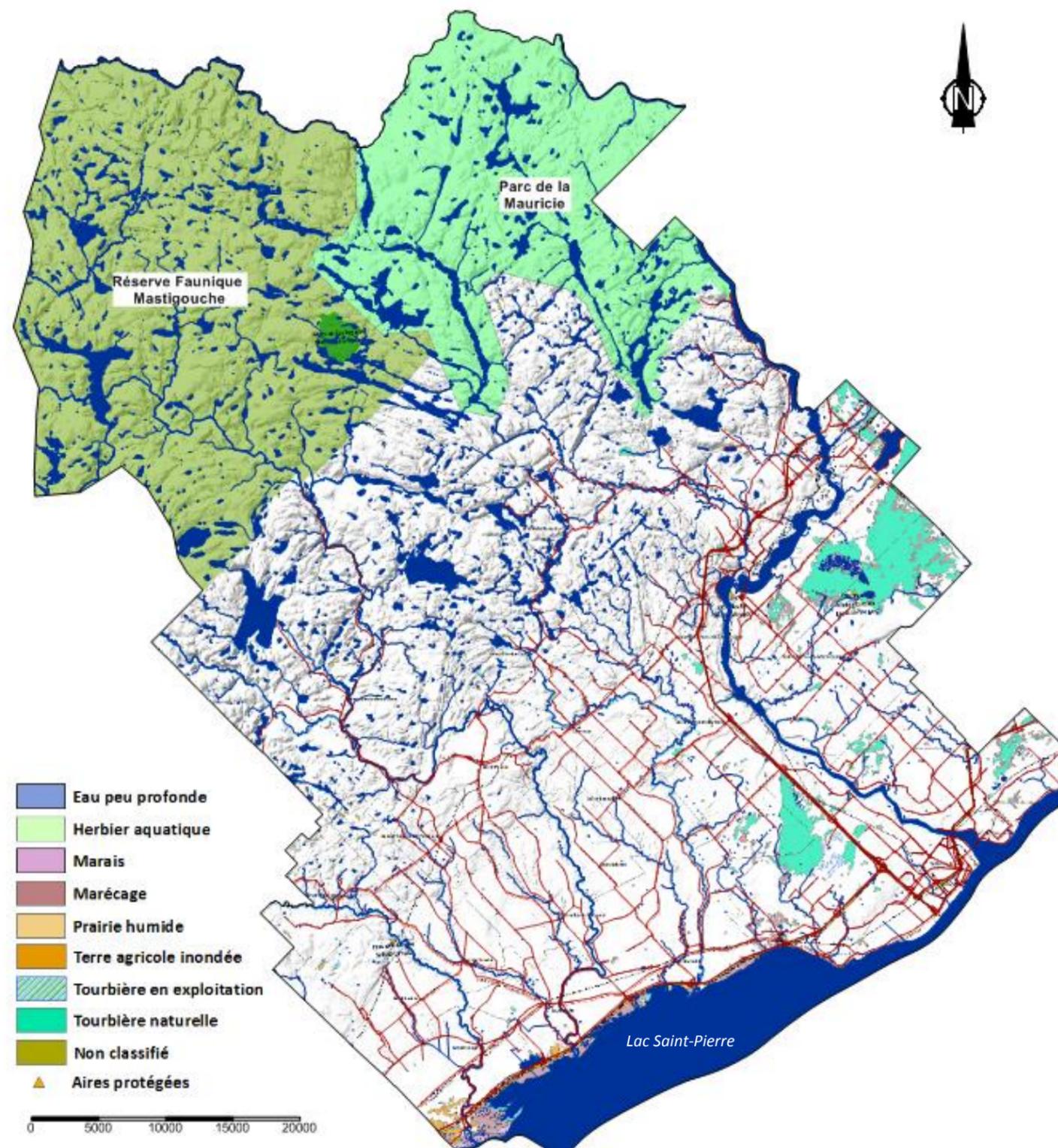
Le marécage arboré ou arbustif

Les marécages sont dominés par une végétation ligneuse, arborescente ou arbustive, croissant sur un sol minéral ou organique soumis à des inondations saisonnières ou caractérisés par une nappe phréatique élevée et une circulation d'eau enrichie de minéraux dissous. Ils sont soit isolés, soit en lien avec un cours d'eau.

La tourbière

La tourbière est un terme générique qualifiant tous les types de terrains recouverts de tourbe. Il s'agit d'un milieu à drainage variable où le processus d'accumulation organique prévaut sur les processus de décomposition et d'humidification, peu importe la composition botanique des restes végétaux. La tourbe, que l'on qualifie également de sol organique, doit cependant avoir une épaisseur minimale. Un sol est dit organique lorsque la matière organique est peu décomposée et présente une épaisseur de plus de 60 cm, ou lorsque la matière organique est bien décomposée avec une épaisseur de plus de 40 cm.

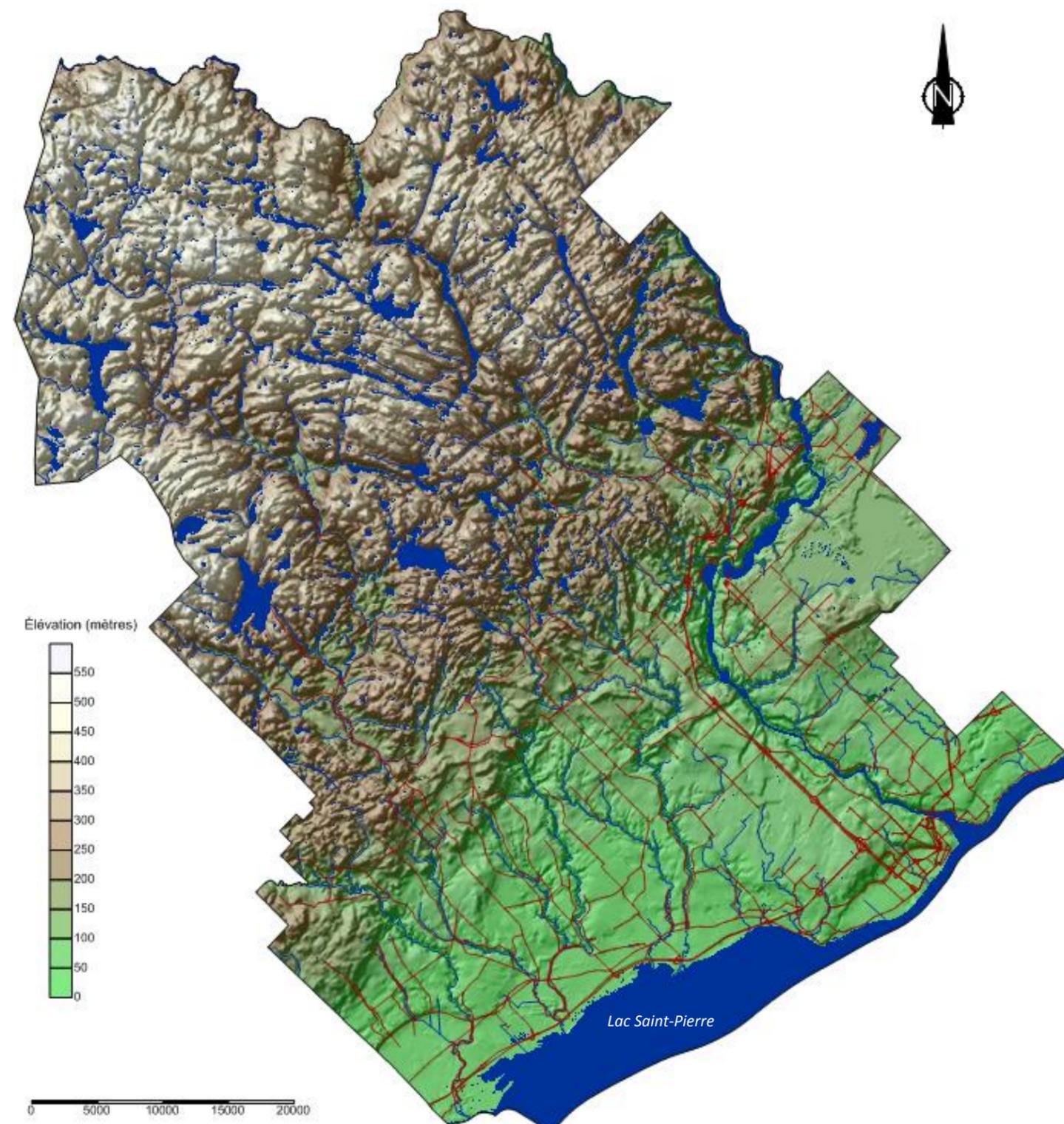
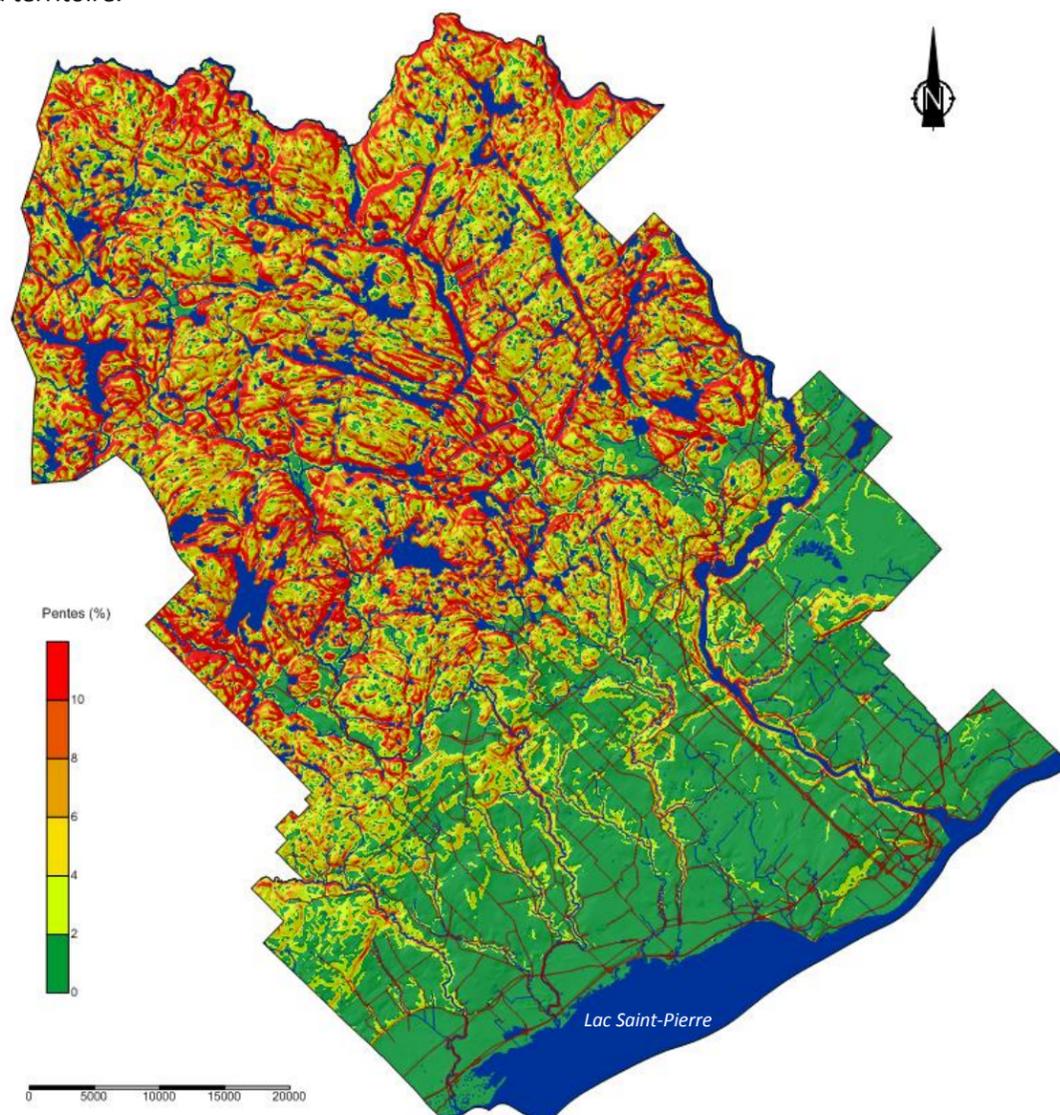
Adaptation de Payette et Rochefort (2001)



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.

Les pentes du terrain sont entre 0 et 2% dans la plaine argileuse du Saint-Laurent, à l'exception des ravins d'érosion causés par les rivières qui ont entaillé les dépôts meubles. Dans le plateau Laurentien, les pentes de plus de 10% occupent une grande partie du territoire.



RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ET BILAN HYDROLOGIQUE

Le **réseau hydrographique** est constitué de neuf cours d'eau principaux, tous tributaires du fleuve Saint-Laurent, incluant les bassins versants de la rivière du Loup, 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 le sud des bassins versants de la rivière Maskinongé et de la rivière Saint-Maurice et le nord du bassin de la rivière Champlain.

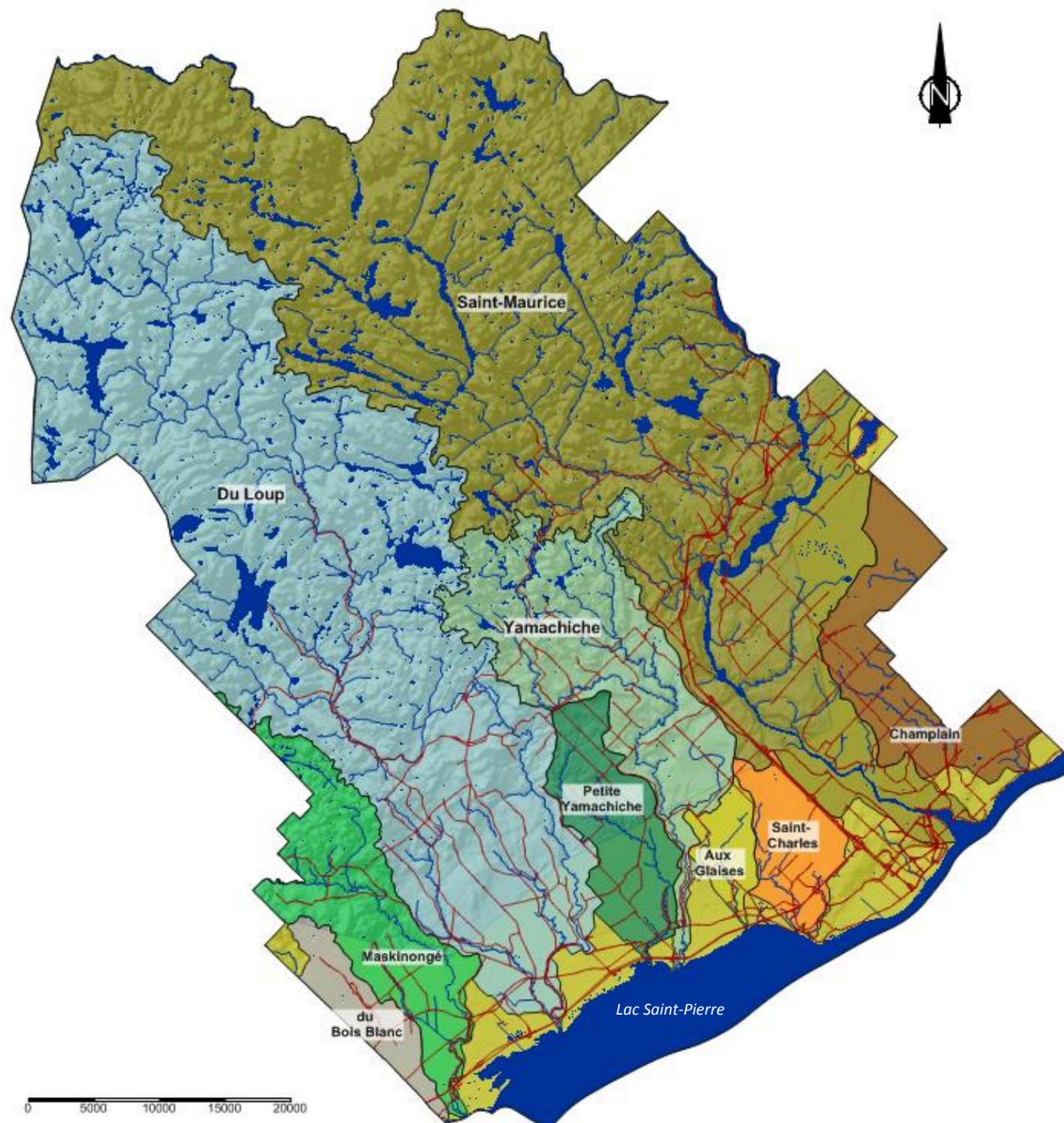
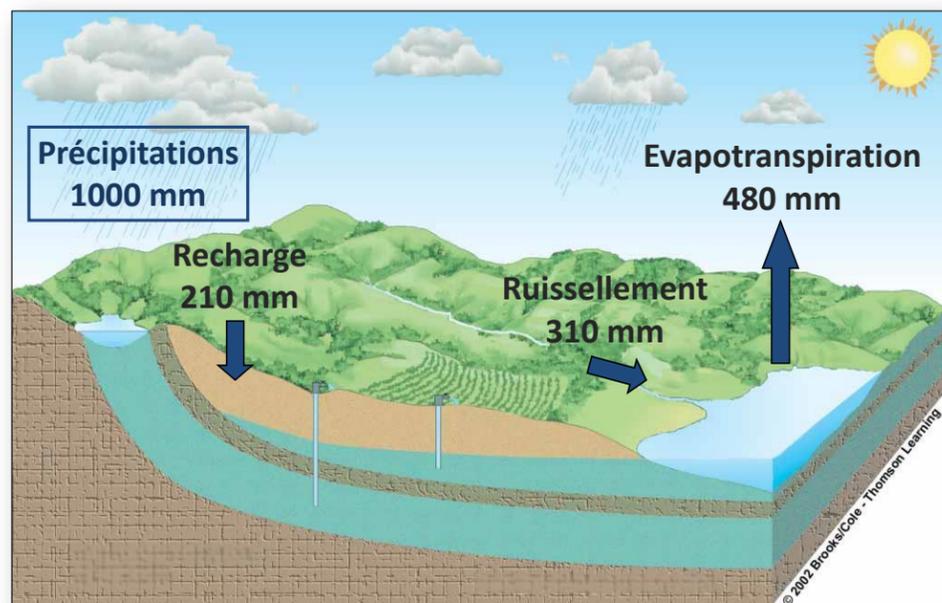
Bassins versants du territoire à l'étude

Bassin versant	Superficie totale (km ²)	Superficie dans la région d'étude (km ²)	Organisme de bassin versant*
Rivière Saint-Maurice	42 901	1 517	BVSM
Rivière du Loup	1 610	1 214	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	OBVRLY
Rivière aux Glaises	34	34	OBVRLY
Autres		178	

*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 Batiscan.

Le bilan hydrologique moyen du sud-ouest de la Mauricie

Le **bilan hydrologique moyen** (ci-dessous) a été évalué à partir des précipitations annuelles mesurées par les stations météorologiques et les débits mesurés par les stations hydrométriques ou simulés par le modèle HYDROTEL. L'évapotranspiration fut estimée à partir de calculs théoriques.



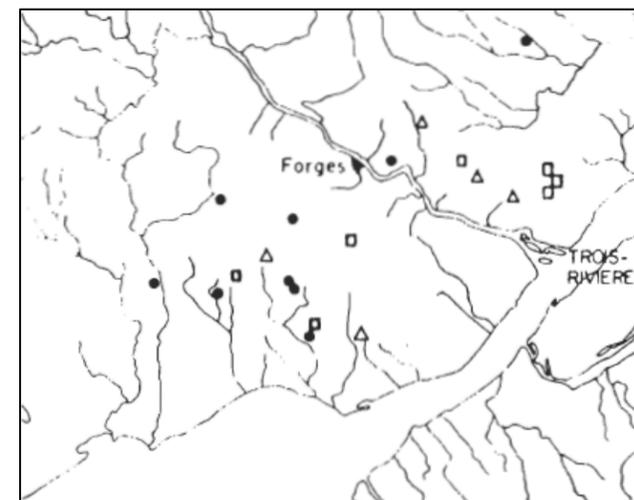
HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES « GÉOLOGIQUES » EN MAURICIE

La Mauricie est l'une des régions du Québec où les **ressources naturelles** 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.

Les **eaux souterraines** sont exploitées depuis longtemps en Mauricie pour fins d'approvisionnement des réseaux d'aqueduc et aussi pour des fins commerciales, dès le 19^e 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 20^e siècle, une source d'eau saumâtre située à Saint-Léon-Le-Grand était reconnue pour ses propriétés curatives. Le *St-Léon Spring Hotel* était très fréquenté à l'époque. Jusqu'à 1885, *The St-Leon Mineral Water Co.* vendait l'eau 25 sous le gallon.



The Saint-Léon Mineral Water Co., 1885



Les sites d'exploitation du fer en Mauricie (tiré de Lachance, 1995)

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 (Fe^{2+}), lequel s'oxyde pour se transformer en fer ferrique (Fe^{3+}). Ensuite, 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 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.

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 aux choix stratégiques des exploitants.

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, pour 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. Le 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 (*Intragaz*).

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 en Maurice (environ 10 degrés Celsius à Trois-Rivières), du fort potentiel aquifère de la région et du caractère inépuisable de la géothermie, il est probable que l'exploitation de cette ressource connaisse un essor dans le futur.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

HISTOIRE GÉOLOGIQUE

L'usage du territoire par les humains est intimement lié au contexte géologique. Par exemple, si les plaines sont propices à l'agriculture, il en est autrement pour les montagnes. De la même façon, la disponibilité de l'eau souterraine dépend aussi de la géologie du milieu, et plus particulièrement des propriétés des différentes unités géologiques dans lesquelles l'eau circule, qu'il s'agisse de roc ou de sédiments meubles. La compréhension de l'histoire géologique d'une région permet de connaître la nature et la disposition des différentes unités géologiques qui y sont présentes. Ces informations sont incontournables pour comprendre l'écoulement de l'eau souterraine, et constituent de bons indices pour déterminer les meilleurs aquifères.

L'ÈRE DU PRÉCAMBRIEN : LA CRÉATION DES PREMIERS CONTINENTS

Il était une fois, il y a plus de 3 milliards d'années...

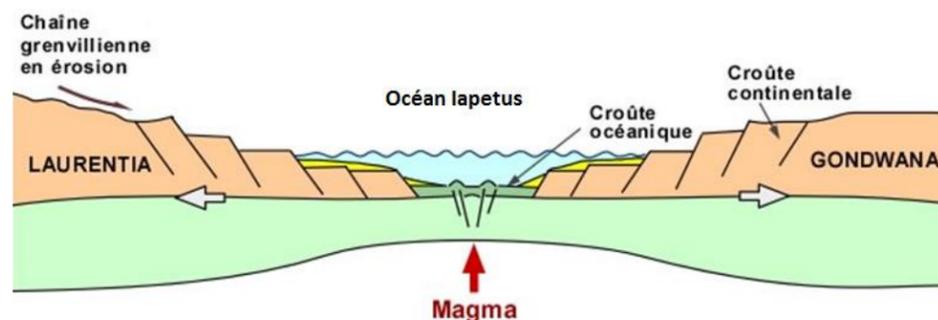
L'histoire géologique du Québec commence à la période de l'**Archéen**, il y a plus de 3 milliards d'années. La Terre est alors bien différente de celle que l'on connaît aujourd'hui. Une mince croûte terrestre se développe progressivement à la surface du globe pour former les premiers noyaux continentaux entourés des premiers océans. Successivement, ces premiers continents se feront partiellement éroder et les fragments et particules arrachés seront réintégrés dans les roches qui se forment et se déforment au rythme des collisions entre les plaques tectoniques qui composent la croûte terrestre.

Les Laurentides, que les géologues appellent la **province de Grenville**, est une ceinture de roches métamorphiques contenant de grands massifs de roches intrusives datant de 1,5 à 1,0 milliard d'années. Cette région représente ce qui reste d'une haute chaîne de montagnes, une sorte d'Himalaya de l'époque. C'est la dernière province géologique à s'être ajoutée au Bouclier. Ces roches forment le socle précambrien sur lequel vont se déposer plus tard les formations des Basses-Terres du Saint-Laurent.



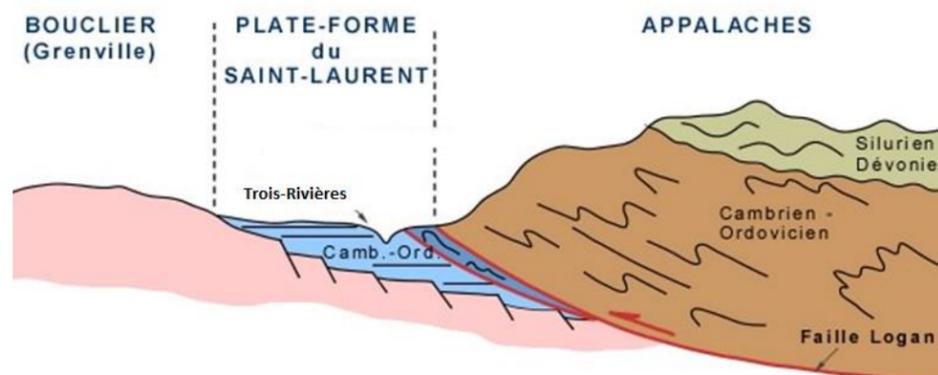
L'ÈRE DU PALÉOZOÏQUE : LA FORMATION DES BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT

Au tout début du **Paléozoïque**, il y a 544 millions d'années, le socle précambrien forme un massif au relief modéré qui s'érode progressivement. Une Amérique du Nord bien différente de celle qu'on connaît aujourd'hui, et que les géologues ont appelée **Laurentia**, se sépare graduellement des continents voisins à l'est pour laisser place à un nouvel océan appelé **Iapetus**. L'ouverture de cet océan provoque une succession d'invasions et de retraits d'eau de mer dans la région aujourd'hui couverte par le territoire du sud-ouest de la Mauricie, générant une suite de processus qui vont créer les roches sédimentaires des Basses-Terres du Saint-Laurent.



Les roches du socle précambrien sont ainsi initialement recouvertes par des sédiments grossiers provenant de l'érosion du socle et qui deviendront des **grès**. Ces premières formations sont à leur tour recouvertes par des sédiments chimiques fins d'origine marine, qui deviendront des **dolomies** et des **calcaires** qui se déposent au fond de l'eau, à une profondeur de plus en plus grande. Finalement, cette séquence sédimentaire est complétée par la déposition de sédiments fins argileux, qui deviendront des **shales**, qui constituent les dernières roches sédimentaires de la région.

Il y a environ 500 millions d'années, l'océan Iapetus commence à se refermer. La compression latérale des sédiments marins et de la croûte océanique soulève les roches du fond marin qui deviendront la chaîne des **Appalaches**. La région du sud-ouest de la Mauricie étant située à proximité de la collision continentale, les roches sédimentaires (à l'origine déposées en strates horizontales) ont été faiblement plissées, faillées et inclinées. Dans la région, ces contraintes ont atteint leur maximum il y a environ 460 millions d'années.



DU DÉVONIEN AU QUATERNAIRE : UN BOUT D'HISTOIRE PERDU

Pour la suite du Paléozoïque et toute l'ère Mésozoïque, l'histoire géologique de la région est fragmentaire. On suppose qu'un vaste océan recouvrait le sud du Québec et qu'il y a eu accumulation de calcaires, mais le retrait des mers et une longue période d'érosion ont effacé toutes les traces des processus sédimentaires qui ont pu se produire du Dévonien jusqu'au Quaternaire.

Âge (millions d'années)	Ère	Période	Événement dans le sud-ouest de la Mauricie		
Aujourd'hui	Cénozoïque	Quaternaire	- 10 000 ans : retrait de la mer de Champlain	Glaciations	
			- 11 800 ans : mer de Champlain		
			- 12 500 ans : début du retrait du glacier au Québec		
- 75 000 ans			- début de la dernière glaciation		
- 1,6	Mésozoïque	Tertiaire		Aucun dépôt préservé	
- 66,4					
- 144					
- 208		Crétacé	- Formation des Montérégiennes		
- 245		Jurassique			
- 286		Trias			
- 360	Paléozoïque	Permien		Aucun dépôt préservé	
- 390 Ma			Dévonien		- 310 Ma : 3 ^e phase de la formation des Appalaches
- 408					- 390 Ma : 2 ^e phase de la formation des Appalaches
- 438		Silurien			
- 505		Ordovicien	- 460 Ma : 1 ^{re} phase de la formation des Appalaches : déformation des roches sédimentaires et naissance du mont Covey Hill	Formation des Basses-Terres du Saint-Laurent	
- 544		Cambrien	- 540 Ma : ouverture de l'océan Iapetus	Construction des hautes terres des Laurentides et des Adirondacks	
- 2500	Précambrien	Protérozoïque		Formation des premiers noyaux continentaux	
			Archéen		

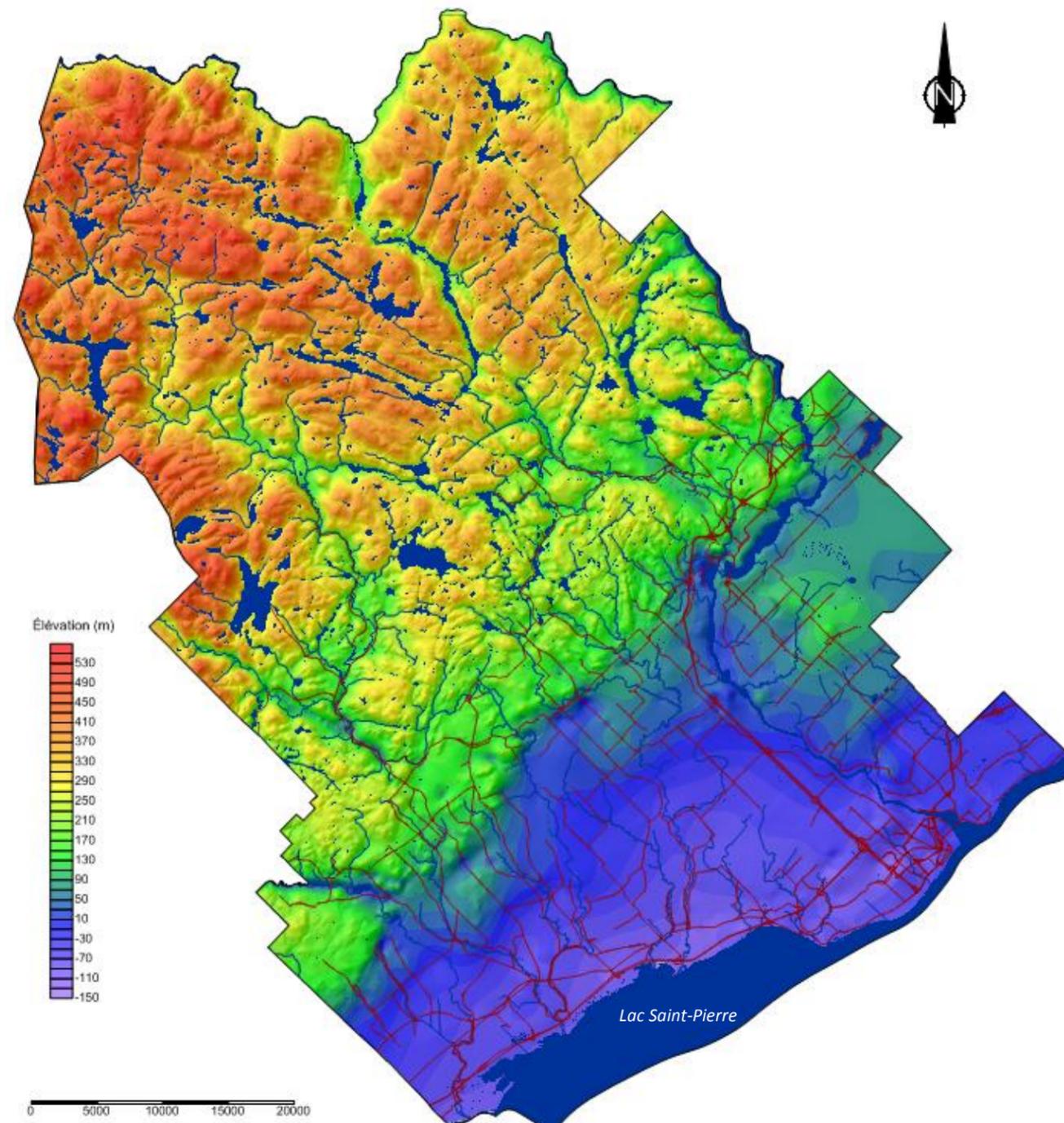
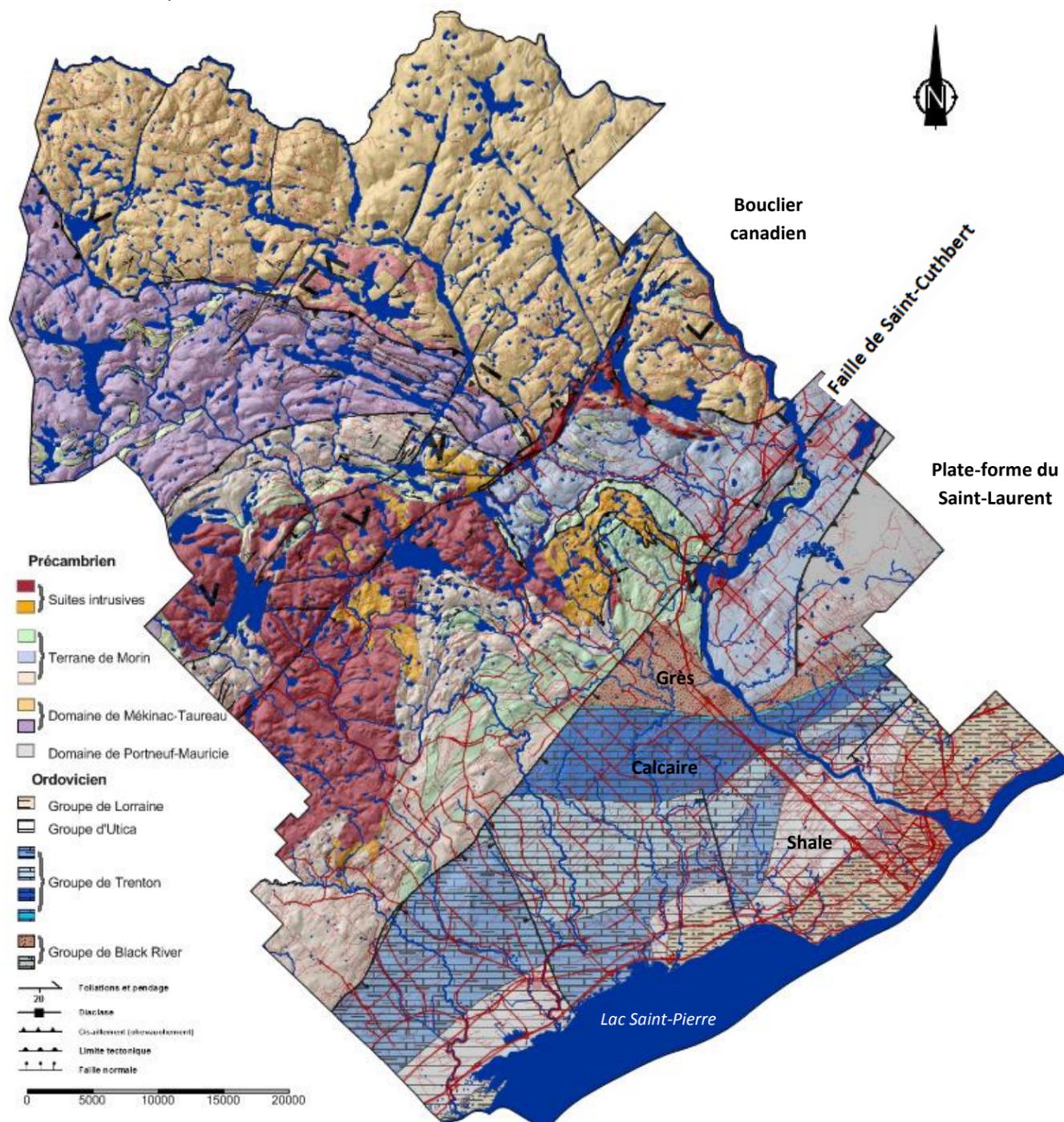
Source : Bourque (1997-2004)

GÉOLOGIE DU SOCLE ROCHEUX

Au sud-ouest de la Mauricie, la portion du socle rocheux qui est d'âge **Précambrien** ($\approx 1,5$ milliards d'années) occupe le **Bouclier** au nord du territoire à partir de la **faille de Saint-Cuthbert**. Il s'agit de roches ignées et métamorphiques telles que des gneiss et anorthosites. La portion du socle occupée par la **Plate-forme du Saint-Laurent** est représentée par des roches sédimentaires telles que des grès, calcaires et shales. Ces roches se sont formées en milieu marin au cours de l'**Ordovicien** (≈ 460 millions d'années).

TOPOGRAPHIE DE LA SURFACE DU SOCLE ROCHEUX

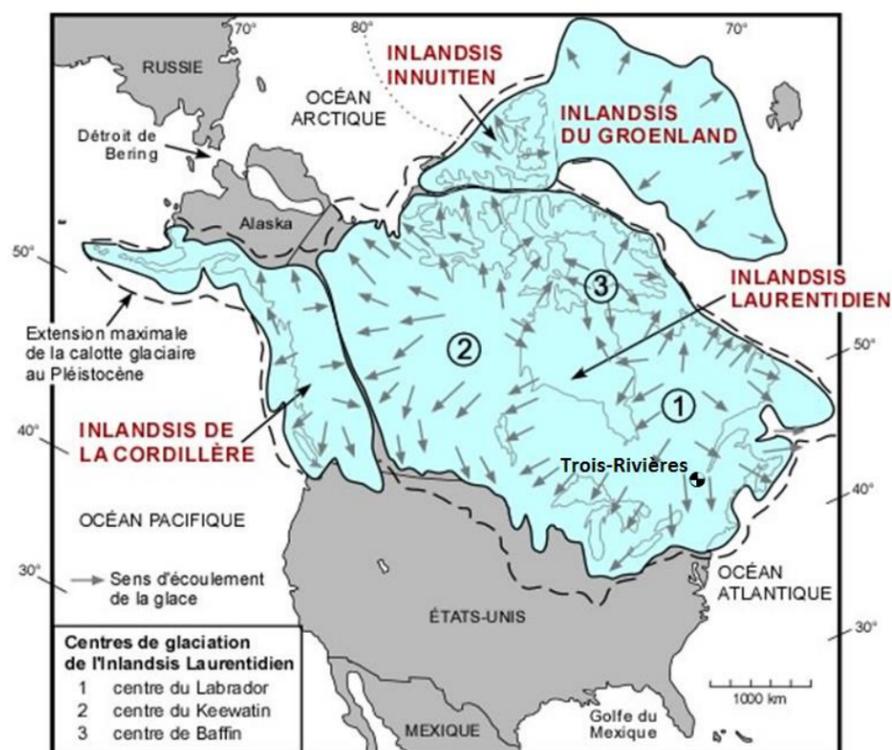
La **surface du socle rocheux** varie entre des altitudes de **-100 mètres** sous le niveau de la mer à 500 mètres au-dessus. Elle est caractérisée par des altitudes élevées et un relief accidenté dans la portion nord, alors que la surface du roc dans les Basses-terres est moins accidentée et de faible altitude. Le socle remonte du côté est de la rivière Saint-Maurice et sur la rive sud du Saint-Laurent. On observe également une série de dépressions du socle le long du tracé de la **faille de Saint-Cuthbert**.



HISTOIRE GÉOLOGIQUE RÉCENTE : LE QUATERNAIRE

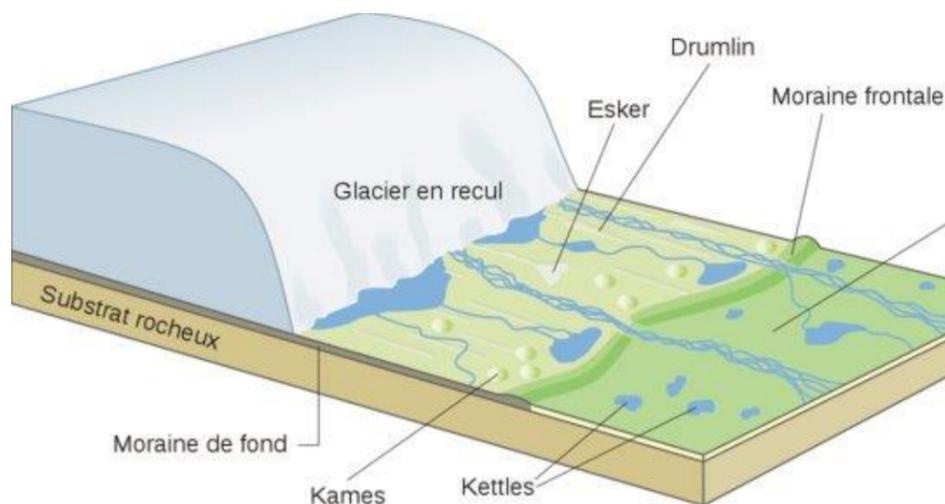
LE QUATERNAIRE : BEAUCOUP DE GLACE, BEAUCOUP D'EAU ET BEAUCOUP DE SÉDIMENTS!

Il y a eu **quatre périodes glaciaires** en Amérique du Nord pendant la période du Quaternaire, au cours des deux derniers millions d'années. Au Québec, la dernière glaciation a en partie effacé les traces des précédentes, sauf à Trois-Rivières où des sédiments antérieurs à la dernière glaciation ont été préservés jusqu'à 100 m de profondeur sous le niveau du fleuve. Au cours de la dernière glaciation, l'inlandsis Laurentidien atteignit son extension maximale il y a environ 21 000 ans (figure ci-dessous). Les glaciers ont commencé à se retirer du Québec il y a environ 13 000 ans. Pendant leur retrait, les Basses-Terres du Saint-Laurent ont été occupées par des lacs proglaciaires et par la mer de Champlain, qui a laissé derrière elle des dépôts marins constitués de sables fins et d'argiles marines qui recouvrent les dépôts laissés par les glaciers.



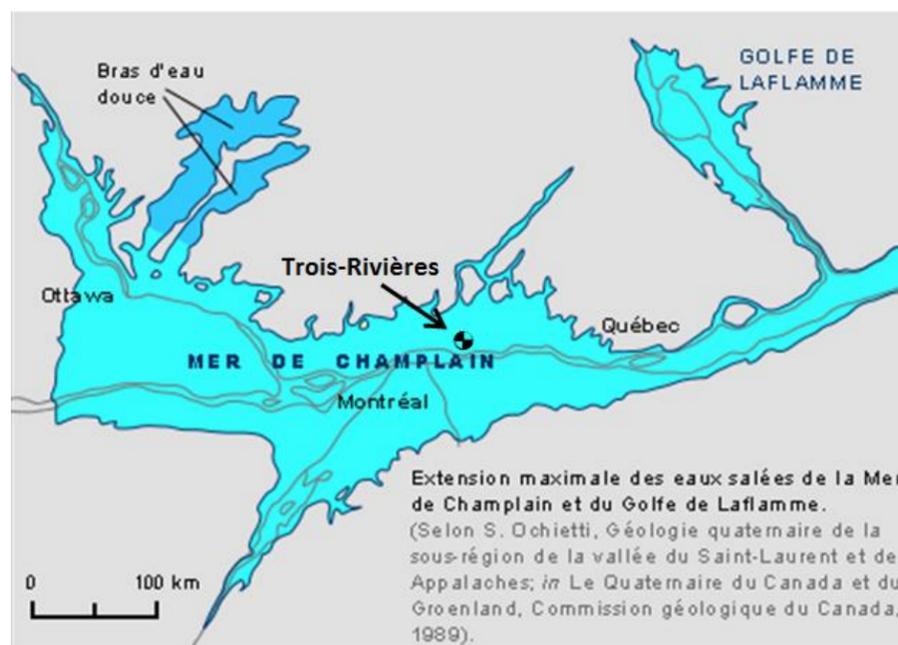
LE TILL ET LES SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES : L'HÉRITAGE DES GLACIERS

Le déplacement lent du glacier et la succession de gel/dégel qui s'effectue à sa base arrachent des matériaux au substrat rocheux et les redéposent sur place (**till de fond**, drumlin) ou aux marges du glacier (**moraines frontale et latérales**, till, blocs erratiques). Ces matériaux sédimentaires produits directement par l'action de rabotage de la glace sur la roche sont appelés **dépôts glaciaires** ou **moraines**. Par la suite, les eaux de fonte du glacier redistribuent ces matériaux sur la plaine d'épandage, et façonnent différentes formes de **dépôts fluvioglaciaires** (entre autres, les eskers).



LA MER DE CHAMPLAIN : UNE INVASION MARINE SUITE AU PASSAGE DU GLACIER

Le front de glace s'est progressivement retiré au nord de ce qui est aujourd'hui la vallée du Saint-Laurent. La dépression proglaciaire se trouvait sous le niveau de la mer et en contact avec l'océan, de sorte que les eaux salées marines ont envahi la région, donnant ainsi naissance à la mer de Champlain. Le principal héritage de la mer de Champlain est l'épaisse couche d'argiles marines qui recouvre le territoire au nord du lac Saint-Pierre.



Source : Bourque (1997-2004)

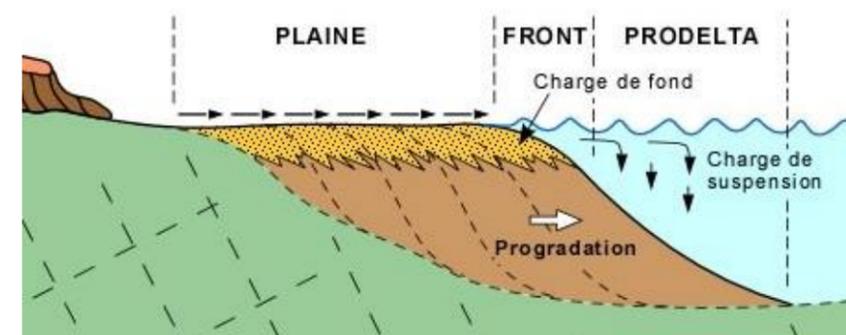
LA MORAINÉ DE SAINT-NARCISSE : UNE RÉAVANCÉE DU GLACIER EN MAURICIE

La **moraine frontale de Saint-Narcisse**, formée lors d'une réavancée glaciaire, a laissé en place une très grande quantité de dépôts qui forment une crête à proximité de la limite entre le Bouclier canadien et les Basses-Terres-du-Saint-Laurent.



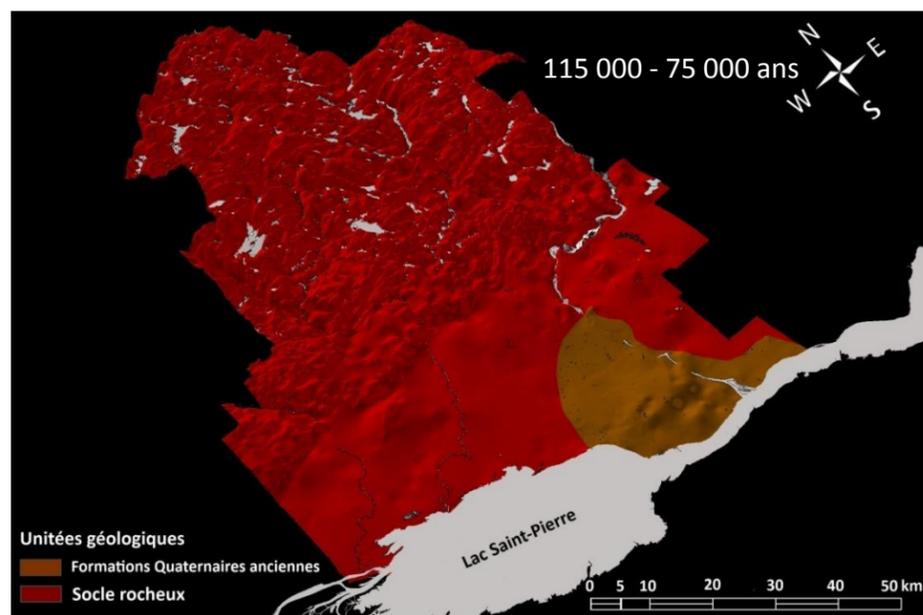
LE PALÉO-DELTA DE LA SAINT-MAURICE : SOURCE D'EAU POTABLE POUR DES MILLIERS DE PERSONNES

Pendant et suite au retrait du glacier, les eaux de fonte étaient canalisées dans la rivière Saint-Maurice qui devait alors avoir un débit dix fois supérieur à son débit actuel et charriait des tonnes de sédiments (silts, sables et graviers). Une fois parvenus dans les eaux calmes de la mer de Champlain, ces sédiments s'accumulaient, faute de courant suffisant pour les garder en suspension. Au fur et à mesure que la mer de Champlain s'est retirée, le front du delta s'est avancé vers le fleuve Saint-Laurent, alors que la rivière Saint-Maurice a érodé ses propres sédiments et les sédiments sous-jacents dans sa vallée principale. Ces dépôts très poreux se sont, par la suite, remplis avec les eaux provenant des précipitations et ils forment aujourd'hui le plus grand aquifère de la région.

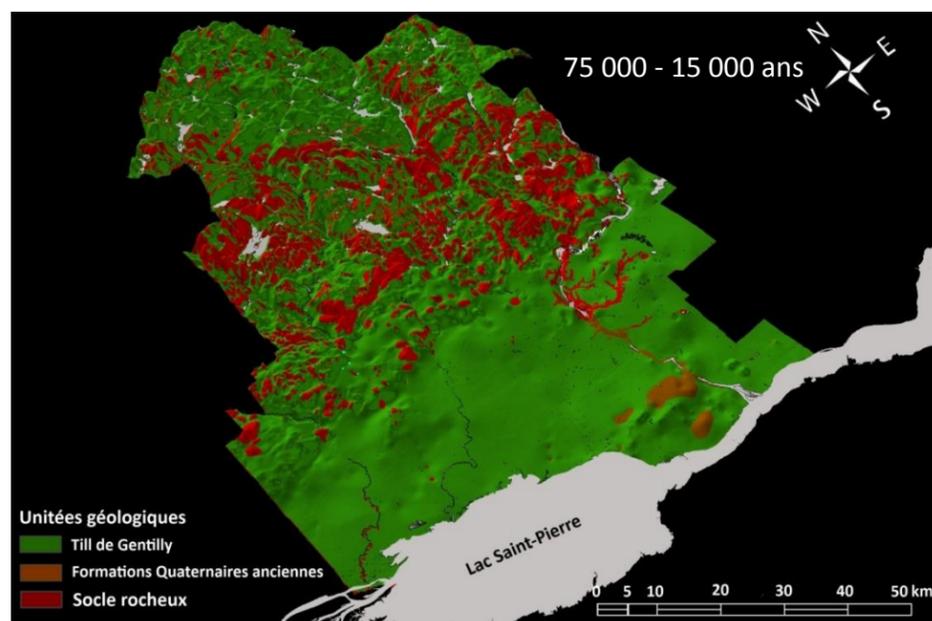


MODÈLE GÉOLOGIQUE TRIDIMENSIONNEL DE LA MAURICIE

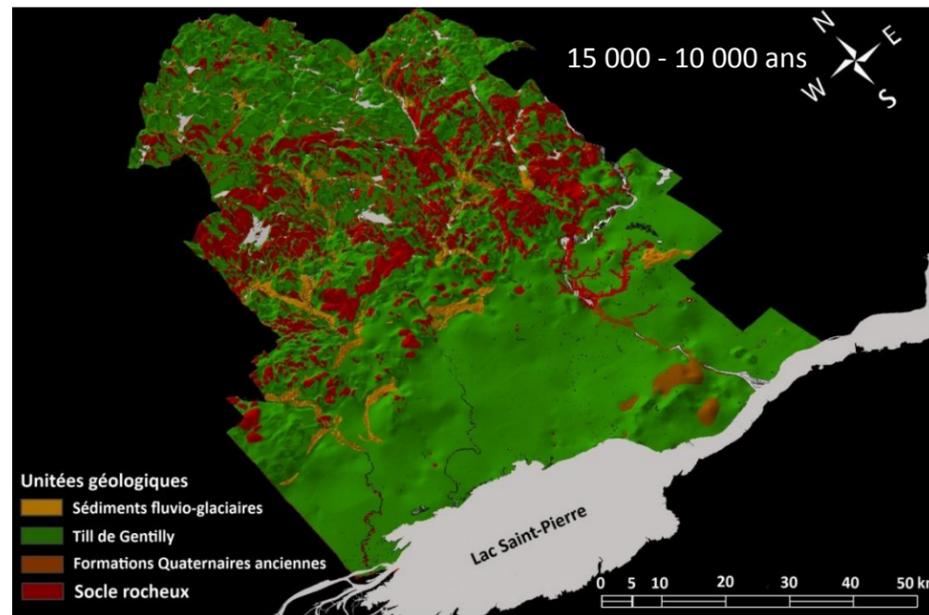
Dans le but de mieux comprendre la distribution des nappes d'eau souterraine, un **modèle géologique tridimensionnel à six couches** a été développé. Celui-ci représente la séquence de déposition des dépôts meubles entre 115 000 ans et aujourd'hui. La séquence débute à Trois-Rivières avec la mise en place des sédiments du **Quaternaire ancien** (en brun sur la figure ci-dessous) entre les deux dernières époques glaciaires, soit entre 115 000 et 75 000 ans.



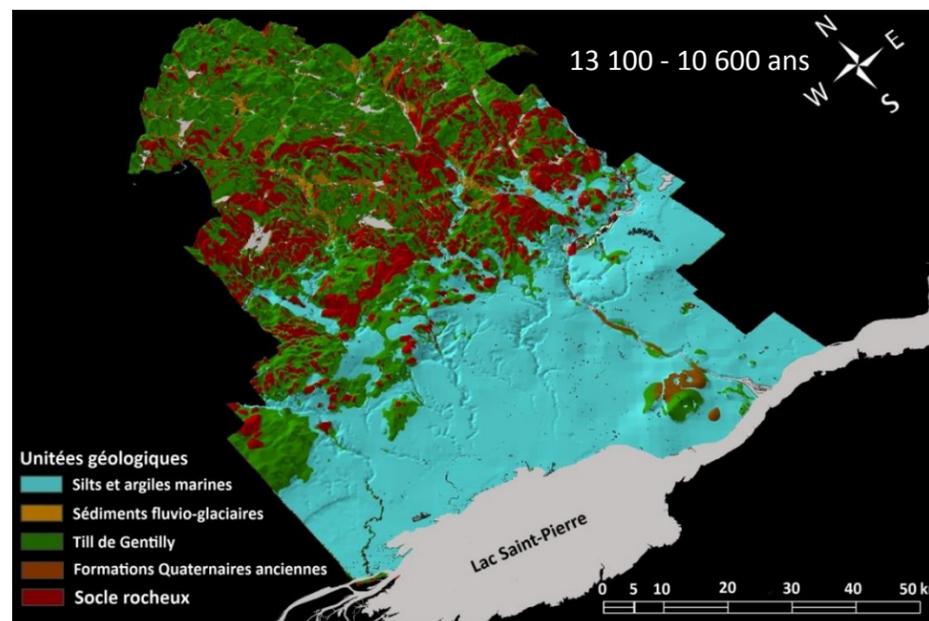
Entre 75 000 ans et 15 000 ans avant maintenant, le glacier a laissé en place une mince couche (<6 m) de till glaciaire (le **till de Gentilly**, en vert) formé de silt, de sable et de gravier.



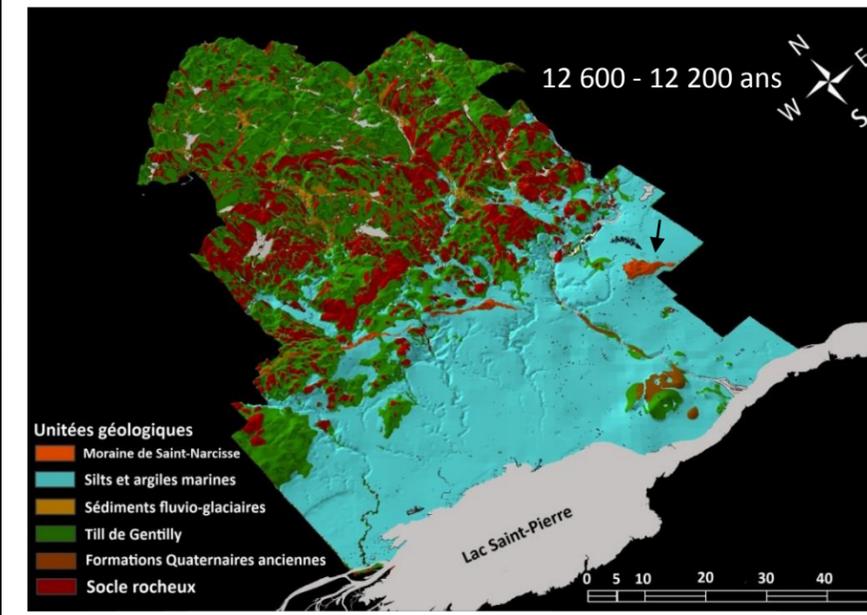
Certaines vallées et dépressions ont été remplies de **sédiments fluvio-glaciaires** charriés par des eaux de fonte et composés principalement de sable et de gravier.



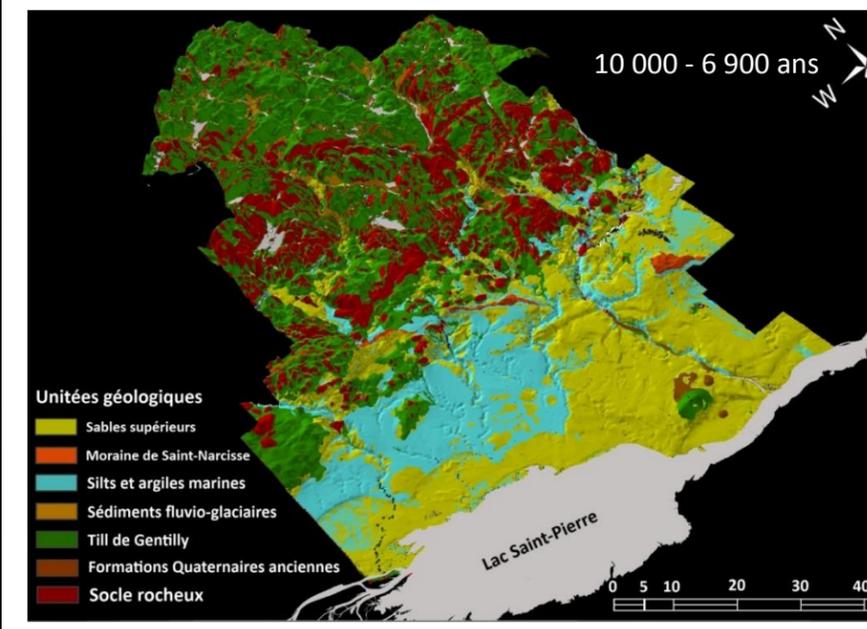
Entre 13 100 et 10 600 ans, la **mer de Champlain** a envahi la région jusqu'à l'élévation approximative de 220 mètres. Au cours de cette période, des sédiments fins composés de silt et d'argile ont été déposés (en bleu).



La **moraine de Saint-Narcisse** s'est formée au cours d'une réavancée du glacier. En Mauricie, la moraine s'est formée dans la mer, ce qui a permis de grandes accumulations de sable et de gravier (en orange), maintenant exploités par les nombreuses sablières du territoire.

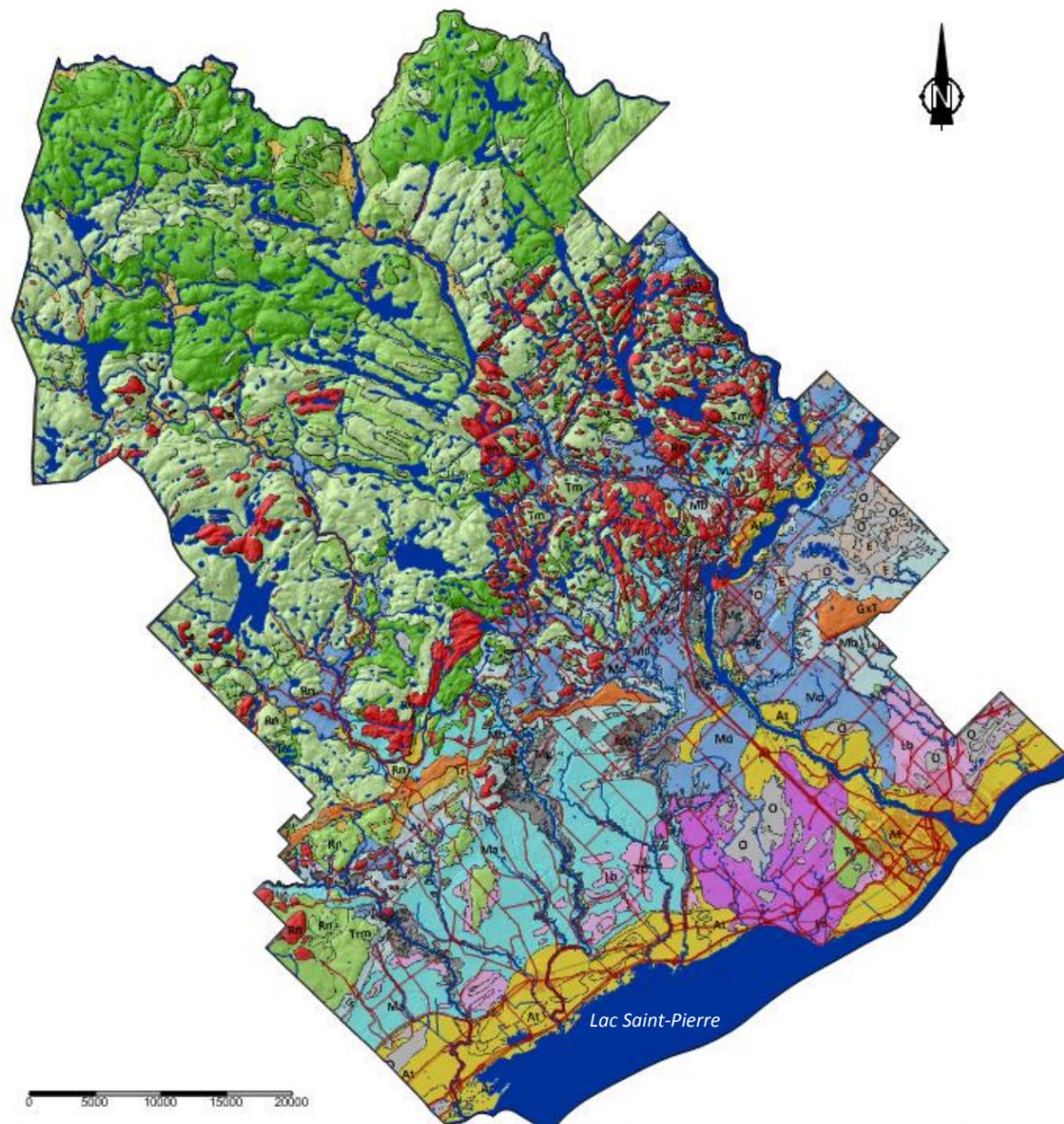


Les eaux de fonte provenant des principales vallées ont charrié des sédiments qui se sont déposés le long du **littoral** et dans des **deltas** (en jaune), le plus importante étant celui de la rivière Saint-Maurice.



GÉOLOGIE DES DÉPÔTS MEUBLES

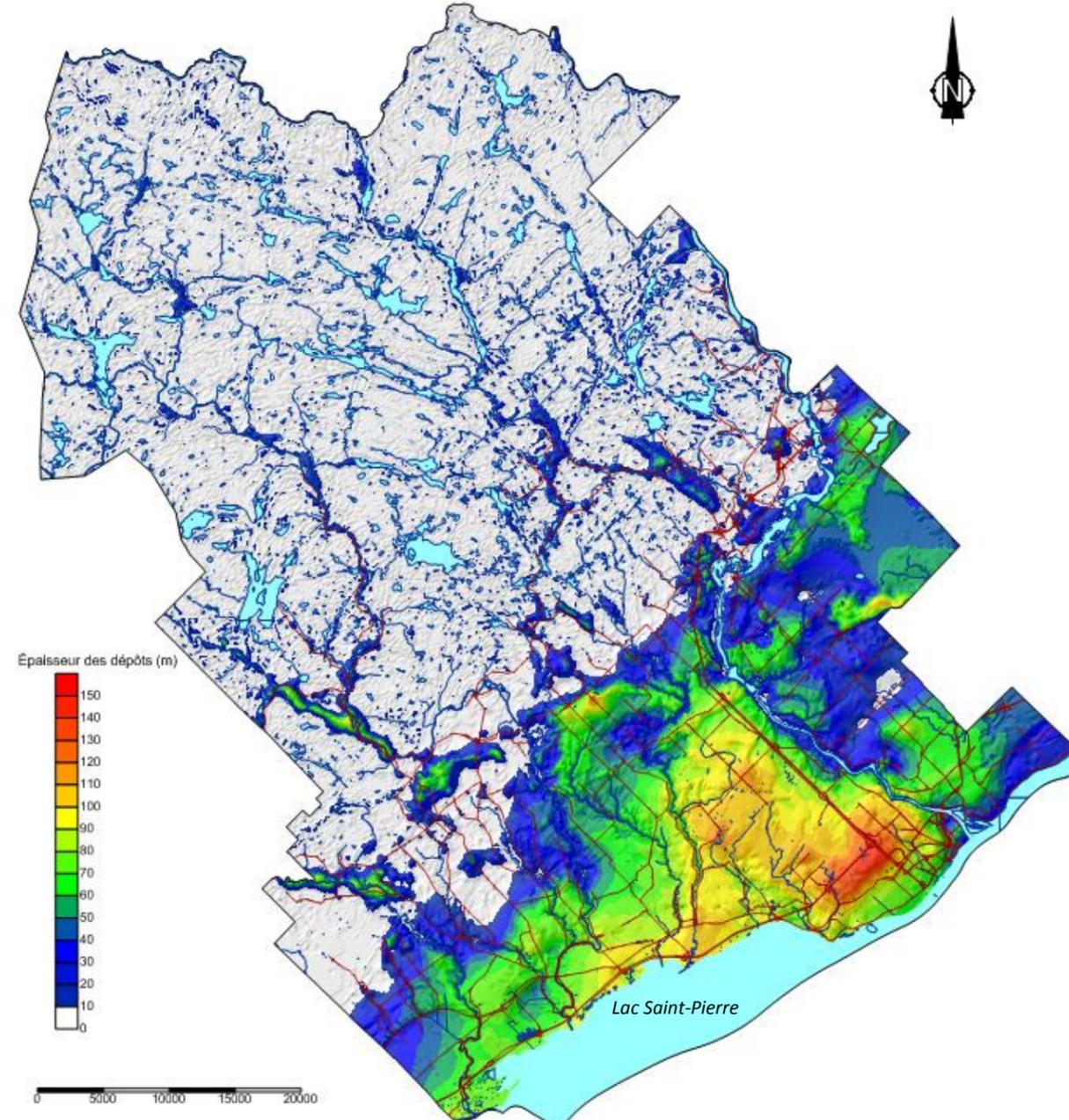
La carte ci-dessous présente la répartition des dépôts meubles sur le territoire à l'étude. La portion nord du territoire est surtout occupée par des affleurements rocheux et des dépôts glaciaires, alors que le sud du territoire est occupé par des sédiments marins et deltaïques. Les dépôts issus de la moraine de Saint-Narcisse délimitent approximativement ces deux portions de territoire.



Holocène		Wisconsinien supérieur		Sangamonien supérieur	
Ce	Dépôts d'éboulis	Md	Sédiments marins deltaïques	Tc	Till en couverture continue
O	Dépôts organiques	Mb	Sédiments marins littoraux	Tr	Till remanié
E	Sédiments éoliens	Ma	Sédiments marins fins d'eau profonde	Trm	Till remanié sur roc
Ap	Alluvions de terrasses fluviales	Go	Sédiments d'épandage proglaciaire	Tm	Till en couverture discontinue
At	Alluvions actuelles	Gx	Sédiments justaglaciers	Q	Formations non différenciées
Lb	Sédiments lacustres littoraux	GxT	Sédiments de la moraine de Saint-Narcisse	Rn	Roches précambriennes
Ld	Sédiments lacustres deltaïques				
Mg	Sédiments remaniés par glissement de terrain				

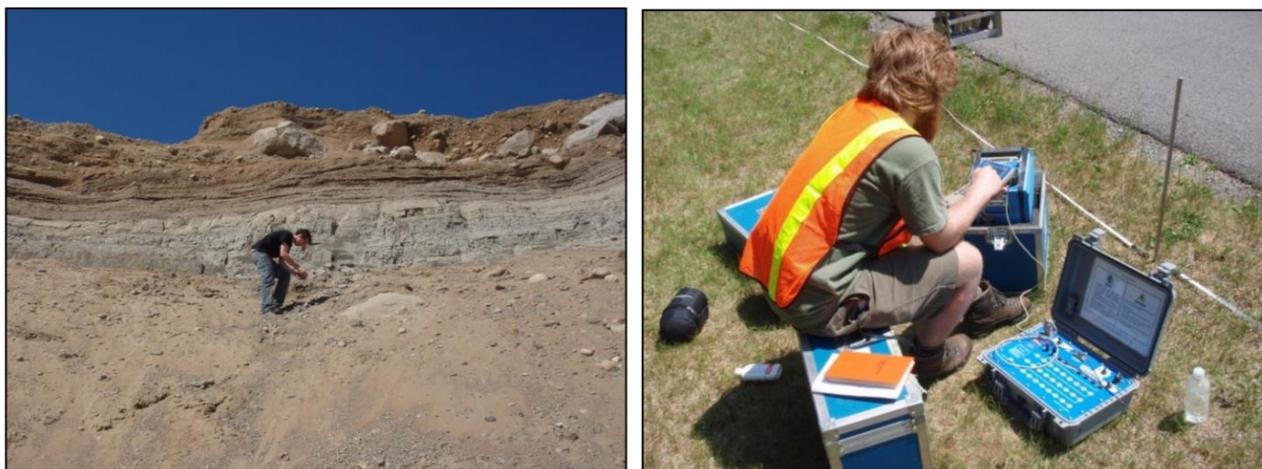
ÉPAISSEUR TOTALE DES DÉPÔTS MEUBLES

La carte ci-dessous présente l'épaisseur totale de dépôts meubles sur le territoire à l'étude. On observe que la couverture de dépôts possède une épaisseur qui varie de nulle à **150 mètres**. Les zones de couverture nulle à faible sont localisées sur le Bouclier canadien, alors que les plus fortes couvertures de dépôts meubles sont situées dans le secteur de Trois-Rivières, à la jonction des autoroutes 40 et 55. Cette figure met en évidence la forme du **paléo-delta**, surtout à l'ouest de la rivière Saint-Maurice. On observe aussi la forme de la **moraine de Saint-Narcisse** et les accumulations dans les **fonds de vallées** et à leur sortie.

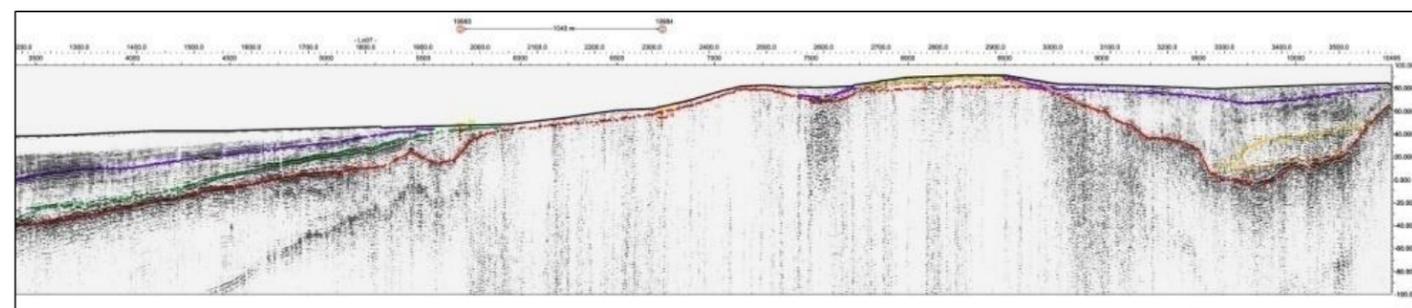


MÉTHODES UTILISÉES EN HYDROGÉOLOGIE

L'**hydrogéologie** est la science des eaux souterraines. La première étape de toute étude hydrogéologique consiste à effectuer la synthèse des données existantes. En Mauricie, les données de plus de **6 400 forages**, puits et piézomètres ont d'abord été compilées et intégrées dans un système d'information géographique. Des travaux sur le terrain ont ensuite été réalisés afin de combler les lacunes observées dans les connaissances régionales sur les eaux souterraines.



Les **sablères** (photo de gauche), les rives des cours d'eau et les bords de route sont des endroits privilégiés pour étudier les dépôts de surface, puisque ceux-ci y ont été érodés ou excavés. Les **méthodes géophysiques**, telle que les relevés de résistivité électrique (photo de droite), permettent d'explorer le sous-sol sans procéder à des forages. Ces relevés permettent de mesurer les variations des propriétés électriques du sol afin d'identifier les différentes unités géologiques présentes. En Mauricie, 75 relevés de résistivité électrique et 50 relevés de sismique réfraction ont été réalisés.



La **sismique-réflexion haute-résolution** permet d'obtenir des relevés qui représentent, en quelque sorte, une radiographie du sous-sol. Un camion vibreur (photo de gauche) émet des ondes qui sont réfléchies par les différentes unités géologiques (photo du bas) puis interceptées par des géophones (photo de droite). En Mauricie, **63 km de sismique-réflexion haute-résolution** ont été réalisés en collaboration avec la Commission géologique du Canada.



Les **forages** (photo de gauche), permettent d'analyser en détail les différentes unités géologiques, d'échantillonner des carottes de sédiments (photo de droite) et d'installer des puits d'observation. En Mauricie, **23 forages** ont été réalisés et plus de **400 échantillons de sédiments** ont été analysés afin de déterminer le diamètre moyen des particules.



L'eau souterraine provenant des puits d'observation, des puits municipaux et des puits domestiques peut être échantillonnée afin d'en mesurer la qualité. De plus, des mesures de niveau d'eau et des essais de pompage permettent d'évaluer le niveau régional de la nappe et la conductivité hydraulique du sous-sol. En Mauricie, **243 puits privés et municipaux ont été échantillonnés** afin de mesurer la qualité des eaux souterraines. Des essais hydrauliques et des mesures de niveau d'eau ont également été réalisés.

CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

LES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS

L'eau souterraine est l'eau qui se trouve sous la surface du sol et qui remplit les **porosités** du milieu géologique, c'est-à-dire les **fractures** et les espaces entre les grains, que ce soit dans le sol, les dépôts meubles ou le roc. Plus la porosité du milieu est élevée, plus il y a d'espace disponible pour emmagasiner de l'eau.

Notions d'aquifère et d'aquitard

On distingue un aquifère d'un aquitard (ou aquiclude) par la capacité d'une formation géologique à laisser circuler l'eau souterraine. On qualifie une formation d'**aquifère** lorsque celle-ci a la capacité de laisser circuler suffisamment d'eau pour qu'il soit possible d'y aménager un puits pour y capter l'eau souterraine. À l'inverse, un **aquitard**, bien qu'il puisse être saturé d'eau, n'est pas suffisamment perméable pour qu'il soit possible d'y aménager un puits. Il s'agit de barrières naturelles à l'écoulement qui permettent d'isoler un aquifère de la surface et ainsi le protéger.

AQUIFÈRES DANS LE SOCLE ROCHEUX

Les roches du sud-ouest de la Mauricie sont très vieilles et il ne subsiste peu ou pas de cavités (pores) inhérentes au dépôt d'origine. Seuls les **réseaux de fractures** qui entrecoupent le socle rocheux peuvent emmagasiner et laisser circuler de l'eau souterraine. L'aptitude de ces aquifères à libérer de l'eau dépend de la largeur de l'espace ouvert et de l'interconnexion entre les diverses fractures qui constituent le réseau.

Aquifère granulaire



Aquifère fracturé



AQUIFÈRES DANS LES DÉPÔTS MEUBLES

Les dépôts meubles possèdent généralement une porosité importante. Par exemple, un sable uniforme du paléo-delta de la Saint-Maurice peut renfermer jusqu'à 30% de son poids en eau. L'aptitude de ces aquifères à libérer de l'eau dépend de l'interconnexion entre les pores du sol, ainsi que de la hauteur d'eau mesurée à partir de la base de l'aquifère.

Les aquifères contenus dans le **paléo-delta de la rivière Saint-Maurice** sont des subdivisions de l'unique **aquifère granulaire d'extension régionale** en Mauricie. 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 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 présente dans le secteur de Trois-Rivières et Trois-Rivières-Ouest. Cette dernière est peu exploitée et peu de données sont disponibles sur celle-ci.

Les aquifères des **paléo-deltas des rivières Maskinongé et Yamachiche** sont également des aquifères granulaires, 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. 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 tirent leur approvisionnement en eau dans ces aquifères.

L'**aquifère de la moraine de St-Narcisse** 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 d'un aquifère à nappe captive dans ce segment.

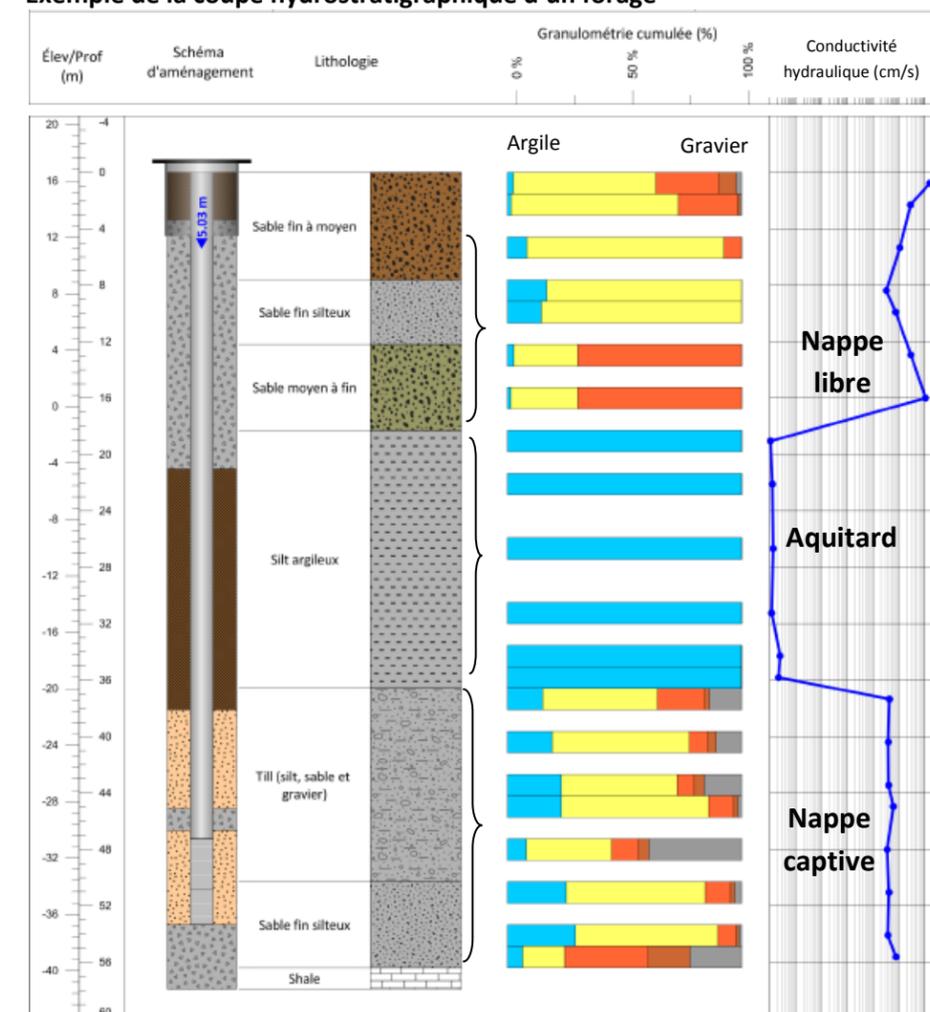
Les dépôts de la **faille de Saint-Cuthbert** sont des aquifères captifs qui résultent de l'accumulation de sédiments granulaires dans une série de dépressions du socle rocheux, observées le long de l'axe de la faille de Saint-Cuthbert. Ces aquifères ne sont pas exploités pour l'approvisionnement de 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** forment, quant à eux, des aquifères à nappe libre très minces qu'il n'est possible d'exploiter que par des puits citernes ou des pointes filtrantes. Ils ne sont pas exploités pour l'approvisionnement de réseaux d'aqueducs.

Notions de nappe libre et de nappe captive et semi-captive

On distingue un aquifère à nappe libre d'un aquifère à nappe captive selon que la surface de la nappe est sous pression ou non. Un exemple de **nappe libre** est une couche de sable saturée d'eau qui surmonte une couche d'argiles de la mer de Champlain (voir la coupe d'un forage ci-dessous). La hauteur d'eau qui serait mesurée dans un puits aménagé dans cette formation correspond à la hauteur d'eau saturée dans l'aquifère. Une **nappe captive** est, par exemple, une couche de sable saturée surmontée par une couche d'argile de la mer de Champlain. La hauteur d'eau qui serait mesurée dans un puits aménagé dans cette formation ne correspond pas à l'épaisseur réelle de l'aquifère.

Enfin, une **nappe semi-captive** est caractérisée par un aquifère qui est surmonté par une couche faiblement perméable ou encore par une couche imperméable de faible épaisseur.

Exemple de la coupe hydrostratigraphique d'un forage



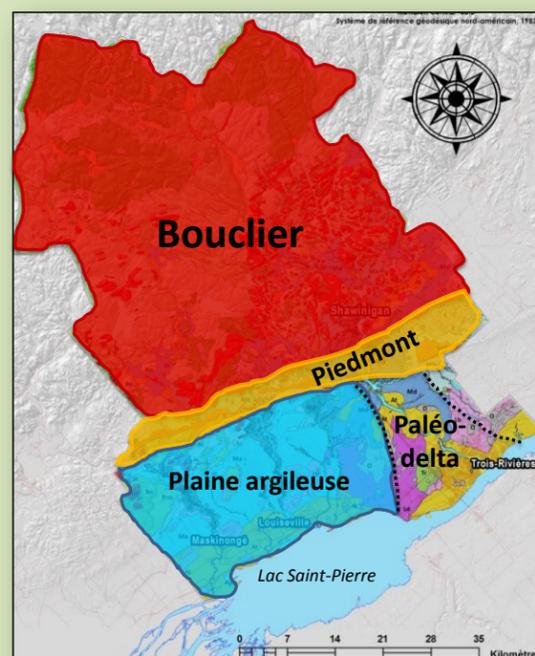
DESCRIPTION DES CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES

Les principaux contextes hydrogéologiques du sud-ouest de la Mauricie sont les suivants :

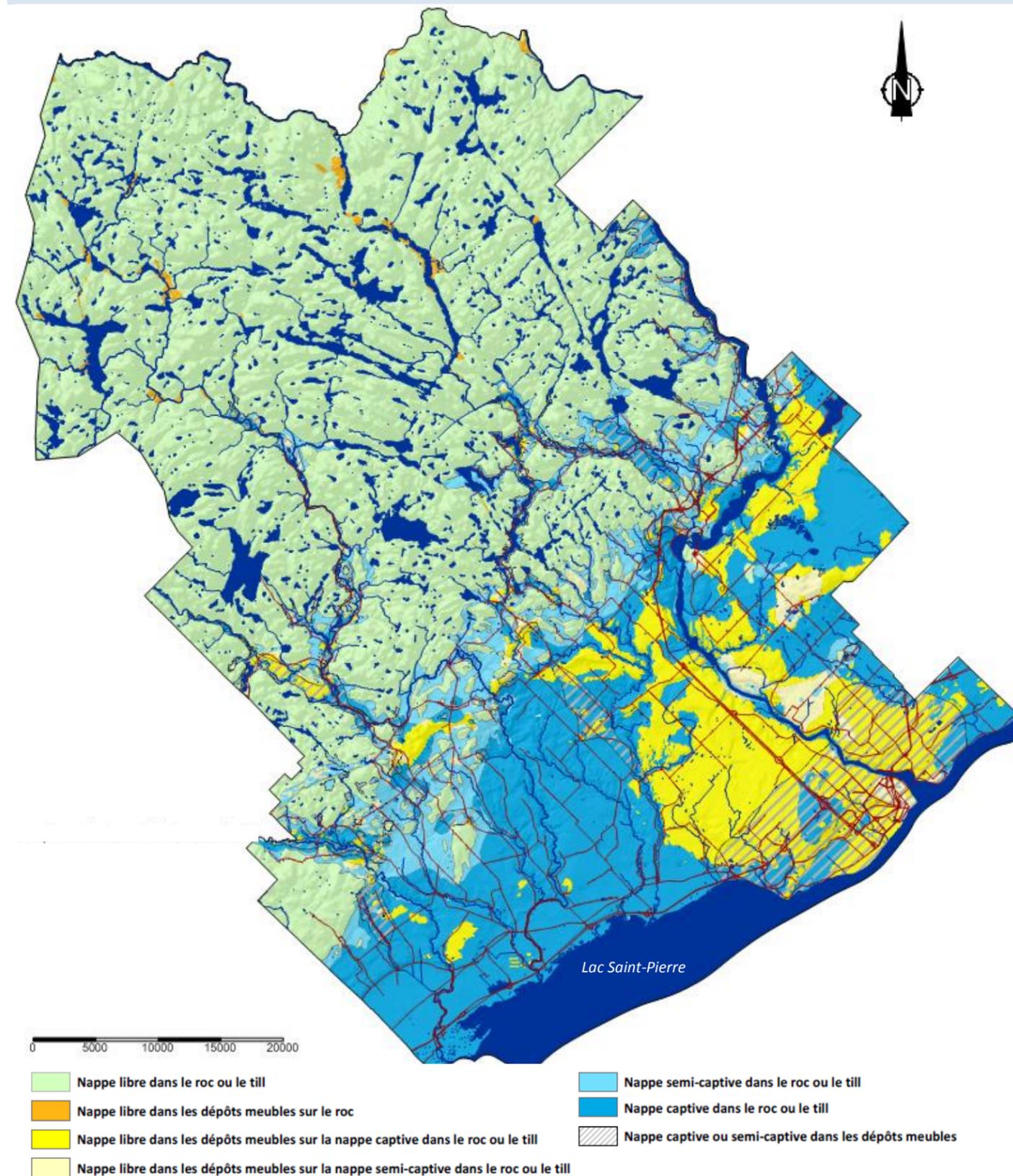
- Contexte de **nappe libre** dans lequel on retrouve uniquement le socle rocheux ou le socle rocheux recouvert d'une mince couche de till;
- Contexte de **nappe captive** ou semi-captive où le socle rocheux forme un aquifère recouvert par l'aquitard régional;
- Contexte de **nappe libre** dans lequel 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;
- Contexte de **nappe captive ou semi-captive** formée par les sédiments fluvio-glaciaires recouverts par l'aquitard régional et surmontant le socle rocheux;
- Contexte d'**aquifère double** composé d'une nappe libre dans les sables superficiels, de l'aquitard régional, puis d'une nappe captive ou semi-captive dans le socle rocheux;
- Contexte d'**aquifère double** composé d'une nappe libre dans les sables superficiels, de l'aquitard régional, puis d'une nappe captive ou semi captive dans les sédiments fluvio-glaciaires reposant sur le socle rocheux.

Le **plateau Laurentien** (Bouclier), au nord du territoire, est caractérisé par un 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 d'aquifères constituées 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 d'aquifère double composé d'une nappe captive dans les dépôts meubles, d'un aquitard et d'un aquifère à nappe libre en surface, tous isolés hydrauliquement les uns des autres, comme par exemple les aquifères exploités par la Régie d'Aqueduc de Grand-Pré.

Le **paléo-delta de la rivière Saint-Maurice** constitue quant à lui un aquifère à nappe libre d'extension régionale dans des contextes hydrogéologiques où il surmonte une épaisse couche d'argile sous laquelle se situe un aquifère dans les dépôts meubles ou dans le socle rocheux. 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 et les municipalités de Saint-Étienne-des-Grès, Saint-Boniface et Notre-Dame-du-Mont-Carmel. Enfin, en bordure Nord du lac St-Pierre, on retrouve généralement un contexte formé de nappe captive dans le socle rocheux. On y retrouve une grande **plaine argileuse** déposée par-dessus le till et les roches ordoviciennes, constituant un aquitard qui maintient captive une nappe d'eau fossilisée fortement minéralisée avec des accumulations de gaz naturel.



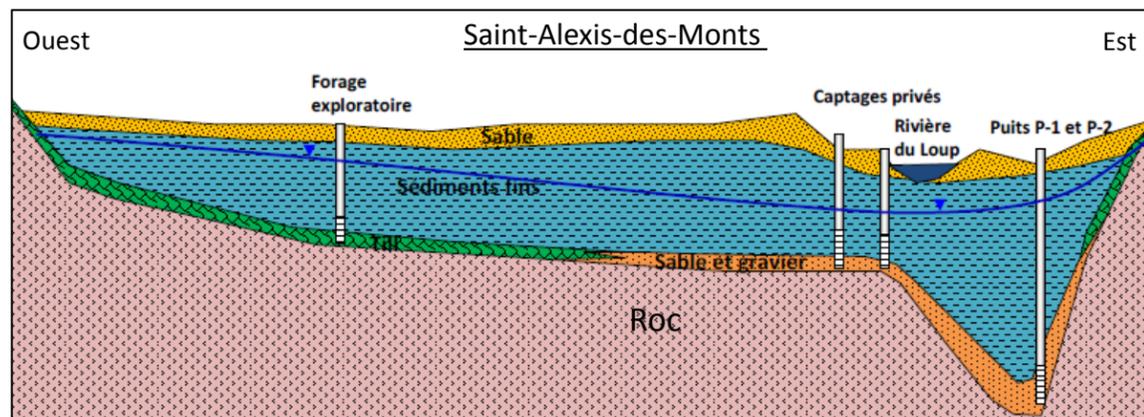
CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES



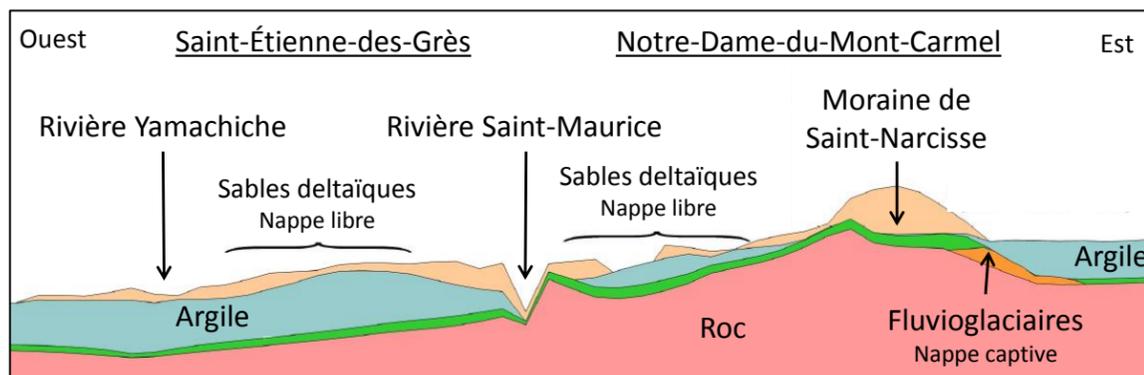
PROFILS HYDROSTRATIGRAPHIQUES

Les schémas ci-dessous et ceux de la page suivante illustrent quelques-uns des **contextes hydrogéologiques** de la Mauricie. La localisation des schémas est présentée sur la carte ci-contre. Ces schémas conceptuels illustrent le contexte régional, mais les conditions locales peuvent varier.

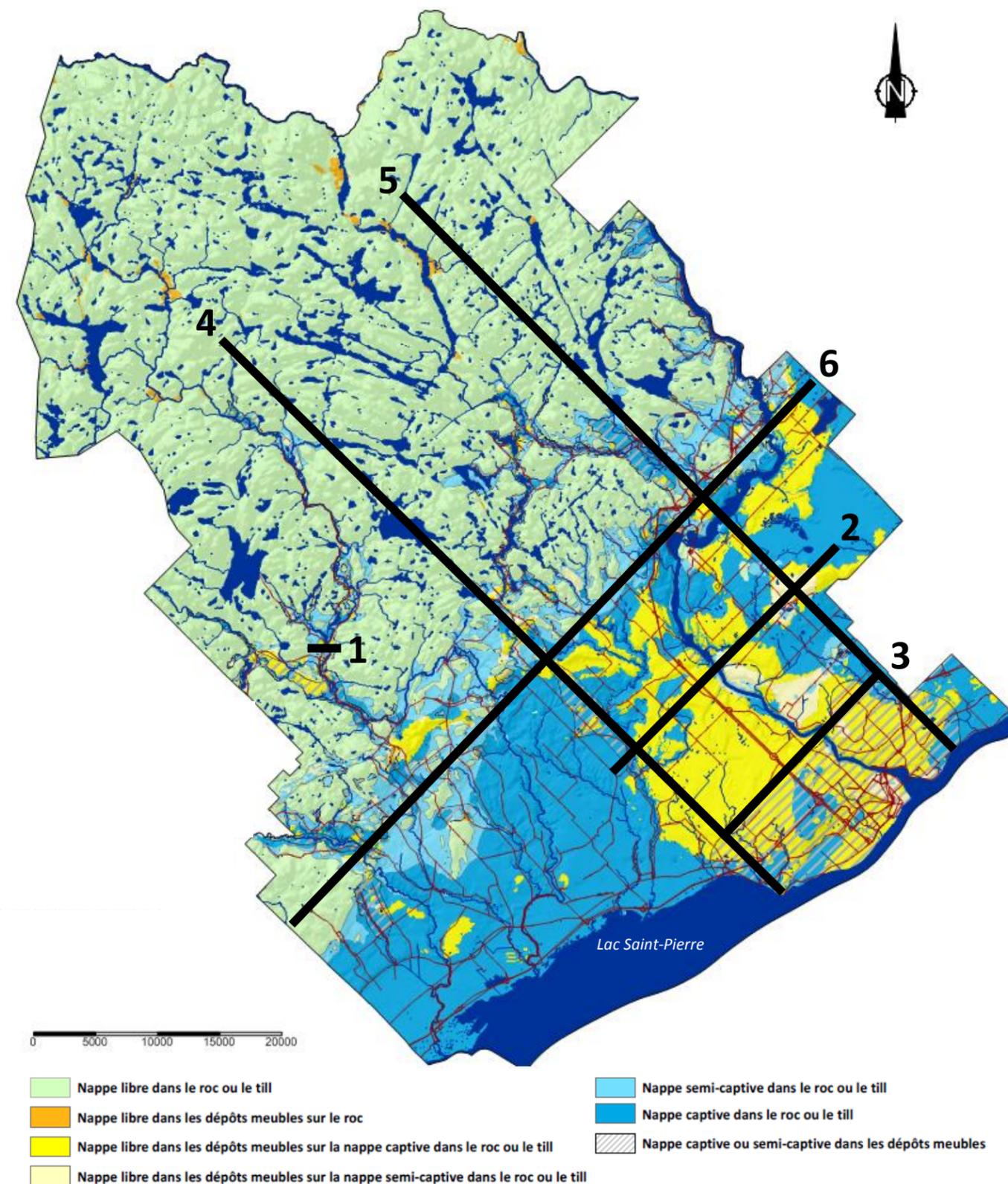
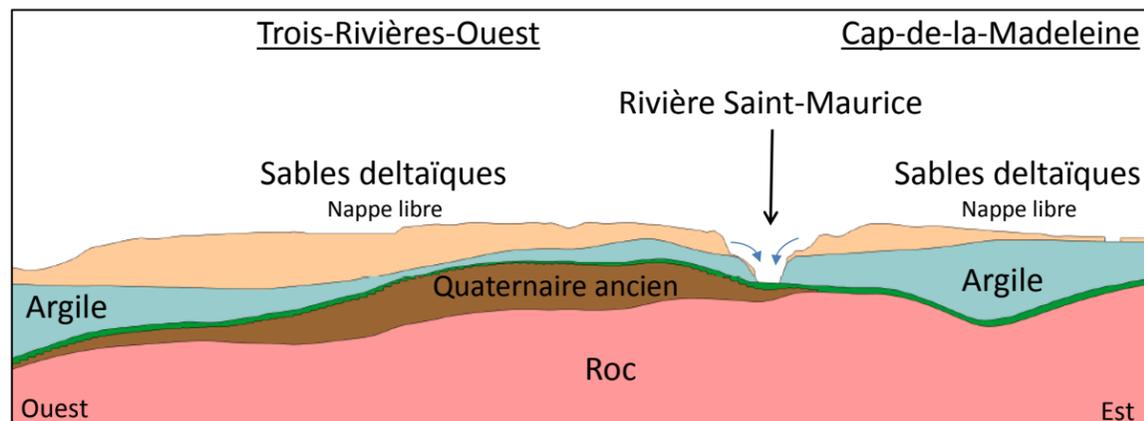
Profil 1. L'aquifère à nappe captive de **Saint-Alexis-des-Monts** dans la vallée de la rivière du Loup. Les vallées de la Maskinongé, la Yamachiche et la Shawinigan ont des aquifères similaires.

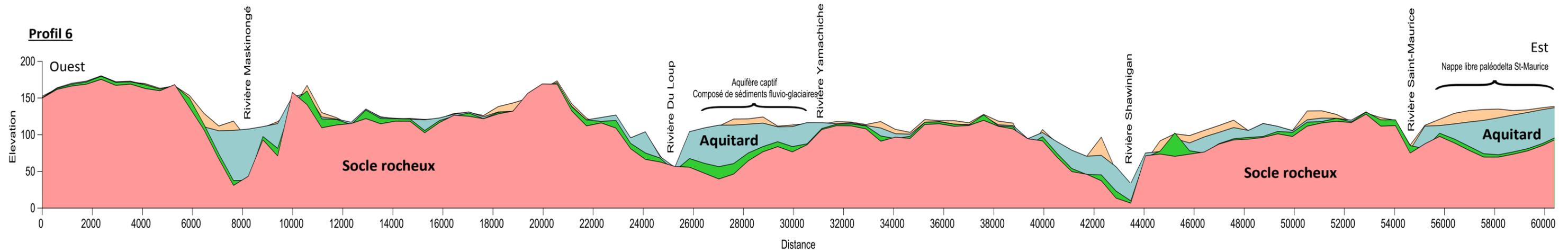
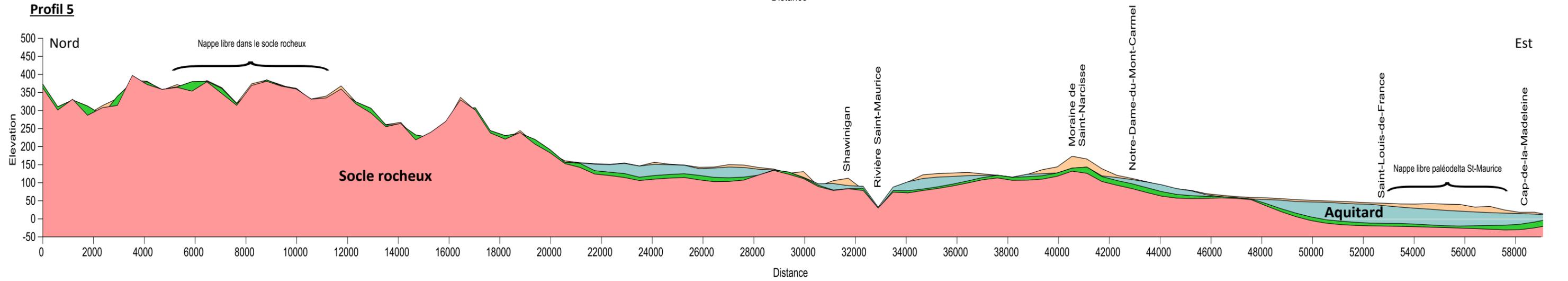
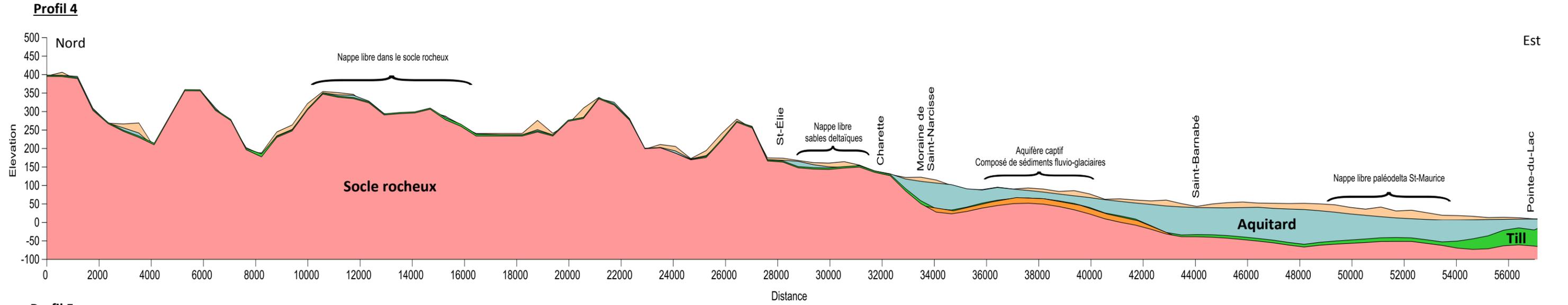


Profil 2. Les aquifères de Saint-Étienne-des-Grès et de Notre-Dame-du-Mont-Carmel.



Profil 3. Les aquifères du Cap-de-la-Madeleine et de Trois-Rivières.





ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS

La carte piézométrique ci-contre représente, en quelque sorte, une carte topographique des niveaux d'eau dans les nappes. Comme sur les pentes d'un sol, l'eau souterraine s'écoule dans une direction perpendiculaire aux courbes piézométriques. Pour aider à la compréhension de la carte, des flèches montrant le sens de l'écoulement souterrain ont été ajoutées. Celles-ci permettent d'observer que :

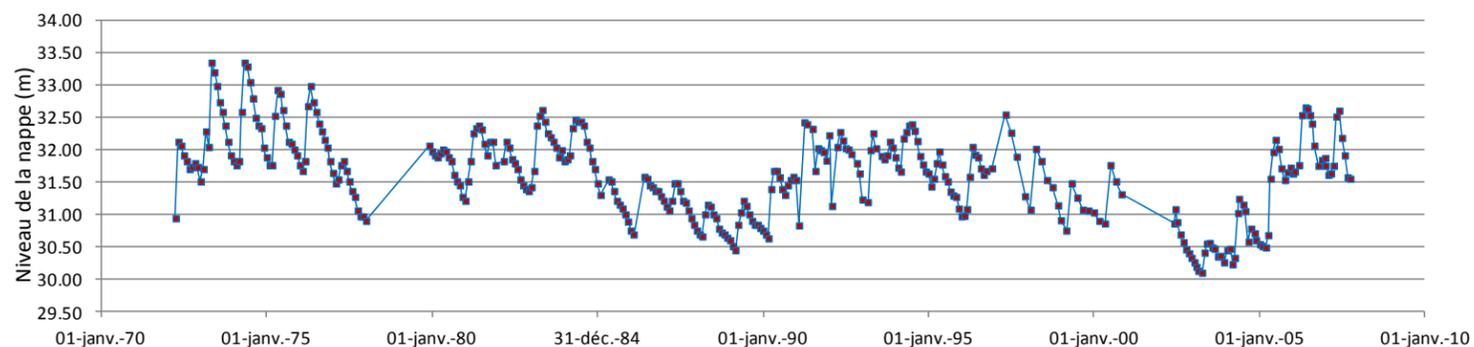
- Sur le territoire du **plateau Laurentien**, la surface des nappes comprises dans le socle rocheux est caractérisée par de fortes pentes et des directions d'écoulement variables qui correspondent avec les pentes du terrain;
- Sur le territoire du **paléodelta de la rivière Saint-Maurice**, la piézométrie 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, alors 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, alors que l'autre partie s'écoule vers le lac St-Pierre. Les gradients hydrauliques sur les nappes libres du paléo-delta sont très faibles, de l'ordre de 0,002;
- Enfin, sur le territoire de la **plaine argileuse**, la piézométrie épouse les formes du terrain avec une nappe presque égale au niveau du sol.

Les fluctuations naturelles des aquifères

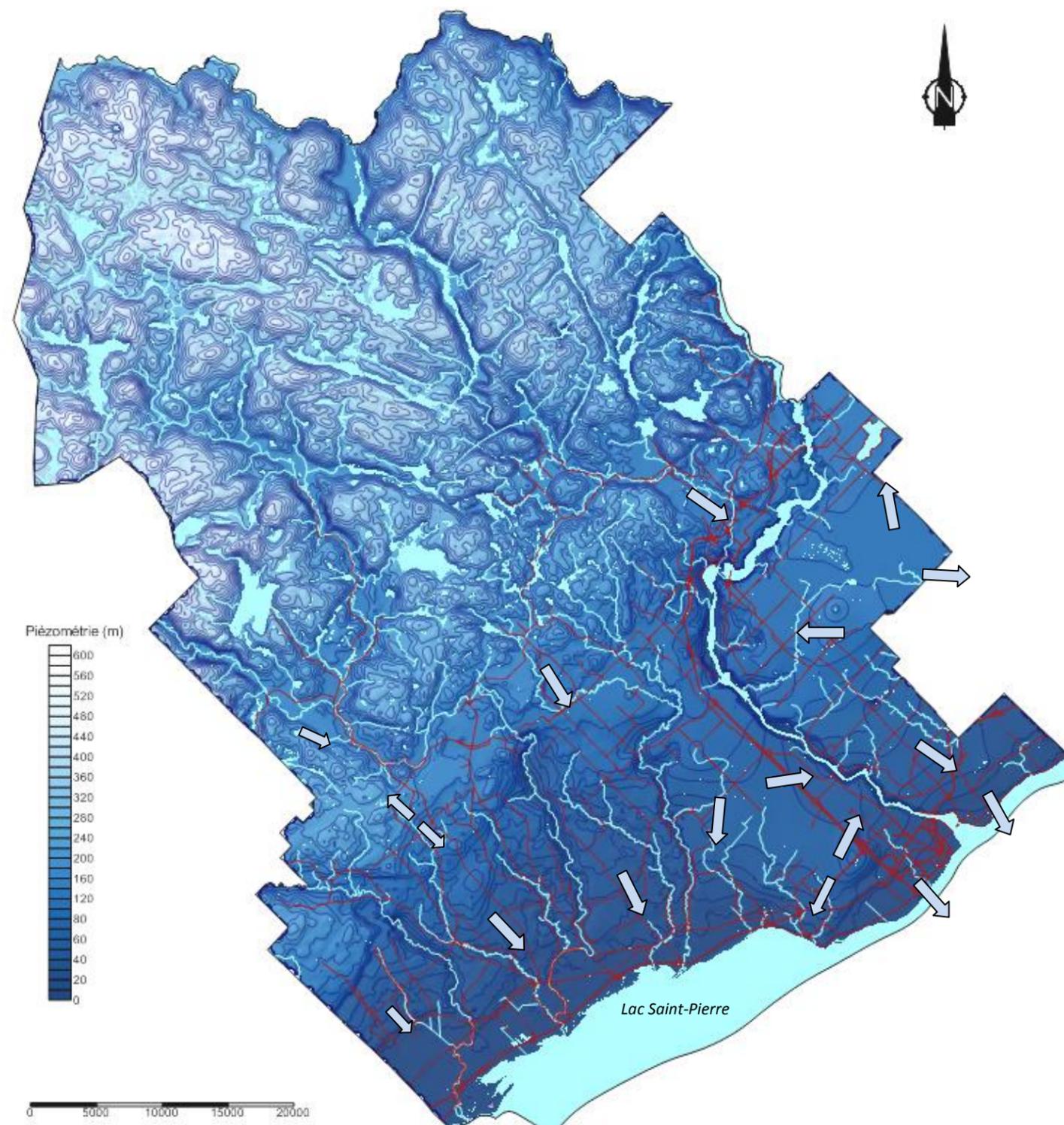
Les réseaux de suivi du niveau des nappes d'eau souterraine permettent d'évaluer les impacts à long terme des prélèvements d'eau et des changements climatiques sur les eaux souterraines.

Le graphique ci-dessous présente des mesures de niveaux d'eau effectuées pendant près de **quarante ans** dans la nappe d'eau souterraine du Cap-de-la-Madeleine. On y observe que les fluctuations annuelles de la piézométrie sont **de l'ordre de 1,5 m**. Typiquement, le niveau des nappes monte au printemps lors de la fonte des neiges, puis s'abaisse lentement jusqu'à la fin de l'été. Il amorce ensuite une remontée jusqu'à la période hivernale, où il redescend jusqu'au printemps suivant.

On observe également un **cycle de fluctuations de sept à huit ans** au cours duquel le niveau piézométrique peut fluctuer dans une enveloppe d'environ deux mètres.



PIÉZOMÉTRIE DES NAPPES LIBRES



PROCESSUS DE RECHARGE ET DE RÉSURGENCE DES EAUX SOUTERRAINES

Les nappes d'eau souterraine sont constamment en écoulement, sauf quelques exceptions situées dans les nappes captives profondes où l'eau peut demeurer stagnante des dizaines de milliers d'années et s'enrichir en sels et minéraux. Dans les nappes libres et les nappes captives de petites dimensions, les aquifères sont constamment **rechargés par l'infiltration des précipitations** dans le sol. Au terme de leur parcours souterrain, les nappes d'eau font **résurgence** en surface pour contribuer au débit des cours d'eau superficiels. Ces zones de résurgence sont parfois diffuses et se traduisent par la formation de milieux humides ou de têtes de ruisseaux situés en pied de talus ou d'exfiltrations directement au fond des cours d'eau. Quelquefois, les nappes d'eau souterraine font résurgence en un point très spécifique et forment une source.



Résurgences d'eau souterraine (Mont-Carmel à gauche et St-Élie à droite)

Une étude du bilan hydrique des bassins versants du sud-ouest de la Mauricie a permis de déterminer que 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. Sur les bassins versants, le pourcentage des précipitations contribuant à la recharge des aquifères varie de 13 à 29%. 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.

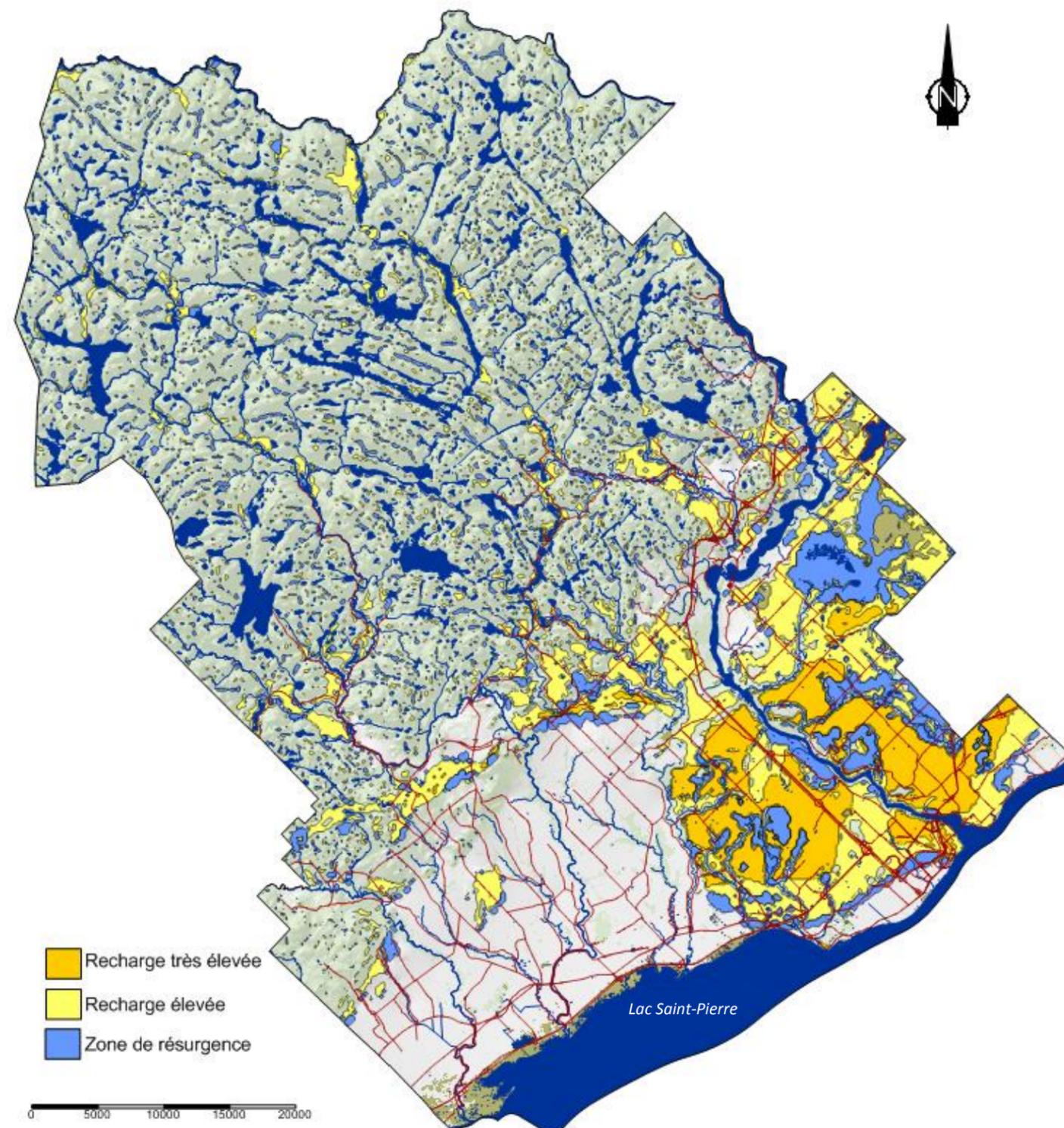
Quels sont les facteurs qui influencent la recharge des aquifères ?

Plusieurs facteurs influencent la recharge des aquifères dont les suivants :

- La quantité annuelle de précipitations qui atteint le sol
- Les températures minimale et maximale
- Le type de sol et son degré d'imperméabilisation
- Le type de végétation qui occupe le territoire
- La pente du terrain

Il est difficile de quantifier la recharge, puisqu'il n'existe pas de méthode directe de mesure. Il faut donc procéder par recoupement de plusieurs méthodes de calcul. On peut, par exemple, calculer le taux de recharge par unité de surface d'un bassin versant à l'aide d'une formule qui tient compte des facteurs mentionnés ci-dessus et, par la suite, valider ce calcul avec le débit mesuré dans le cours d'eau après quelques jours sans pluie. Ces mesures demeurent toutefois imprécises et sont utilisées afin de calculer des valeurs moyennes, puisque la variation temporelle des événements climatiques est importante.

AIRES DE RECHARGE ET DE RÉSURGENCE DES EAUX SOUTERRAINES



QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

L'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

Au cours du projet de caractérisation des eaux souterraines du sud-ouest de la Mauricie, **243 échantillons d'eau** ont été prélevés. Les prélèvements ont été effectués dans des ouvrages de captage municipaux et résidentiels. Des puits forés ont été échantillonnés, ainsi que des puits-citernes (puits de surface), des pointes filtrantes et des résurgences captées.



Travaux d'échantillonnage d'eau souterraine

Les échantillons étaient prélevés selon une méthodologie commune à tous les projets d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines. Ils étaient ensuite conservés dans une glacière pendant leur transport vers les laboratoires spécialisés dans les analyses d'eau.

LES TYPES D'EAUX SOUTERRAINES ET LEUR ÂGE

Les eaux souterraines de type **bicarbonaté-calcique** 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.

L'**âge des eaux souterraines** peut être estimé à l'aide d'isotopes. Ceux-ci sont des atomes « anormaux ». Par exemple, un atome normal d'oxygène possède 16 électrons. Un atome d'oxygène qui en possède 18 est donc anormal : c'est un isotope. Les isotopes sont souvent instables. Plus le temps avance et plus leur quantité diminue. Ainsi, si on connaît la quantité d'un isotope dans les eaux de pluie, on peut alors comparer un échantillon d'eau souterraine avec cette référence et, en fonction de la diminution du rapport entre les isotopes normaux et anormaux, il sera possible de déterminer le **temps de résidence** de l'eau à l'intérieur du sous-sol, c'est-à-dire son âge approximatif. Les isotopes peuvent aussi être utilisés afin de déterminer l'**origine** de certaines composantes de l'eau. Les isotopes les plus utilisés sont le tritium, le deutérium, le carbone 14 et l'azote 15.

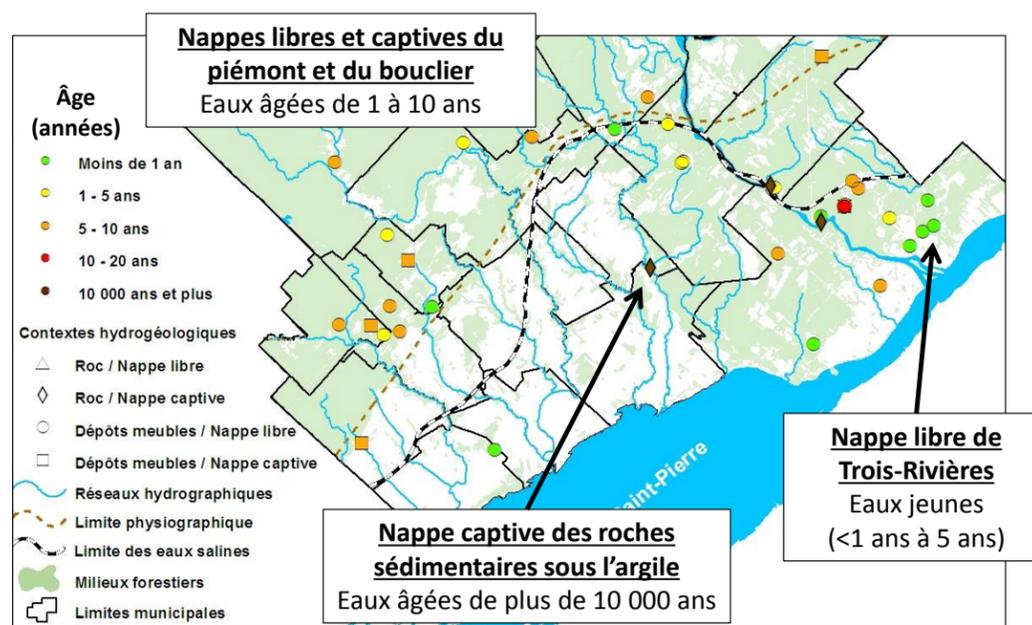
LA RÉGLEMENTATION

Au Québec, le **Règlement sur le captage des eaux souterraines** stipule que tout nouveau puits, destiné à l'alimentation en eau potable de vingt personnes et moins, doit faire l'objet d'un permis municipal. Le nouveau puits doit être muni d'une collerette étanche si le roc est rencontré à moins de 5,5 mètres de profondeur, son tubage doit excéder le sol d'au moins 30 cm et être muni d'un couvercle étanche. Il s'agit de mesures minimales de protection afin d'éviter la contamination du puits. Le règlement stipule également que le puits doit faire l'objet d'un essai de débit d'au moins 30 minutes et doit faire l'objet d'un échantillonnage pour fins d'analyses dans un laboratoire accrédité dans un délai de 30 jours après sa construction. Quant aux puits qui desservent plus de 20 personnes ou dont le débit moyen est supérieur à 75 m³/jour, ceux-ci doivent faire l'objet d'une demande d'autorisation au ministère, accompagnée d'une étude hydrogéologique.

Il existe **deux types de normes** concernant l'eau potable, soit les **concentrations maximales acceptables (CMA)** et les **objectifs esthétiques (OE)**. Les concentrations maximales acceptables sont des recommandations qui visent à éviter des risques pour la santé humaine. Par exemple, dans le cas des fluorures, les concentrations doivent être ≤ 1,5 mg/L. Les objectifs esthétiques sont des recommandations d'ordre esthétique pour les paramètres susceptibles d'influencer l'acceptation de l'eau potable par les consommateurs, comme le goût, l'odeur et la couleur. Par exemple, dans le cas du fer, les concentrations doivent être ≤ 0,3 mg/L.

LA QUALITÉ DES AQUIFÈRES EN BREF

- 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 µS/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 paléo-delta 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 dans les aquifères de fond de vallées du Bouclier et principalement dans l'aquifère à nappe libre du paléo-delta 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 10 000 ans** dans la nappe captive du socle rocheux Paléozoïque enfouis sous les argiles de la mer de Champlain.



PROBLÉMATIQUES DE QUALITÉ D'EAU

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 quantités excessives de bactéries coliformes totales, des bactéries coliformes d'origine fécale, des bactéries *E. coli*, des bactéries entérocoques et des bactéries atypiques sont **attribuables à l'activité humaine** (présence d'éléments épurateurs individuels ou autres sources de bactéries, mauvais entretien) combinée soit à la vulnérabilité élevée de l'aquifère (nappe libre, matériau de surface perméable, taux de recharge élevé, etc.) ou 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. Les bactéries atypiques ne sont quant à elles pas nocives, mais un trop grand nombre peut empêcher le microbiologiste d'identifier les autres types de bactéries présents dans un échantillon.

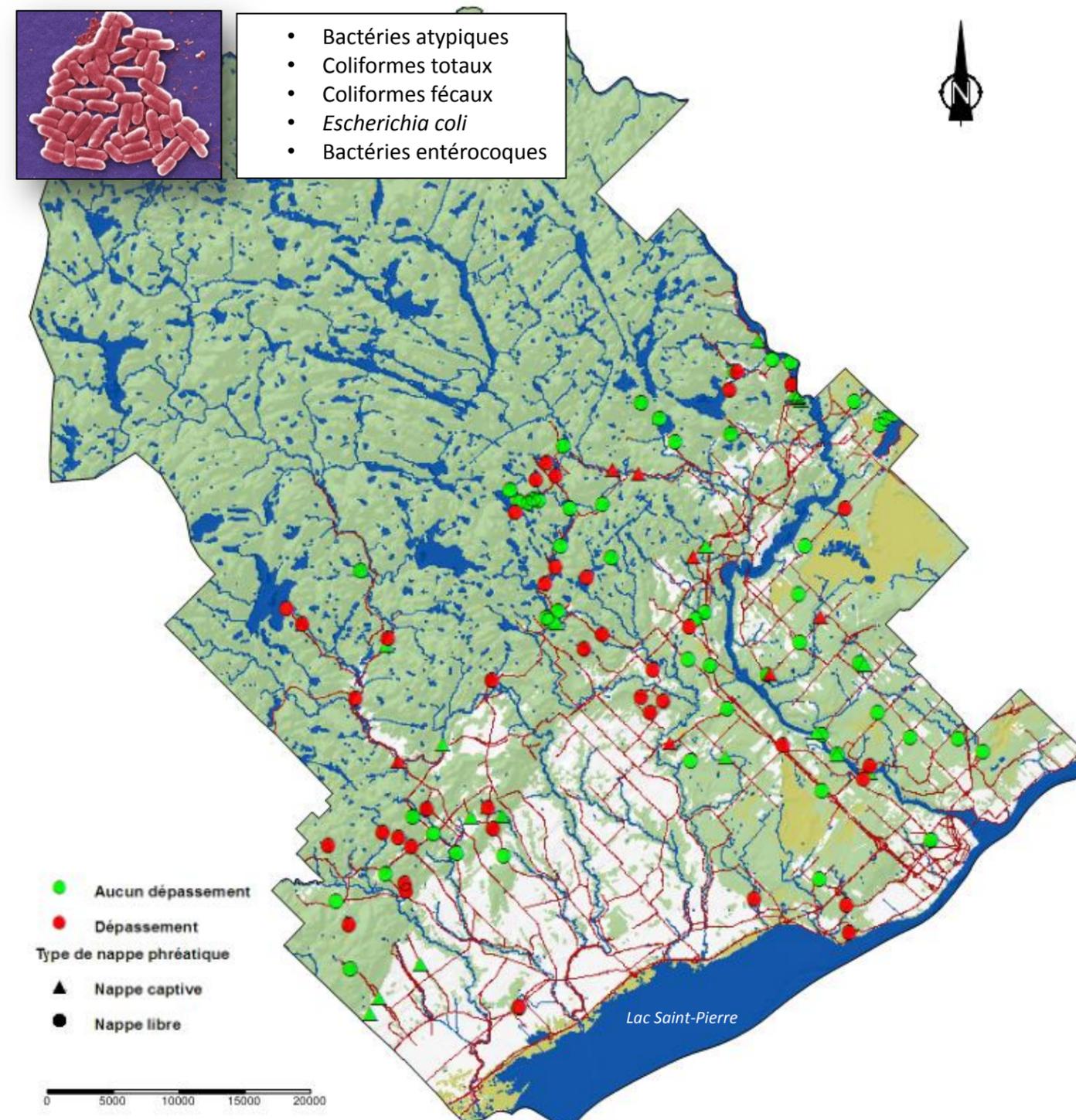


Exemples de puits vulnérables à la contamination microbiologique

Étant donné l'étendue de la problématique liée aux bactéries dans les eaux souterraines, les populations qui prennent leur eau potable à partir d'ouvrages individuels de captage devraient être sensibilisées aux pratiques suivantes :

- S'assurer que leur puits excède le sol pour éviter les infiltrations d'eau de surface directement dans le puits;
- Procéder à l'échantillonnage pour fins d'analyses, au moins une fois par année (coliformes et nitrates);
- Procéder à la désinfection de l'ouvrage de captage au moins une fois par année;
- S'assurer que l'élément épurateur individuel est adéquat et fonctionne correctement;
- Éviter la présence d'animaux domestiques à proximité du puits.

QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES



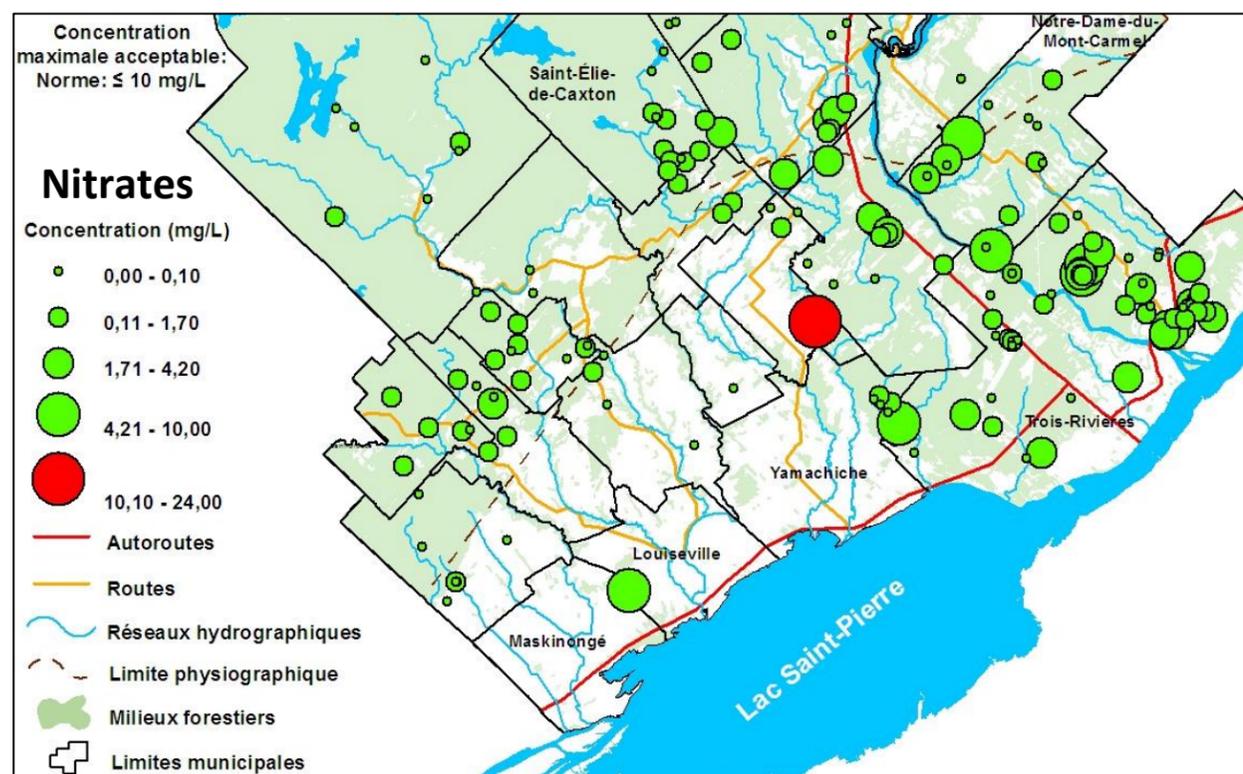
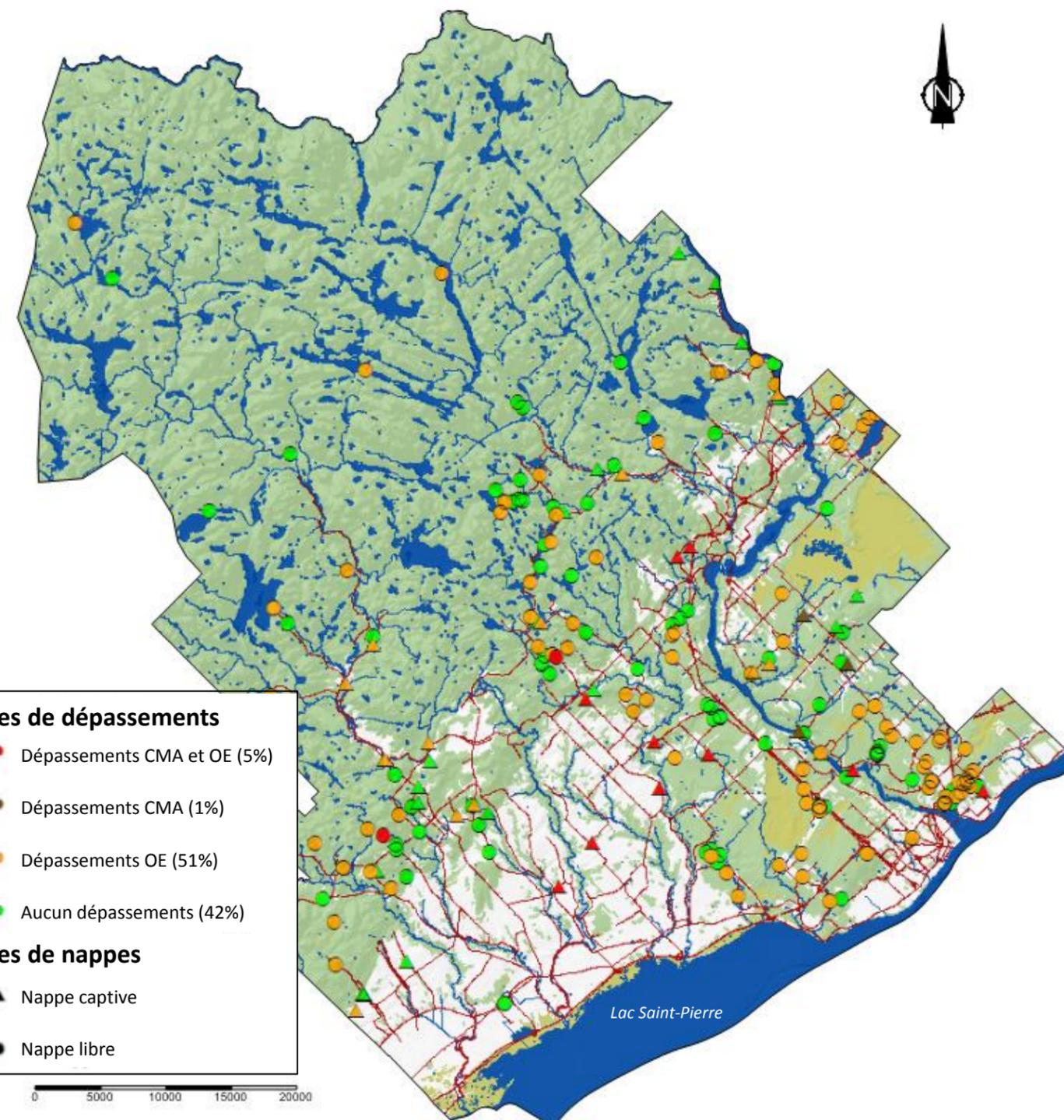
PROBLÉMATIQUES DE QUALITÉ D'EAU

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).

Les dépassements en **fluorures** et baryum 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 cinq puits affectés par la présence de **baryum** ne sont pas utilisés pour fins d'approvisionnement en eau potable. Selon l'hypothèse la plus plausible, le seul dépassement en **plomb** documenté 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.

La plupart des concentrations en **nitrates** qui se situent entre 1 et 10 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 élevées dans les portions du territoire possédant une vocation agricole, particulièrement dans les aquifères à nappe libre en condition d'aérobiose 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. On constate, sur la figure ci-dessous, que les concentrations en nitrates sont plus élevées sur le paléo-delta sablonneux de la rivière Saint-Maurice. Le seul dépassement en nitrates observé ne semble toutefois pas attribuable aux activités anthropiques, puisqu'il a été prélevé dans une nappe d'eau salée confinée sous environ 90 mètres d'argile marine.

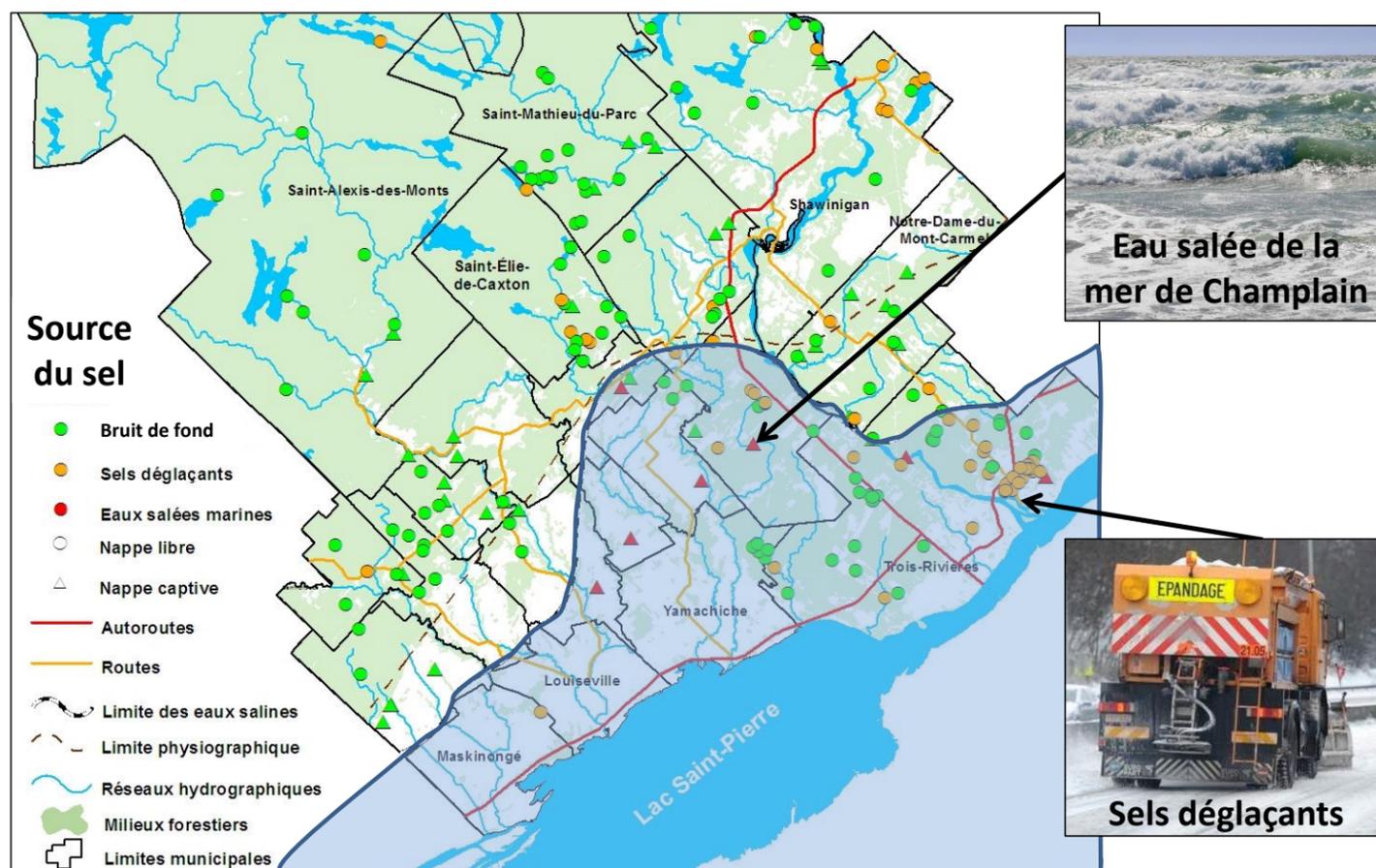
QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES



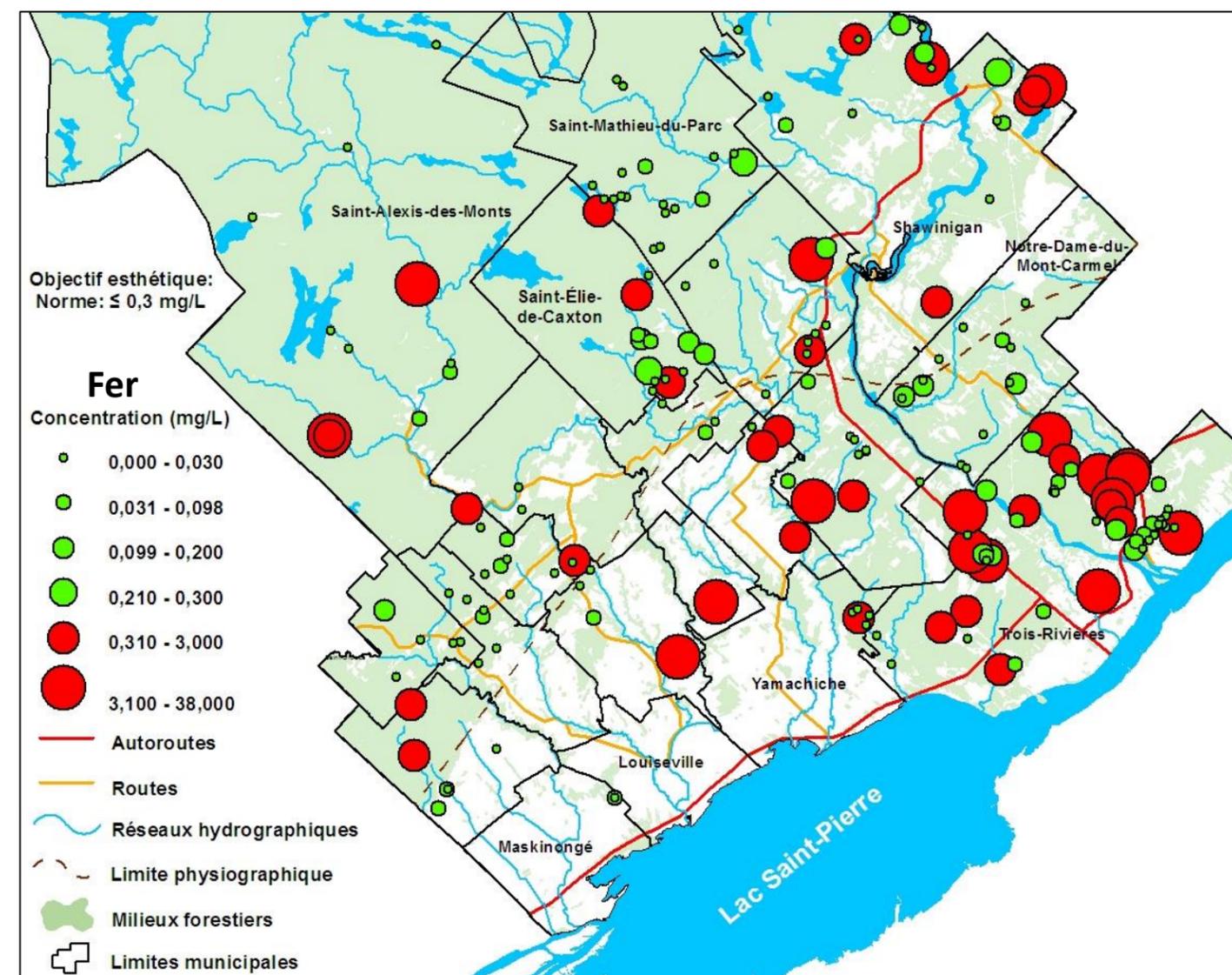
PROBLÈMES D'ORDRE ESTHÉTIQUE

De nombreux dépassements des **critères d'objectifs esthétiques** (OE) ont été constatés. Ces dépassements sont répartis sur 110 puits. Les problématiques les plus fréquentes sont liées 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 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 **sels déglaçants**, ou d'événements géologiques telle que la **séquestration d'eau marine en nappe captive**. Le ratio des concentrations en chlorures par rapport aux concentrations en bromures est utilisé comme traceur afin d'identifier l'origine de l'eau souterraine salée. Ce type d'analyse a permis de distinguer sept échantillons qui indiquent que l'eau est d'origine marine, alors que tous les autres échantillons ont des concentrations plus élevées en chlorures qu'en bromures. Les échantillons d'eau d'origine marine proviennent tous d'une nappe captive située sous la plaine argileuse au nord du lac Saint-Pierre.



La problématique des **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 le 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. 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 qui devra être testée.



GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES DU SUD-OUEST DE LA MAURICIE

LE PRÉLÈVEMENT ET LA CONSOMMATION DES EAUX SOUTERRAINES

Dans le sud-ouest de la Mauricie :

- 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 de **20 millions de mètres cubes**, alors que 80% proviennent des eaux de surface (majoritairement le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saint-Maurice);
- 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 Mm³, versus 2,4Mm³ hors réseau, alors 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 Mm³, versus 55,5 Mm³ hors réseau;
- 91% de l'eau consommée annuellement en **usage résidentiel** provient de réseaux (18,6Mm³), 74% de l'eau consommée en usage agricole provient de réseaux (1Mm³) et 28% de l'eau consommée en usage industriel, commercial et institutionnel provient de réseaux (22,2 Mm³). 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 Mm³/an), qui capte ses eaux souterraines à partir de la nappe libre du paléodelta 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 Mm³/an) et Shawinigan (18 Mm³) qui captent de l'eau en dehors des réseaux d'aqueduc municipaux.

Synthèse des prélèvements et de la consommation d'eau en Mauricie

Municipalité	Prélèvement (m ³ /an)		Consommation (m ³ /an)		
	Eau souterraine	Eau de surface	Résidentiel	Agricole	Industriel, commercial et institutionnel
Total réseau	17 423 878	24 339 606	18 578 772	992 781	22 191 930
Total hors réseau	2 435 058	55 522 399	1 820 894	342 552	55 794 010
Grand total	19 858 936	79 862 005	20 399 666	1 335 334	77 985 941

BILAN DES PRÉLÈVEMENTS ET DE LA CONSOMMATION D'EAU

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

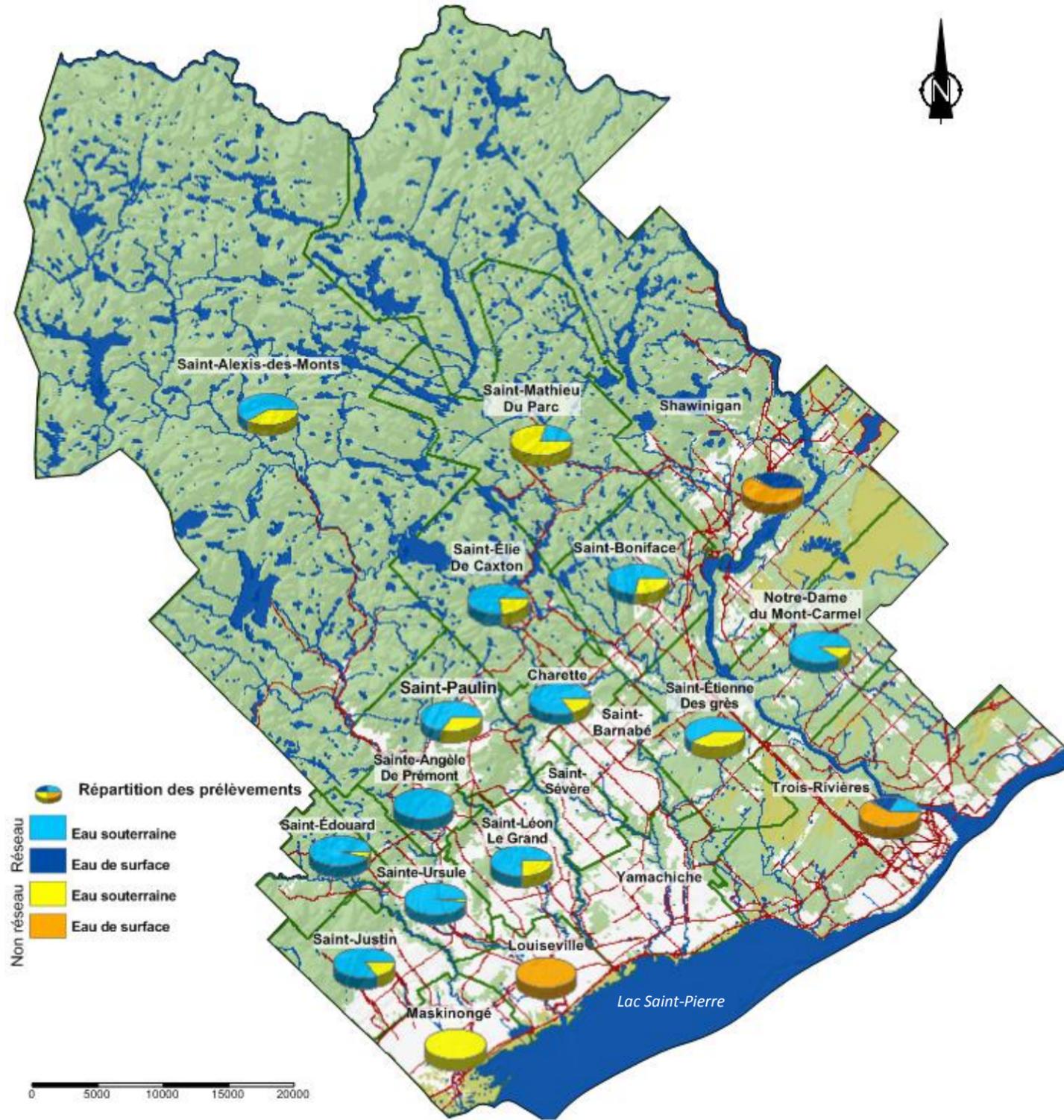
Municipalité	Prélèvement (m ³ /an)		Consommation (m ³ /an) en réseau		
	Eau souterraine	Eau de surface	Résidentiel	Agricole	Industriel, commercial et institutionnel
Charette	209 552	-	50 187	-	46 902
Louiseville*	-	-	707 917	2 295	606 383
Maskinongé*	-	-	197 556	40 328	70 040
Saint-Alexis-des-Monts	252 981	-	164 250	-	88 731
Saint-Barnabé*	-	-	133 316	106 225	263 718
Saint-Boniface	433 089	-	289 718	7 229	136 140
Sainte-Angèle-de-Prémont*	1 655 096	-	28 476	7 834	24 207
Saint-Édouard-de-Maskinongé	445 676	-	75 463	-	32 839
Saint-Élie-de-Caxton	568 960	-	58 980	150	6 570
Saint-Étienne-des-Grès	318 404	-	281 506	-	36 897
Sainte-Ursule*	1 096 185	-	100 010	87 443	100 316
Saint-Justin	123 715	-	73 000	100 013	84 908
Saint-Léon-le-Grand	61 020	-	71 905	155 217	2 522
Saint-Mathieu-du-Parc	25 483	-	15 290	-	10 193
Saint-Paulin	226 300	-	111 872	90 836	23 591
Saint-Sévère*	-	-	33 488	38 749	40 223
Yamachiche*	-	-	261 066	164 092	387 857
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	691 039	-	428 875	41 907	220 256
Shawinigan	-	11 749 066	4 246 136	22 808	7 480 121
Trois-Rivières	11 316 377	12 590 540	11 249 756	127 650	12 529 510

*La **Régie d'Aqueduc de Grand-Pré** effectue des captages à Saint-Angèle-de-Prémont, Sainte-Ursule et Saint-Édouard-de-Maskinongé, ce qui explique les prélèvements élevés. L'eau souterraine est ensuite redistribuée, entre autres aux municipalités qui n'ont aucun captage municipal sur leur territoire (Louiseville, Maskinongé, Yamachiche). L'eau de Saint-Barnabé provient de Saint-Élie alors que l'eau de Saint-Sévère provient de Charette.

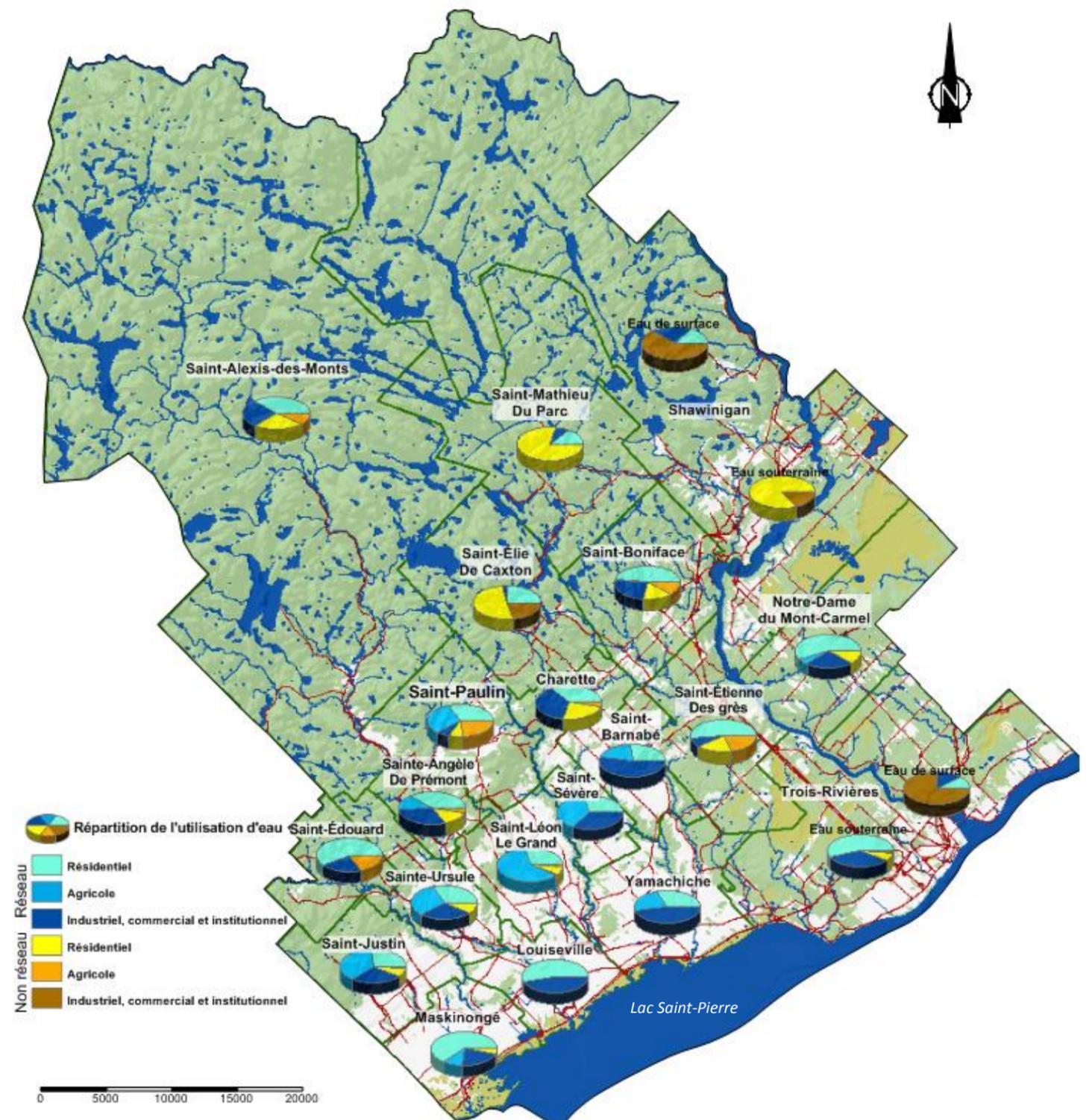
Bilan des prélèvements et de la consommation d'eau hors réseau

Municipalité	Prélèvement (m ³ /an)		Consommation (m ³ /an) hors réseau		
	Eau souterraine	Eau de surface	Résidentiel	Agricole	Industriel, commercial et institutionnel
Charette	38 957	-	34 675	4 282	-
Louiseville	-	54 615	-	-	54 615
Maskinongé	14 143	-	14 143	-	-
Saint-Alexis-des-Monts	163 170	-	127 567	35 603	-
Saint-Barnabé	-	-	-	-	-
Saint-Boniface	172 322	-	109 043	63 278	-
Sainte-Angèle-de-Prémont	11 560	-	9 216	2 245	98
Saint-Édouard-de-Maskinongé	21 905	-	-	21 905	-
Saint-Élie-de-Caxton	166 684	-	117 530	-	49 154
Saint-Étienne-des-Grès	224 744	-	118 625	106 119	-
Sainte-Ursule	25 732	-	25 732	-	-
Saint-Justin	21 779	-	18 524	3 255	-
Saint-Léon-le-Grand	19 620	-	15 330	4 290	-
Saint-Mathieu-du-Parc	94 961	-	94 900	61	-
Saint-Paulin	112 346	-	30 842	81 503	-
Saint-Sévère	-	-	-	-	-
Yamachiche	-	-	-	-	-
Notre-Dame-du-Mont-Carmel	83 674	-	78 931	4 743	-
Shawinigan	387 860	17 729 999	328 409	378	17 789 072
Trois-Rivières	875 593	37 737 785	697 423	14 884	37 901 071

RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS EN RÉSEAU ET HORS RÉSEAU



DISTRIBUTION DE L'UTILISATION DE L'EAU PAR MUNICIPALITÉ



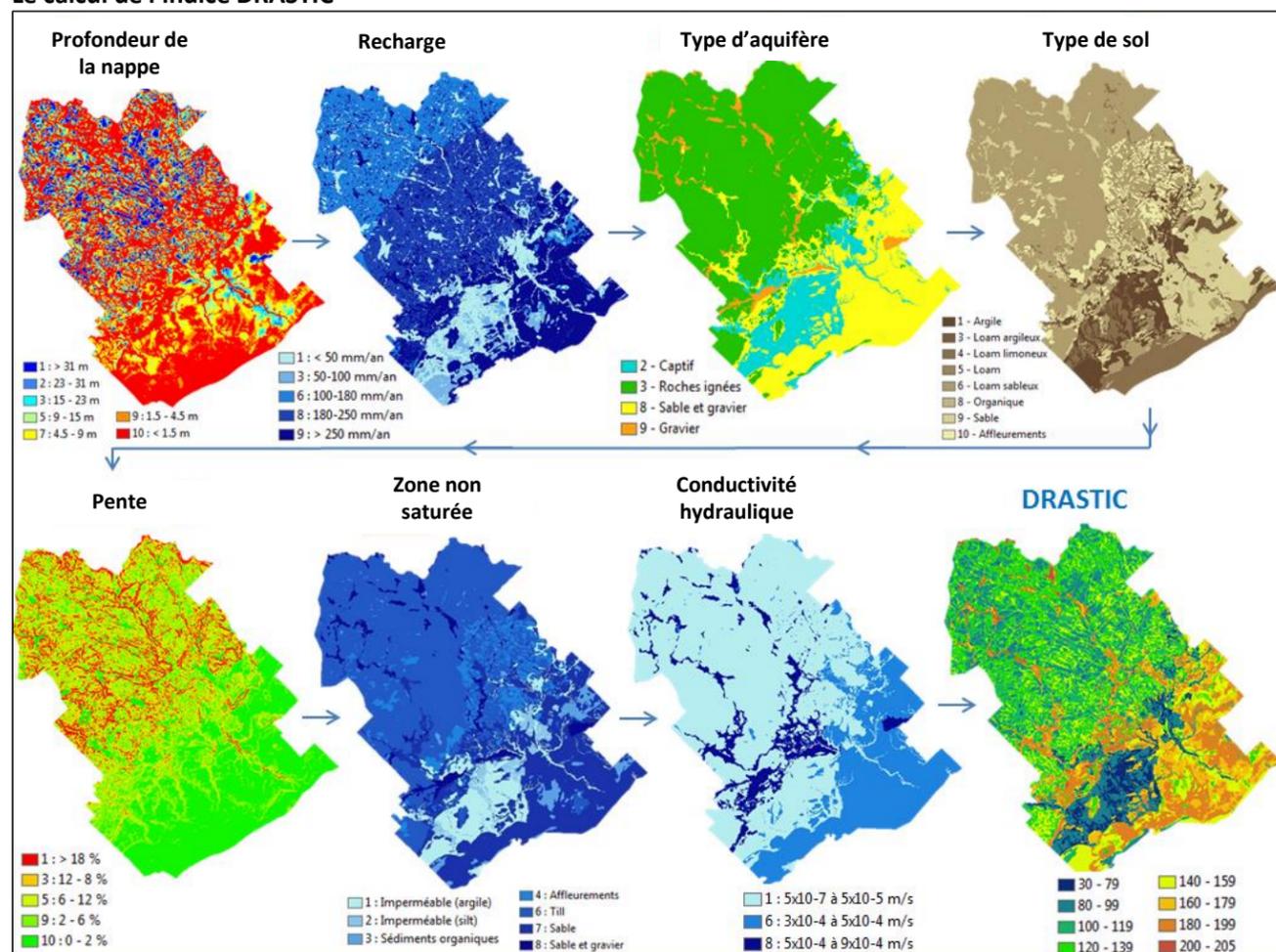
VULNÉRABILITÉ DES AQUIFÈRES

Qu'est-ce que l'indice DRASTIC ?

L'indice de vulnérabilité des eaux souterraines reflète le niveau de risque de contamination de l'eau causé par l'activité humaine. La méthode DRASTIC est un 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 coll., 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. Pour fins de cartographie, un code de couleur de l'indigo au rouge est attribué à cette plage de valeurs de vulnérabilité.

Le calcul de l'indice DRASTIC



VULNÉRABILITÉ DES NAPPES LIBRE, CAPTIVE ET SEMI-CAPTIVE

En ce qui concerne la **nappe libre**, la vulnérabilité est distribuée selon les contextes hydrogéologiques de la façon suivante :

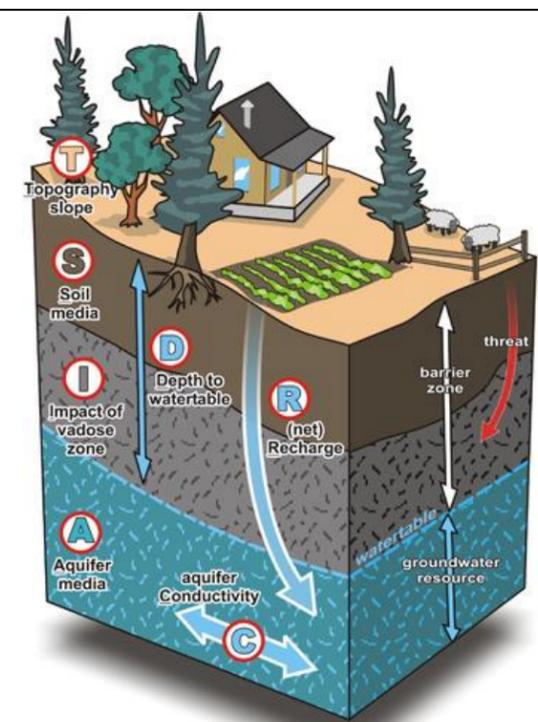
- Les sables superficiels associés au **paléo-delta de la rivière Saint-Maurice** et aux alluvions possèdent une vulnérabilité élevée, soit un indice DRASTIC estimé entre 140 et 200;
- Les sables et graviers superficiels associées aux **vallées** du plateau Laurentien et aux crêtes de la **moraine de Saint-Narcisse** 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. Ainsi, en présence d'une mince couche de till captif recouvrant le socle rocheux, c'est le till 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 :

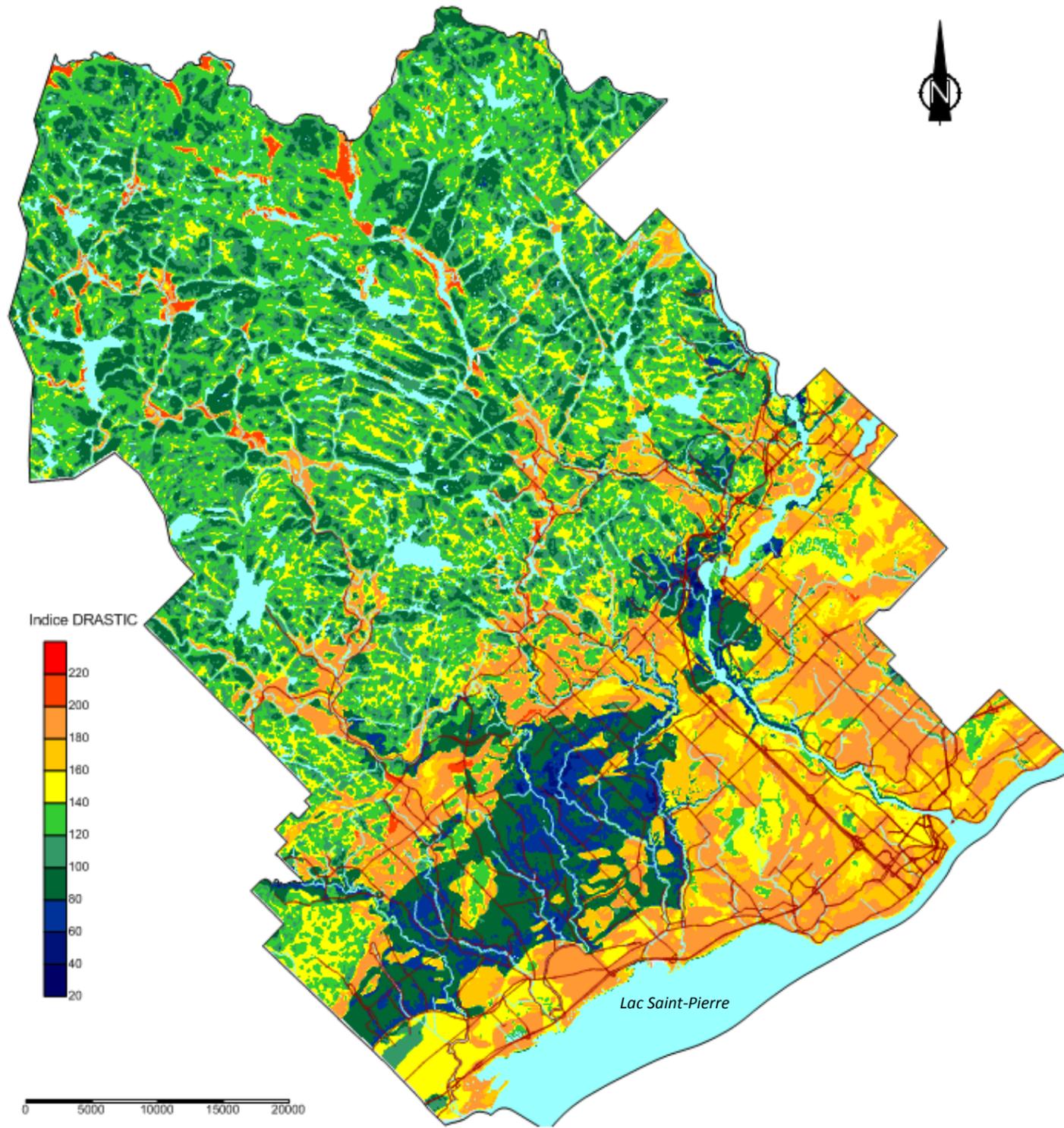
- Les nappes semi-captives du **piémont** possèdent une vulnérabilité de moyenne à élevée, soit un indice DRASTIC estimé entre 120 et 160;
- Les zones de nappe semi-captive **sous le paléo-delta de la rivière Saint-Maurice** possèdent également un indice DRASTIC estimé entre 120 et 160;
- Les nappes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

Le calcul de DRASTIC tient compte de sept facteurs :

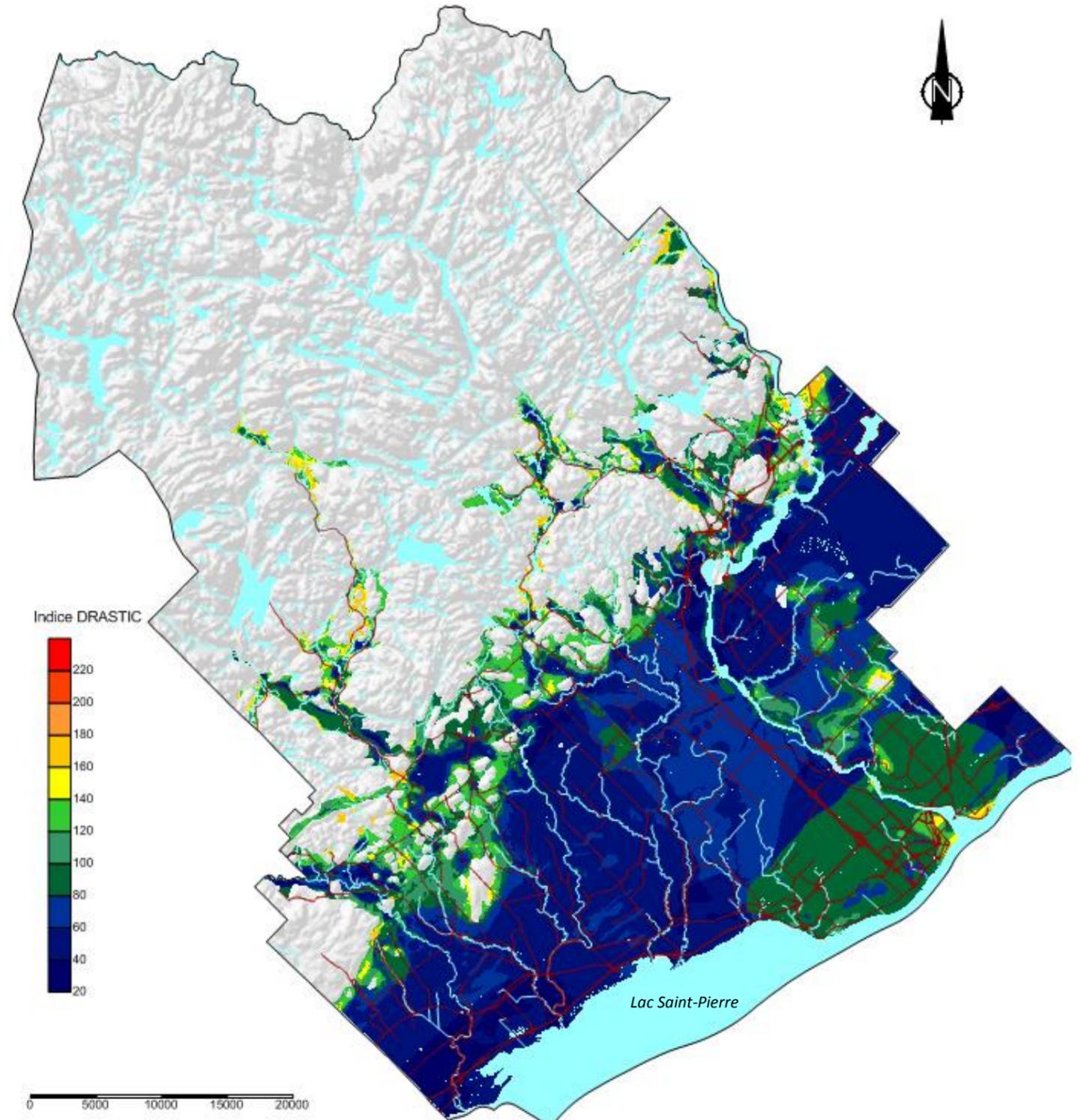
- D: Profondeur à la nappe d'eau (Depth)
- R: Infiltration efficace (Recharge)
- A: Milieu aquifère (Aquifer media)
- S: Type de sol (Soil media)
- T: Pente du terrain (Topography)
- I: Impact de la zone vadose (Impact of ...)
- C: Conductivité hydraulique (Conductivity)



VULNÉRABILITÉ DES NAPPES LIBRES



VULNÉRABILITÉ DES NAPPES CAPTIVES



INVENTAIRE DES ACTIVITÉS À RISQUE SUR LE TERRITOIRE

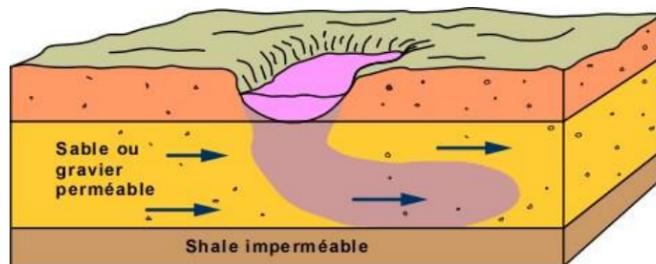
Au total, plus de **2500 activités anthropiques** ayant un potentiel de contamination variant de faible à très élevé ont été répertoriées au sud-ouest de la Mauricie. De plus, **134 terrains contaminés** ont été identifiés sur le territoire. Ces différentes activités ont été regroupées dans les catégories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

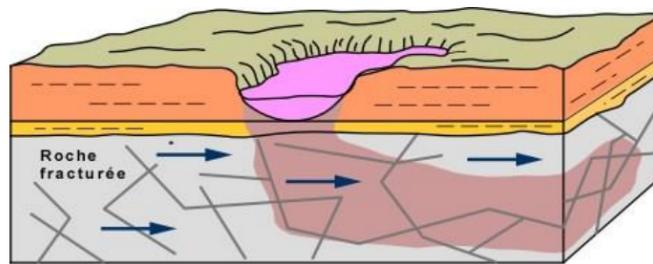
L'identification et la cartographie des activités à risque permettent, avec l'utilisation de la carte de vulnérabilité décrite à la section précédente, d'identifier les zones sensibles où des mesures particulières de protection et de suivi doivent être élaborées afin de protéger les eaux souterraines.

Types de contamination en fonction des contextes hydrogéologiques

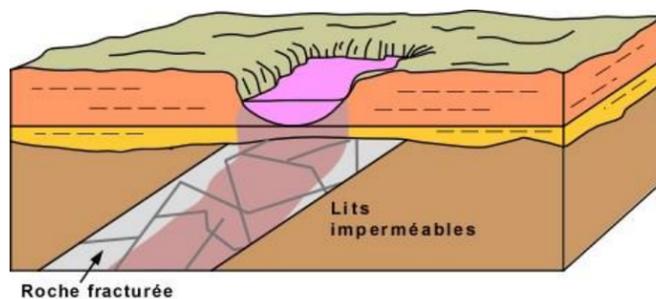
Contamination d'une nappe libre dans le sable



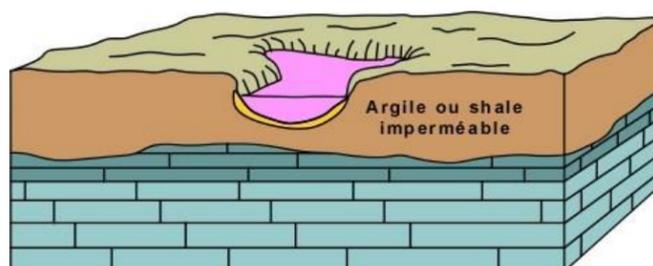
Contamination d'une nappe libre dans le socle rocheux



Contamination par voie préférentielle

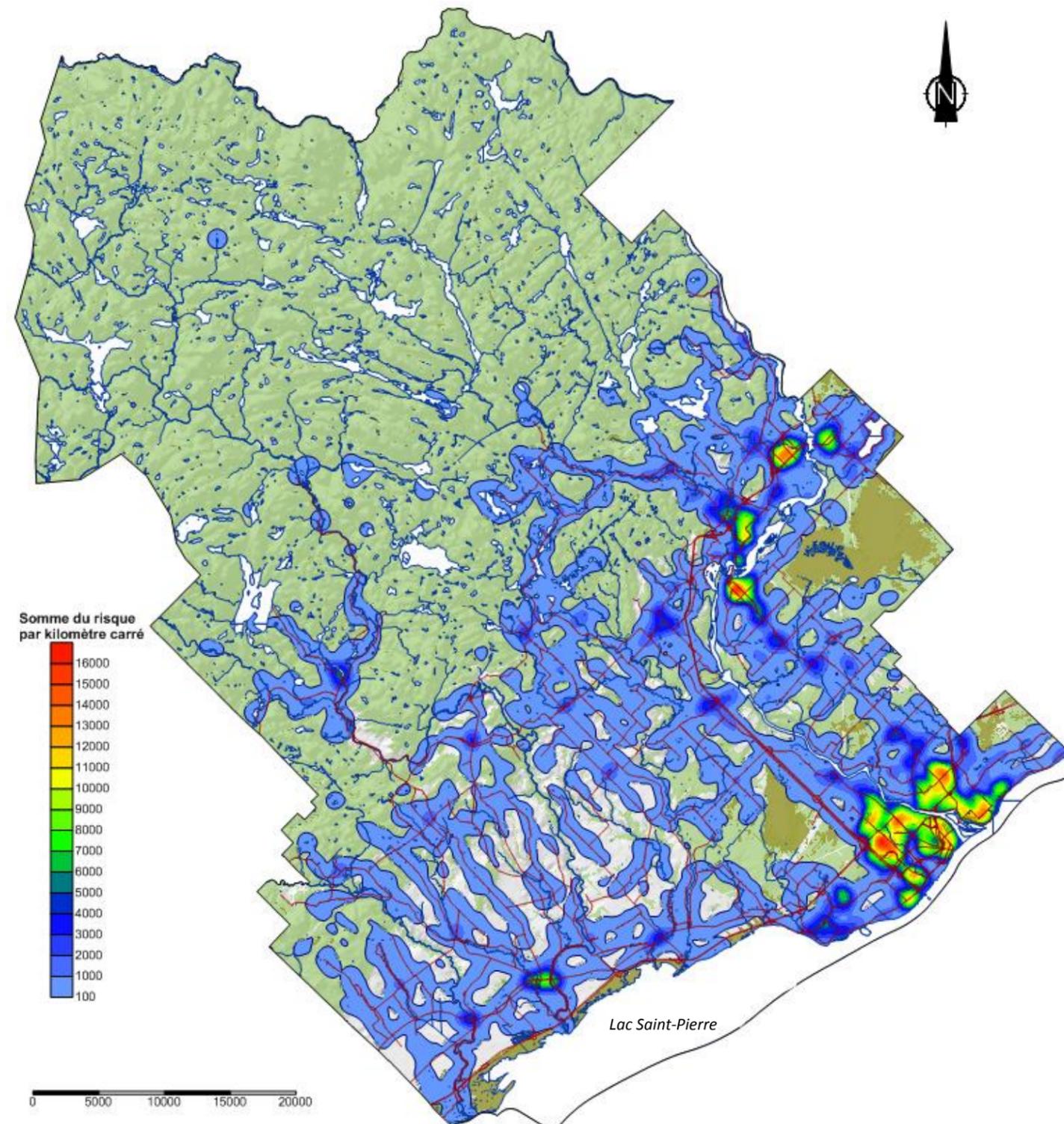


Cas d'une nappe captive bien protégée des activités de surface



(Bourque, 1997-204)

DENSITÉ DES ACTIVITÉS POTENTIELLEMENT POLLUANTES



CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES DU SUD-OUEST DE LA MAURICIE

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 Mm³/an alors que les prélèvements totaux d'eau souterraine sont de l'ordre de 20 Mm³ /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 **paléo-delta 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.

LA 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 **nitrate**. **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. **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 sources de conflits d'usage 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 et en gardant une distance minimale entre le fond des excavations et le niveau de la nappe.

RÉFÉRENCES

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**. 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).

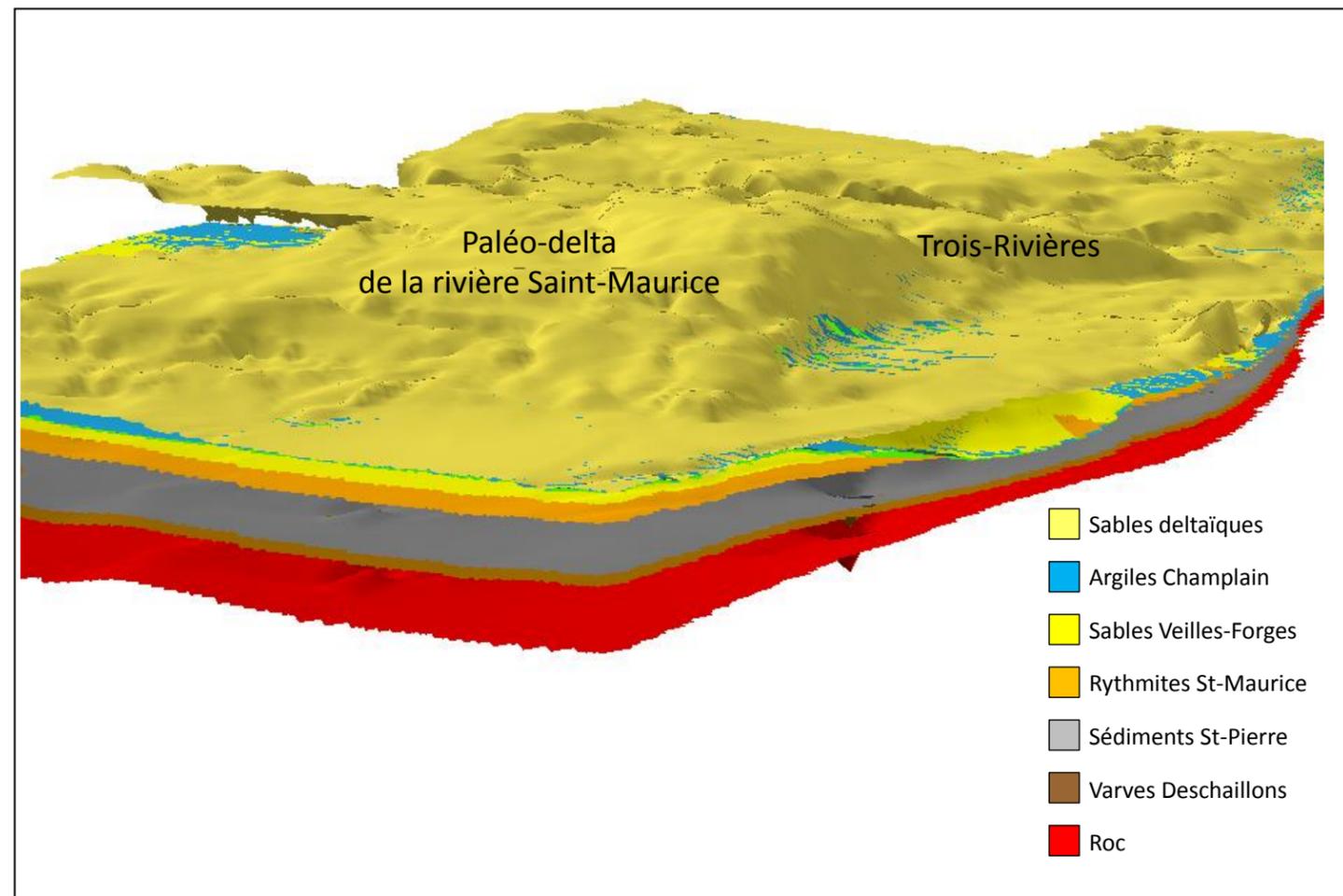
Bourque, P.-A. (1997-2004). **Planète Terre**. Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval. [En ligne], <http://www.MDDEFP.gouv.qc.ca/eau/inter.htm>

Dresser, J.A. (1930). **Rapport annuel du service des mines de Québec**. Service des mines, Province de Québec, Canada, 112 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.

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>

Payette, S. et Rochefort, L. (2001). **Écologie des tourbières du Québec-Labrador**. Les presses de l'Université Laval, 621 p.



La figure ci-dessus illustre la séquence des dépôts formant le paléo-delta de la rivière Saint-Maurice à Trois-Rivières. L'aquifère exploité par la ville est la couche de sable au-dessus des argiles de la mer de Champlain. Les Sables des Vieilles-Forges constituent un aquifère captif qui est peu exploité. Les couches inférieures contiennent une eau fortement minéralisée et pouvant contenir du gaz. Elle est donc impropre à la consommation. Le volume de sable superficiel serait de 4,7 milliards de m³ à l'intérieur des limites de la Ville de Trois-Rivières. Le volume de ce sable, situé sous la surface de la nappe, serait de 1,5 milliards de m³. Si la porosité des sols est de 25%, l'aquifère contiendrait **380 millions de m³ d'eau**. Cette eau n'est cependant pas toute disponible et n'est pas toute de bonne qualité.

UQTR



Université du Québec
à Trois-Rivières

Département des sciences de l'environnement