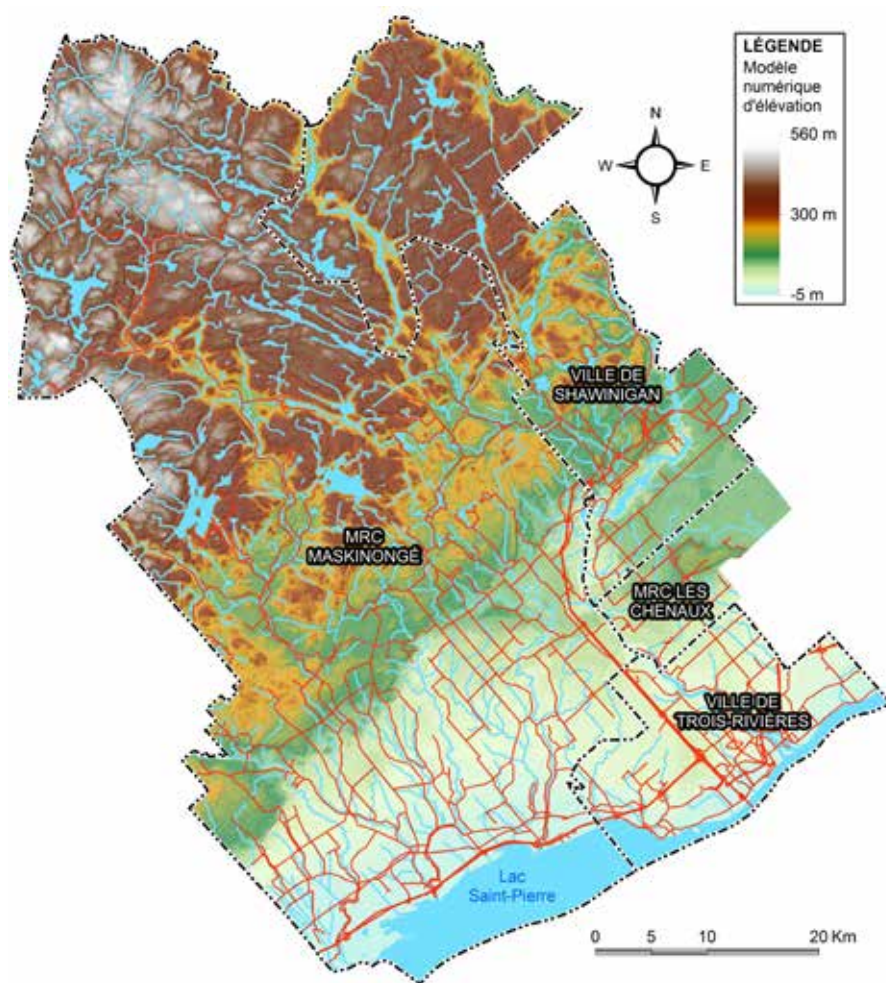


1er atelier de transfert des connaissances sur les eaux souterraines du sud-ouest de la Mauricie

CAHIER DU PARTICIPANT



Atelier organisé par :
le Réseau québécois sur les eaux souterraines,
et l'Université du Québec à Trois-Rivières

Juin 2015

Le réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES)

Le RQES a pour mission de consolider et d'étendre les collaborations entre les équipes de recherche universitaire et le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques d'une part, et les autres organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, les consultants, les établissements d'enseignement et autres organismes intéressés au domaine des eaux souterraines au Québec, en vue de la mobilisation des connaissances scientifiques sur les eaux souterraines.

Le RQES poursuit les objectifs spécifiques suivants :

- Identifier les besoins des utilisateurs en matière de recherche, d'applications concrètes pour la gestion de la ressource en eau souterraine, et de formation;
- Faciliter le transfert des connaissances acquises vers les utilisateurs afin de soutenir la gestion et la protection de la ressource;
- Servir de support à la formation du personnel qualifié dans le domaine des eaux souterraines pouvant répondre aux exigences du marché du travail actuel et futur en recherche, en gestion et en consultation.

Pour en savoir plus : www.rques.ca

Le département des sciences de l'environnement de l'UQTR

Le Département des sciences de l'environnement regroupe les disciplines de biologie-écologie et de géographie. Multidisciplinaire dans son approche, il a pour mission d'explorer les interactions entre les humains et leur environnement.

Au point de vue académique, le département offre les programmes de baccalauréat en géographie, de baccalauréat et de certificat en sciences biologiques et écologiques, ainsi que de maîtrise et de doctorat en sciences de l'environnement. Ces programmes visent à former des scientifiques aptes à traiter de l'environnement dans le but d'apporter des solutions à des problèmes environnementaux.

Au plan de la recherche, les chercheurs en écologie aquatique de l'UQTR possèdent des expertises reconnues dans plusieurs domaines de pointe tels que, l'écophysiologie et l'évolution moléculaire, les échanges trophiques aquatiques-terrestres, les mécanismes de spéciation, l'écologie comportementale, les statistiques appliquées à l'environnement et l'étude des impacts des perturbations anthropogéniques. Quant aux géographes, ceux-ci possèdent des expertises dans les domaines reliés à la géomatique et à la télédétection, à la climatologie et l'hydrologie, à la géomorphologie fluviale et à l'étude des bassins versants, à l'écologie du paysage et à l'aménagement ainsi qu'à la géographie de la santé et la santé environnementale.

Pour en savoir plus : https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/gscw030?owa_no_site=2655

Ce 1er atelier de transfert des connaissances issues du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* s'inscrit dans le cadre du projet *Protéger et gérer les eaux souterraines*, rendu possible grâce au financement du Programme de soutien à la valorisation et au transfert du ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations. Il est le résultat d'un travail conjoint entre le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES), les chercheurs du département des sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), et la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement :

- Yves Leblanc, professionnel de recherche en hydrogéologie, UQTR, coordination du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* (maintenant chez Richelieu Hydrogéologie inc.)
- Guillaume Légaré, étudiant à la maîtrise en sciences de l'environnement, UQTR, équipe de recherche du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* (maintenant étudiant au doctorat à l'INRS-ETE)
- Karine Lacasse, étudiante à la maîtrise en sciences de l'environnement, UQTR, équipe de recherche du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* (maintenant aménagiste à la MRC Maskinongé)
- Stéphane Campeau, professeur en géographie physique, UQTR, coordination du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie*
- Yohann Tremblay, agent de transfert du RQES, préparation de l'atelier de transfert
- Anne-Marie Decelles, agente de transfert du RQES
- Marie-Audray Ouellet, coordonnatrice scientifique du RQES
- Julie Ruiz, professeure et titulaire de la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement, conception de l'atelier de transfert

Références à citer

L'ensemble des informations hydrogéologiques provient du rapport final du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* et des cartes associées. Ces documents doivent être cités comme suit :

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).

L'ensemble des informations sur les notions hydrogéologiques fondamentales provient d'un travail de vulgarisation réalisé par un comité de travail du RQES. Toute utilisation de ces notions doit être citée comme suit :

Ferlatte, M., Tremblay, Y., Rouleau, A. et Larouche, U. F. 2014. Notions d'hydrogéologie \$ Les eaux souterraines pour tous. Première Édition. Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES). 63 p.

Le présent document résulte d'un travail de vulgarisation des connaissances sur les eaux souterraines issues du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* :

Tremblay, Y., Ruiz, J., Leblanc, Y. et Ouellet, M. A. 2015. 1er atelier de transfert des connaissances sur les eaux souterraines du sud-ouest de la Mauricie, cahier du participant. Document préparé par le RQES, avec la contribution de l'UQTR, pour les acteurs de l'aménagement du territoire.

*La plupart des figures et photographies reproduites dans ce document appartiennent à l'équipe de réalisation du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* ou au Réseau québécois sur les eaux souterraines. Lorsque ce n'est pas le cas, le crédit photographique (source) est indiqué sous l'image.*

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Index des notions clés | 7 |
| Guide de lecture du cahier des participants | 8 |
| Votre équipe de formation | 8 |
| 1. Les notions hydrogéologiques fondamentales | 9 |
| Nappe, aquifère et aquitard | 10 |
| Différents types d'aquifères | 11 |
| Types de dépôts meubles | 12 |
| Conditions de confinement | 13 |
| Piézométrie | 14 |
| Recharge et résurgence | 14 |
| Vulnérabilité de l'eau souterraine | 15 |
| Qualité de l'eau | 16 |
| 2. Les caractéristiques régionales de l'eau souterraine | 17 |
| Résumé du projet <i>Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie</i> | 18 |
| Limites générales de l'étude | 19 |
| Approvisionnements en eau souterraine au sud-ouest de la Mauricie | 19 |
| Les contextes hydrogéologiques du sud-ouest de la Mauricie | 20 |
| 3. Les contextes hydrogéologiques des Laurentides | 23 |
| Épaisseur des dépôts meubles | 24 |
| Profils hydrostratigraphiques | 26 |
| Contextes hydrogéologiques | 28 |
| Épaisseur et limites de l'aquifère à nappe libre | 30 |
| Piézométrie de la nappe libre | 32 |
| Recharge et résurgence | 34 |
| Vulnérabilité de la nappe libre | 36 |
| Qualité de l'eau – Critères de santé | 38 |
| Qualité de l'eau – Critères esthétiques | 40 |
| Exercice de synthèse 1 | 42 |
| Exercice de synthèse 2 | 43 |
| Exercice de synthèse 3 | 44 |

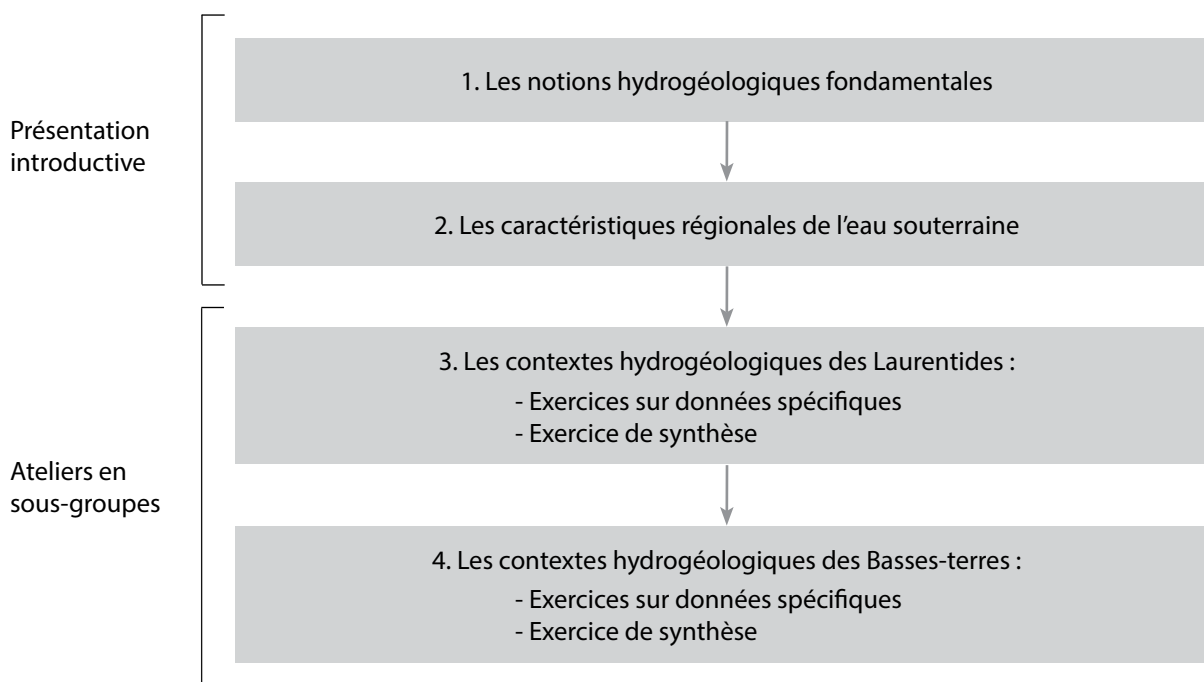
| | |
|--|-----------|
| 4. Les contextes hydrogéologiques des Basses-terres | 47 |
| Épaisseur des dépôts meubles | 48 |
| Profils hydrostratigraphiques | 50 |
| Contextes hydrogéologiques | 52 |
| Épaisseur et limites de l'aquifère à nappe libre | 54 |
| Piézométrie de la nappe libre | 56 |
| Recharge et résurgence | 58 |
| Vulnérabilité de la nappe libre | 60 |
| Qualité de l'eau – Critères de santé | 62 |
| Qualité de l'eau – Critères esthétiques | 64 |
| Exercice de synthèse 1 | 66 |
| Exercice de synthèse 2 | 67 |
| Exercice de synthèse 3 | 68 |
| | |
| Bibliographie | 71 |
| Mes notes personnelles | 72 |

Index des notions clés

| | |
|--------------------------------------|----|
| Aquifère | 10 |
| Aquifère de dépôts meubles | 11 |
| Aquifère de roc fracturé | 11 |
| Aquifère double | 13 |
| Aquitard | 10 |
| Concentrations maximales acceptables | 16 |
| Conductivité hydraulique | 10 |
| Dépôts meubles | 11 |
| DRASTIC | 15 |
| Eau souterraine | 10 |
| Minéralisation | 16 |
| Nappe | 10 |
| Nappe captive, libre et semi-captive | 13 |
| Niveau piézométrique | 14 |
| Objectifs esthétiques | 16 |
| Piézométrie | 14 |
| Porosité | 10 |
| Recharge | 14 |
| Résurgence | 14 |
| Roc fracturé | 11 |
| Sédiments alluviaux | 12 |
| Sédiments du Quaternaire ancien | 12 |
| Sédiments fluvioglaciers | 12 |
| Sédiments glaciaires | 12 |
| Sédiments lacustres | 12 |
| Sédiments marins | 12 |
| Sédiments organiques | 12 |
| Till | 12 |
| Vulnérabilité | 15 |
| Zone saturée et non saturée | 10 |

Guide de lecture du cahier des participants

L'organisation du cahier en lien avec le déroulement de l'atelier



Tout au long du cahier



Définitions des **NOTIONS CLÉS** en hydrogéologie

on renvoie au numéro de page où se trouvent les définitions des notions clés



Exercices de compréhension des informations hydrogéologiques

Niveau de difficulté des questions :

- F** facile
- M** moyennement facile
- D** difficile

Votre équipe de formation

Vos animateurs



Yann Tremblay
M.Sc. Sciences de l'eau
Agent de transfert du RQES
Département de géologie et
génie géologique, Université Laval
1065 av. de la Médecine
Québec (Qc) G1K 7P4
418-656-2131 poste 5595
ytremblay.rques@gmail.com



Anne-Marie Decelles
M.A. Développement régional
Agente de transfert du RQES
Département des sciences de
l'environnement, Université du
Québec à Trois-Rivières
CP 500, Trois-Rivières (Qc) G9A 5H7
819-376-5011 poste 3238
anne-marie.decelles1@uqtr.ca



Marie-Audray Ouellet
M.Sc. Géographie
Coordonnatrice scientifique du RQES
Département des sciences de la Terre
et de l'Atmosphère
Université du Québec à Montréal
CP 8888, succ. Centre-ville
Montréal (Qc) H3C 3P8
514-987-3000 poste 1648
rques.coord@gmail.com

Vos experts en eaux souterraines



Yves Leblanc
ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologie
Richelieu Hydrogéologie inc.
219, 15e avenue
Richelieu (Qc) J3L 3V7
450-658-3233
yvesl@sympatico.ca



Stéphane Campeau
Ph.D., Professeur
Département des sciences de
l'environnement, Université du
Québec à Trois-Rivières
CP 500, Trois-Rivières (Qc) G9A 5H7
819-376-5011 poste 3685
stephane.campeau@uqtr.ca



Guillaume Légaré
M.Sc. Sciences de l'environnement
Étudiant au doctorat en Sciences
de la Terre
Institut de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement
490 rue de la Couronne
Québec (Qc) G1K 9A9
418-654-2530 poste 4429
guillaume.legare-Couture@ete.inrs.ca



Karine Lacasse
M.Sc. Sciences de l'environnement
Aménagiste – Chargée de projet
MRC Maskinongé
651, boul. Saint-Laurent Est
Louiseville (Qc) J5V 1J1
819-228-9461 poste 2044
karine.lacasse@mrc-maskinonge.qc.ca

1. Les notions hydrogéologiques fondamentales



NAPPE, AQUIFÈRE ET AQUITARD

L'**EAU SOUTERRAINE** est l'eau qui se trouve sous la surface du sol et qui remplit les espaces vides du milieu géologique.

Définitions de base

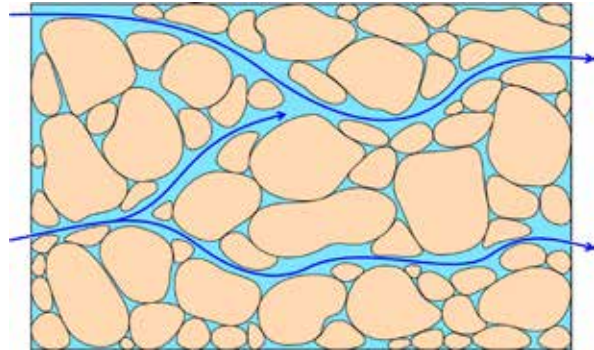
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

- Plus la porosité est élevée, plus il y a d'espace disponible pour **emmagasin**er de l'eau.

La **CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE** est l'aptitude d'un matériau à se laisser traverser par l'eau.

- Plus les pores sont interconnectés, plus le milieu géologique est **perméable** et plus l'eau peut pénétrer et circuler facilement.

Circulation de l'eau souterraine entre les pores



Nappe et aquifère, de quoi parle-t-on?

La **NAPPE** représente l'eau souterraine qui circule dans un aquifère.

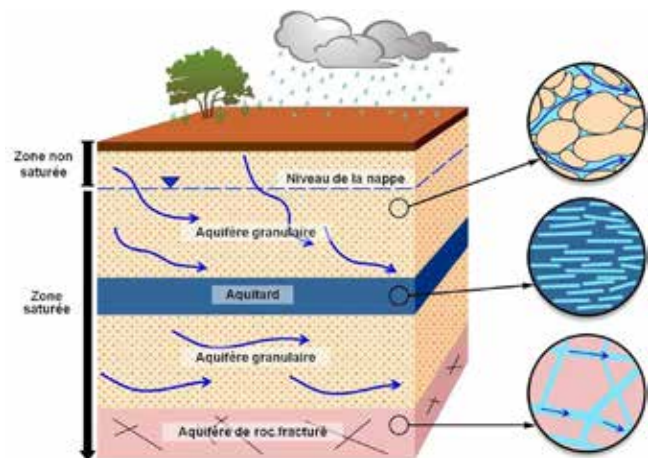
- C'est le **contenu**.

Un **AQUIFÈRE** est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage.

- C'est le **contenant**.

Comment cela fonctionne-t-il ?

L'eau qui s'infiltré dans le sol percole verticalement et traverse la **ZONE NON SATURÉE** (ou **zone vadose**) pour atteindre la **NAPPE** et la **ZONE SATURÉE**, et ainsi contribuer à la **recharge** de l'aquifère. Comme pour l'eau en surface, l'eau souterraine s'écoule dans l'aquifère, mais beaucoup plus lentement que dans les rivières.



Qu'est-ce qu'un aquitard ?

L'**AQUITARD** est un milieu géologique **très peu perméable**, c'est-à-dire de très faible conductivité hydraulique, dans lequel l'eau souterraine s'écoule difficilement. Il agit comme **barrière naturelle** à l'écoulement et protège ainsi l'aquifère sous-jacent des contaminants venant de la surface.



DIFFÉRENTS TYPES D'AQUIFÈRES

Quels sont les milieux géologiques qui constituent des aquifères ?

Deux types de milieux géologiques constituent des aquifères :

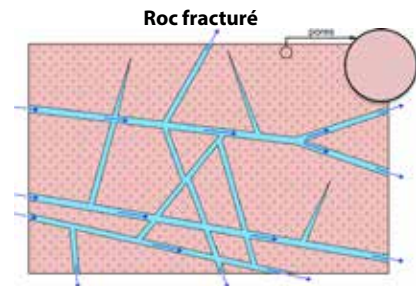
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

AQUIFÈRE DE ROC FRACTURÉ

Les **pores** de la roche contiennent de l'eau souterraine, mais leur faible interconnexion ne permet pas une circulation efficace de l'eau.

Les **fractures** contiennent aussi de l'eau souterraine et permettent une circulation d'eau parfois suffisante pour le captage.

En forant un puits dans ce type d'aquifère, on cherche à rencontrer le plus de fractures possible.



AQUIFÈRE DE DÉPÔTS MEUBLES

Lorsqu'un dépôt meuble est **constitué de particules plutôt grossières** (ex.: sables et graviers), il forme un **AQUIFÈRE** si son épaisseur saturée en eau est suffisante.

- Plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable.
- Le pompage de débits importants est souvent possible.

Graviers



Lorsqu'un dépôt meuble est **constitué de particules fines** (ex.: argiles et silts), il forme un **AQUITARD**.

- Plus les pores sont petits, moins l'eau est accessible et moins le dépôt meuble est perméable.

Argiles



© Slim-Sept (2005)



TYPES DE DÉPÔTS MEUBLES

SÉDIMENTS QUATÉRNAIRES ANCIENS

Sédiments déposés avant la dernière glaciation, durant et entre les épisodes glaciaires antérieurs.

- Composition variable — **aquifère** ou **aquitard**.

SÉDIMENTS GLACIAIRES (TILL)

Résulte du transport par les glaciers de fragments arrachés au socle rocheux et la reprise en charge de dépôts meubles anciens.

- Souvent composé de grains de toutes tailles dans une matrice de sédiments fins — **aquitard**.
- Parfois composé de grains de toutes tailles dans une matrice à dominance sableuse — **aquifère**.

Till à matrice fine



Till à matrice sableuse



Sédiments fluvioglaciaires



SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

Mis en place par les eaux de fonte, pendant la déglaciation, au front du glacier (**moraine**) ou dans des plaines d'épandage.

- Composés de sable, gravier et blocs — **aquifère**.

SÉDIMENTS MARINS et LACUSTRES

Mis en place dans la mer de Champlain, après la déglaciation, et dans le lac à Lampsilis, l'ancêtre du lac Saint-Pierre.

- Lorsque mis en place en eau profonde, composés de silt et d'argile — **aquitard**.
- Lorsque mis en place en eau peu profonde, près du littoral ou dans un delta, composés de sable et gravier — **aquifère**.

Argiles marines



Sédiments deltaïques



SÉDIMENTS ALLUVIAUX

Mis en place par les cours d'eau actuels ou anciens.

- Composés de silt, sable ou gravier — **aquifère**.

Sédiments alluviaux



SÉDIMENTS ORGANIQUES

Constituent les milieux humides.

- Composés de matière organique peu perméable — **aquitard**.

Tourbe





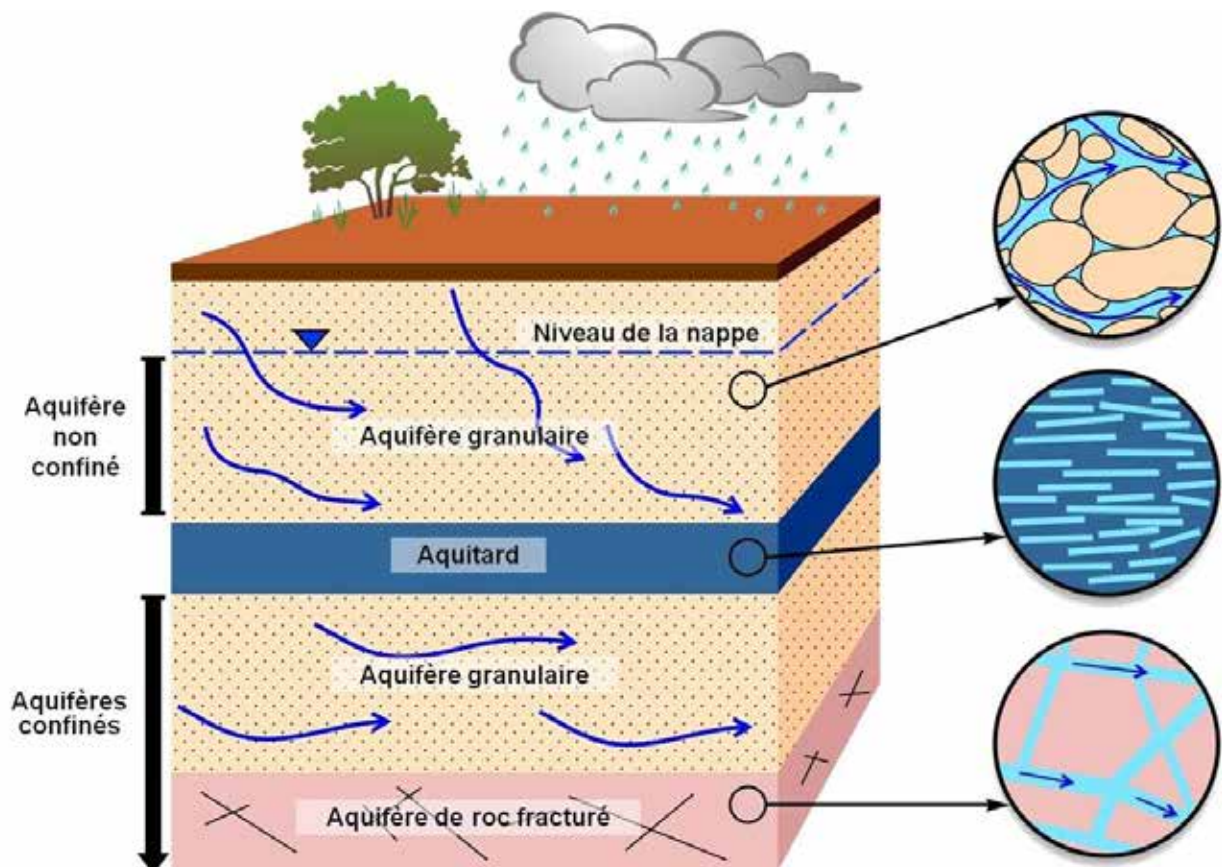
CONDITIONS DE CONFINEMENT

Un aquifère à **NAPPE CAPTIVE** (ou **confiné**) est «emprisonné» sous un aquitard. Il n'est **pas directement rechargé** par l'infiltration verticale et se retrouve ainsi **protégé des contaminants** provenant directement de la surface. Sa zone de recharge est située plus loin en amont, là où la couche confinante n'est plus présente. Il a une pression plus élevée que la pression atmosphérique.

Un aquifère à **NAPPE LIBRE** (ou **non confiné**) n'est pas recouvert par un aquitard et est en contact direct avec l'atmosphère. Il peut être **directement rechargé** par l'infiltration verticale et est donc généralement **plus vulnérable à la contamination**.

Un aquifère à **NAPPE SEMI-CAPTIVE** (ou **semi-confiné**) est un cas intermédiaire pour lequel les couches sus-jacentes ne sont pas totalement imperméables, dû à leur composition ou leur faible épaisseur. Il est **modérément rechargé** et **protégé**.

On parle d'**AQUIFÈRE DOUBLE** lorsqu'on retrouve un aquifère à nappe captive surmonté d'un aquitard puis d'un aquifère à nappe libre.

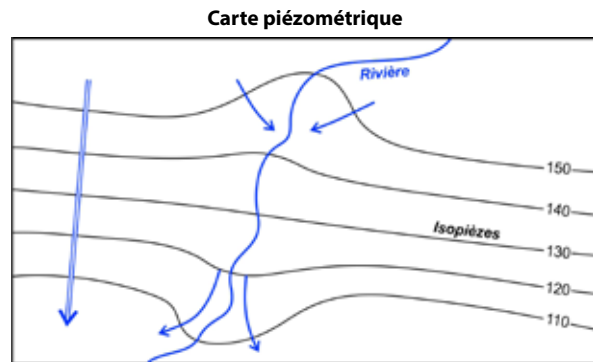




PIÉZOMÉTRIE

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** (ou **charge hydraulique**) correspond à l'élévation que le niveau de l'eau souterraine mesurée dans un puits atteint pour être en équilibre avec la pression atmosphérique.

La **piézométrie** représente l'élévation du niveau de l'eau souterraine dans un aquifère, tout comme la topographie représente l'altitude du sol. Elle permet de connaître le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère, qui va des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse.



RECHARGE ET RÉSURGENCE

La **RECHARGE** contribue au renouvellement de l'eau souterraine en alimentant l'aquifère par l'infiltration des précipitations depuis la surface.

Le taux de recharge est liée aux conditions climatiques, à l'occupation du sol, à la topographie et aux propriétés physiques du sol. Elle varie donc sur le territoire.

- Un climat sec, le confinement, un terrain pentu ou l'imperméabilisation des surfaces en milieu urbain limitent la recharge.

Une **RÉSURGENCE** correspond à l'exutoire de l'eau souterraine qui refait surface, lorsque le niveau piézométrique de la nappe dépasse le niveau de la surface du sol.

- Les résurgences sont généralement diffuses, c'est-à-dire largement étendues. Par exemple, les cours d'eau constituent souvent des zones de résurgence, tout comme les milieux humides.
- Elles sont parfois ponctuelles, c'est-à-dire localisées en un point précis, et constituent alors des sources.

En période d'étiage, l'essentiel de l'eau qui s'écoule dans les cours d'eau provient de l'apport des eaux souterraines. Cette eau contribue alors au débit de base des cours d'eau.

Source à Mont-Carmel

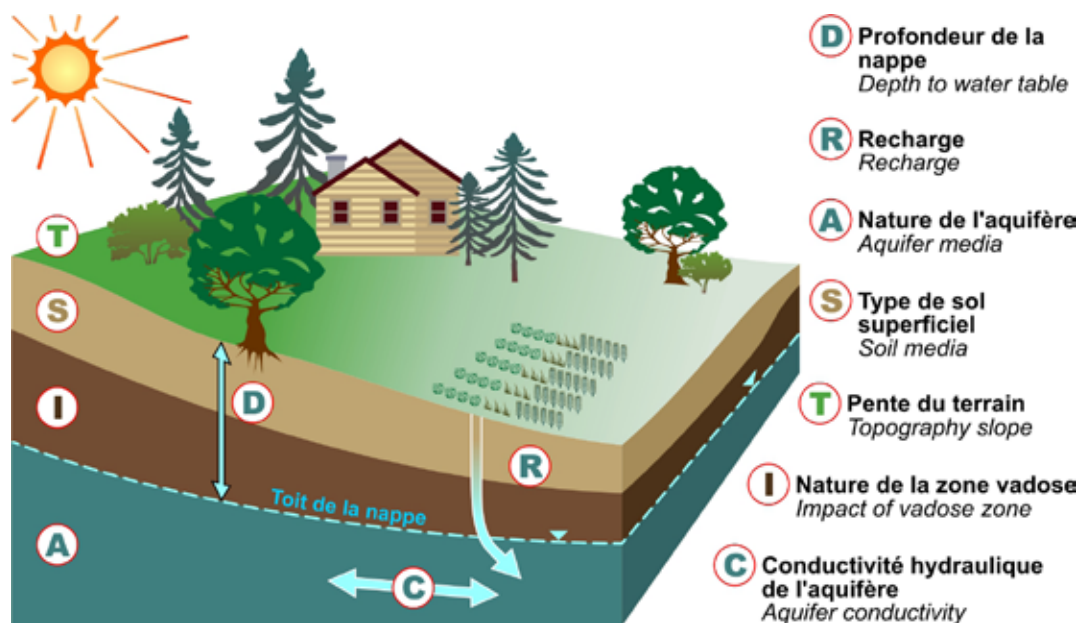




VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

La méthode **DRASTIC** fournit une évaluation relative de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère, soit sa **susceptibilité à être affecté par une contamination provenant de la surface**.

Le calcul de l'indice **DRASTIC** tient compte de sept paramètres physiques et hydrogéologiques :



L'indice **DRASTIC** peut varier entre 23 et 226. Plus l'indice est élevé, plus l'aquifère est vulnérable à la contamination.

Le **risque de contamination** des eaux souterraines peut être estimé en jumelant l'indice **DRASTIC** et l'**impact des activités humaines** présentant un danger potentiel de contamination des eaux souterraines. L'identification des secteurs à risque élevé permet de cibler les zones sensibles où des mesures particulières de gestion doivent être mises en œuvre afin de protéger les eaux souterraines.

Le potentiel de contamination de chaque activité humaine dépend de plusieurs facteurs, dont la nature et la quantité de contaminants, la superficie de la zone touchée et la récurrence du rejet.



Géochimie de l'eau

La composition géochimique de l'eau souterraine est influencée en grande partie par la dissolution de certains minéraux présents dans les matériaux géologiques. Plus la distance parcourue par l'eau souterraine dans l'aquifère est grande, et plus son temps de résidence est long, plus elle sera **MINÉRALISÉE**, c'est-à-dire concentrée en minéraux dissous.

Les conditions de confinement de l'aquifère influencent la géochimie de l'eau souterraine :

- **Nappe libre** : eau récente, peu minéralisée, signature géochimique se rapprochant de l'eau des précipitations;
- **Nappe captive** : eau ancienne, plus minéralisée, parfois saumâtre.

Critères de qualité de l'eau

Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES (CMA)** sont des **normes** bactériologiques et physicochimiques visant à éviter des risques pour la santé humaine. Elles proviennent du Règlement sur la qualité de l'eau potable du Gouvernement du Québec (2015a).

- Ex. : Baryum < 1 mg/L, pour éviter des maladies cardiovasculaires ou une augmentation de la pression artérielle.
- Ex. : Fluorures < 1,5 mg/L, afin de prévenir la fluorose dentaire.

Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES (OE)** sont des **recommandations** pour les paramètres ayant un impact sur les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effets néfastes reconnus sur la santé humaine. Les paramètres dont la présence peut entraîner la corrosion ou l'entartrage des puits ou des réseaux d'alimentation en eau sont aussi visés par ces objectifs. Ils sont publiés par Santé Canada (2014).

- Ex. : Fer < 0,3 mg/L, fondé sur le goût et les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie.
- Ex. : Sulfures < 0,05 mg/L, fondé sur le goût et l'odeur.

2. Les caractéristiques régionales de l'eau souterraine

Résumé du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie*

Le projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* a été financé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) 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.

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 (superficie totale de 3 915 km²), soit 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). 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. Le rendu final du projet se présente sous forme d'un rapport scientifique décrivant les principaux résultats de l'étude, accompagné de 15 annexes (2000 pages), d'une trentaine de documents cartographiques à l'échelle 1:100 000, d'une base de données contenant tous les résultats compilés et d'une base de données géoréférencée de type « geodatabase ». Un rapport vulgarisé destiné au grand public est également disponible.

Le projet a été réalisé en trois phases entre 2009 et 2013, au cours desquelles plus d'une vingtaine de chercheurs, professionnels et assistants ont travaillé :

Phase 1 (2009-2010) : La première phase de l'étude 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. Plus de 6 400 données ponctuelles (puits, piézomètres et autres forages) ont été compilées à partir d'études antérieures.

Phase 2 (2010-2012) : Les travaux de terrain ont été réalisés au cours de la deuxième phase de l'étude afin de combler les lacunes identifiées lors de la première phase. Les travaux réalisés incluent 75 sondages de résistivité électrique, 50 relevés de sismique réfraction et 63 km linéaires de sismique-réflexion haute-résolution. De plus, 11 essais de pénétration au cône et 23 forages ont été réalisés à l'aide de différentes techniques. Ces travaux ont permis de documenter la stratigraphie des secteurs moins bien connus et d'installer des puits d'observation. Des essais hydrauliques et des mesures de niveau d'eau ont également été réalisés et 243 puits privés et municipaux ont été échantillonnés afin de mesurer la qualité des eaux souterraines de la Mauricie.

Phase 3 (2012-2013) : La dernière phase 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.

Limites générales de l'étude

Les cartes réalisées dans le cadre de l'étude ont été préparées pour représenter des conditions régionales à l'échelle 1:100 000. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement. Par conséquent, les résultats du projet ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale.

La plupart des analyses hydrogéologiques réalisées dans le cadre de l'étude sont basées sur des méthodes de traitement impliquant des généralisations et une importante simplification de la complexité du milieu naturel.

Les données de base utilisées (ex. : puits, forages, affleurements rocheux) ont une répartition non uniforme sur le territoire. L'incertitude des analyses hydrogéologiques augmente dans les secteurs où il y a peu de données.

Les données de base utilisées proviennent de différentes sources (ex. : rapports de consultants, bases de données ministérielles, système d'information hydrogéologique (SIH)) pour lesquelles la qualité des données est variable. Une grande proportion des données proviennent du SIH et sont jugées de moins bonne qualité, tant au niveau des mesures géologiques et hydrogéologiques que des localisations rapportées. Ces données sont moins fiables individuellement, mais elles permettent de faire ressortir les tendances régionales des paramètres hydrogéologiques étudiés.

Les valeurs de certaines données et les analyses en découlant (ex. : piézométrie, recharge, qualité de l'eau) pourraient varier temporellement (jours, saisons, années, changements climatiques).

Les résultats des analyses de qualité de l'eau ne sont valides que pour le puits où l'échantillon a été récolté. Les pesticides et les contaminants organiques (hydrocarbures) n'ont pas été mesurés dans le cadre de l'étude, car ils correspondent généralement à des problématiques locales.

Approvisionnements en eau souterraine au sud-ouest de la Mauricie

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

Les contextes hydrogéologiques du sud-ouest de la Mauricie

Les Laurentides

- **Le plateau Laurentien :**

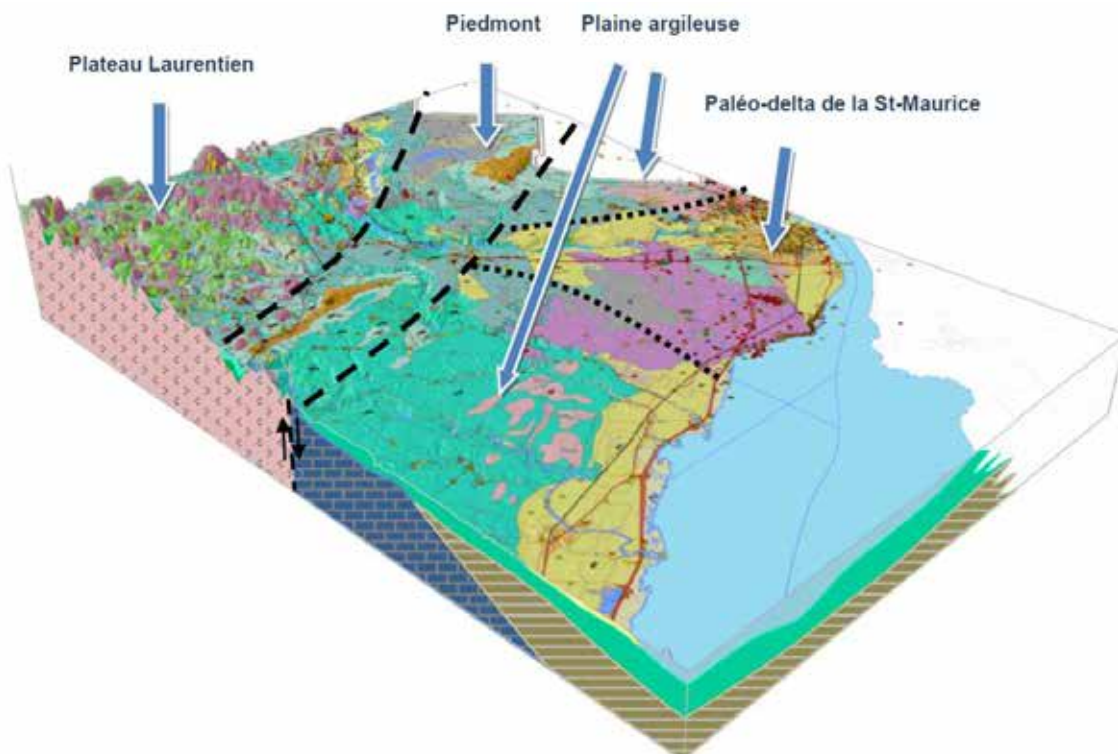
Ce contexte situé au nord du territoire qui appartient au Bouclier canadien est caractérisé par un aquifère régional à nappe libre constitué par le réseau de fissures du socle rocheux, lequel est parfois recouvert de dépôts d'origine glaciaire (till). Cet aquifère, peu productif, est surtout exploité par des puits domestiques.

- **Les vallées des rivières :**

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.

- **Le piedmont :**

On y retrouve la moraine frontale de Saint-Narcisse, formée lors d'une réavancée glaciaire. La moraine forme fréquemment des aquifères doubles composés d'une nappe libre dans les sables superficiels, de l'aquitard, puis d'une nappe captive dans les sédiments fluvio-glaciaires reposant sur le socle rocheux. Ces aquifères sont isolés hydrauliquement les uns des autres, comme par exemple les aquifères exploités par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré. On retrouve trois principaux segments de la moraine de Saint-Narcisse, situés sur le territoire des municipalités de Notre-Dame-du-Mont-Carmel, Charrette, Sainte-Angèle-de-Prémont et Saint-Paulin. La municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel puise son eau potable dans le segment situé sur son territoire, de même que la municipalité de Saint-Paulin. Le segment Sainte-Angèle-de-Prémont/Saint-Paulin est aussi exploité par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré. Le segment de Charette n'est pas exploité, bien que les travaux de forage réalisés en 2011 dans le cadre de ce projet aient confirmé la présence d'un aquifère à nappe libre et d'un aquifère à nappe captive dans ce segment.



Les Basses-terres

- **Les dépôts de la faille de Saint-Cuthbert :**

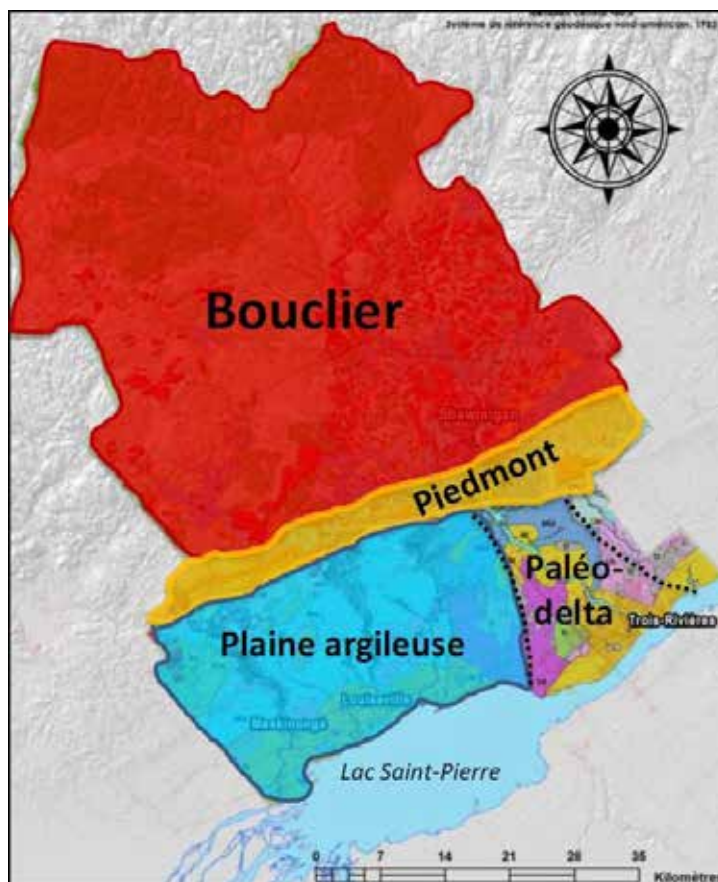
Ces dépôts sont des aquifères captifs qui résultent de l'accumulation de sédiments granulaires dans une série de dépressions du socle rocheux observées le long de l'axe de la faille de Saint-Cuthbert, qui délimite sur une grande partie du territoire les Laurentides des Basses-terres du Saint-Laurent. 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.

- **Le paléodelta de la rivière Saint-Maurice :**

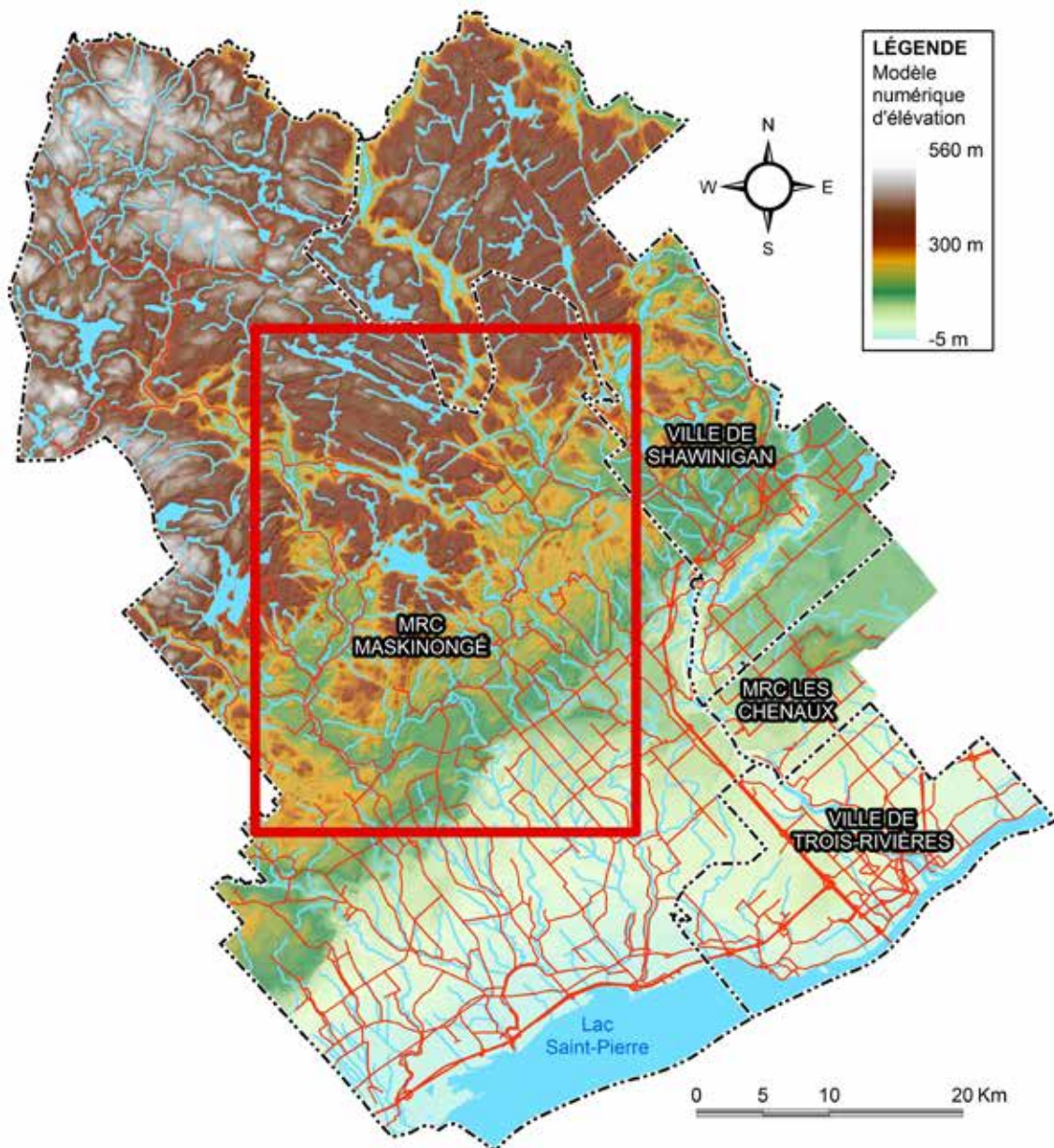
Ce contexte constitue l'aquifère le plus important du territoire. Cet aquifère à nappe libre est exploité par la Ville de Trois-Rivières. À Saint-Boniface, Shawinigan, Saint-Étienne-des-Grès et Notre-Dame-du-Mont-Carmel, la nappe libre est de faible épaisseur et il n'est possible d'y installer un puits aux 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 recoupent, 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.

- **La plaine argileuse :**

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



3. Les contextes hydrogéologiques des Laurentides



Épaisseur des dépôts meubles

Définition

Lorsque les **DÉPÔTS MEUBLES** sont grossiers (sables et graviers) et que leur épaisseur est suffisamment importante, ils peuvent constituer un **AQUIFÈRE**. Cependant, si les dépôts meubles sont fins (argile et silt), peu perméables et suffisamment épais, ils formeront plutôt un **AQUITARD**. Les informations sur l'épaisseur des dépôts meubles peuvent aussi s'avérer utiles dans d'autres domaines que l'hydrogéologie comme la géotechnique et la construction de bâtiments et d'infrastructures.



AQUIFÈRE,
AQUITARD page 10,
DÉPÔTS MEUBLES
page 11

Méthode utilisée

La topographie du socle rocheux a préalablement été cartographiée à l'aide de la base de données géoréférencée, en faisant d'abord un tri des forages atteignant le socle rocheux, en convertissant la profondeur du socle en élévation, en y ajoutant des points d'élévation du terrain correspondant aux zones d'affleurements rocheux, puis en interpolant la surface par calcul géostatistique. L'épaisseur totale des dépôts meubles a ensuite été cartographiée en faisant la soustraction entre la surface du modèle numérique d'élévation du terrain et la surface du socle rocheux.

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Sur l'ensemble du territoire du sud-ouest de la Mauricie, le socle rocheux possède des altitudes qui varient de près de -100 m sous le niveau de la mer, à Trois-Rivières, à 550 m à l'extrémité nord-ouest du territoire. La surface du socle rocheux des Laurentides est caractérisée par des altitudes élevées et un relief accidenté.

Sur l'ensemble du territoire du sud-ouest de la Mauricie, la couverture de dépôts meubles possède une épaisseur qui varie de nulle à 150 m. Les zones de couverture nulle à faible sont localisées dans les Laurentides. On observe toutefois des accumulations de dépôts meubles dans les fonds de vallées et à leur sortie, ainsi que le long de la moraine de Saint-Narcisse.



F On retrouve une petite zone de plus de 100 m d'épaisseur localisé dans le Piedmont.

Vrai Faux

F Le centre-ville de Saint-Paulin repose sur des dépôts meubles de près de 50 m d'épaisseur.

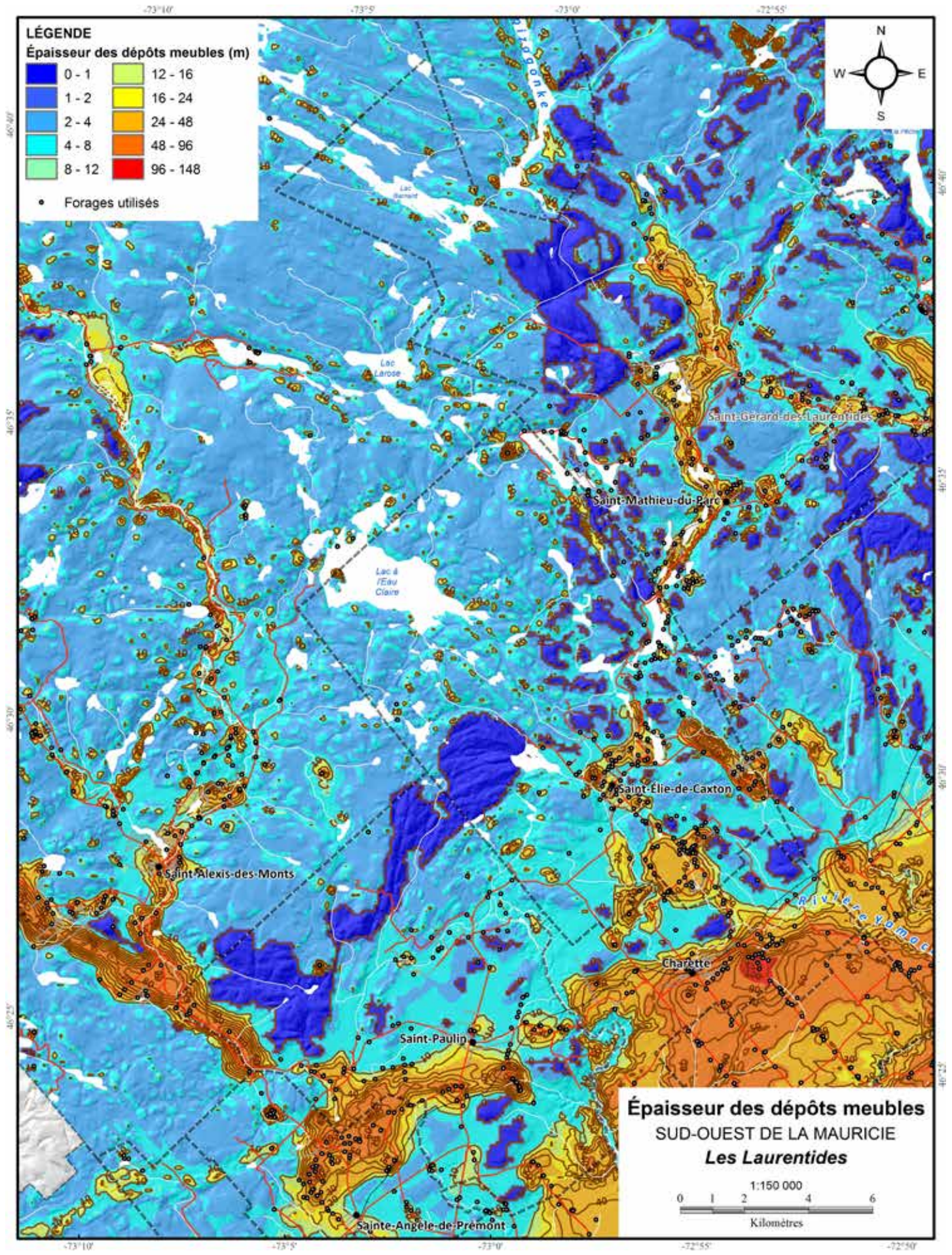
Vrai Faux

F En général, on retrouve une couverture mince de sédiments dans les vallées.

Vrai Faux

M Est-ce que la carte de l'épaisseur des dépôts meubles permet de localiser les milieux aquifères de dépôts meubles (expliquez votre raisonnement)?

M Pourquoi retrouve-t-on peu ou pas de dépôts meubles sur les hauts topographiques et des épaisseurs plus importantes dans les vallées?



Profils hydrostratigraphiques

Définition

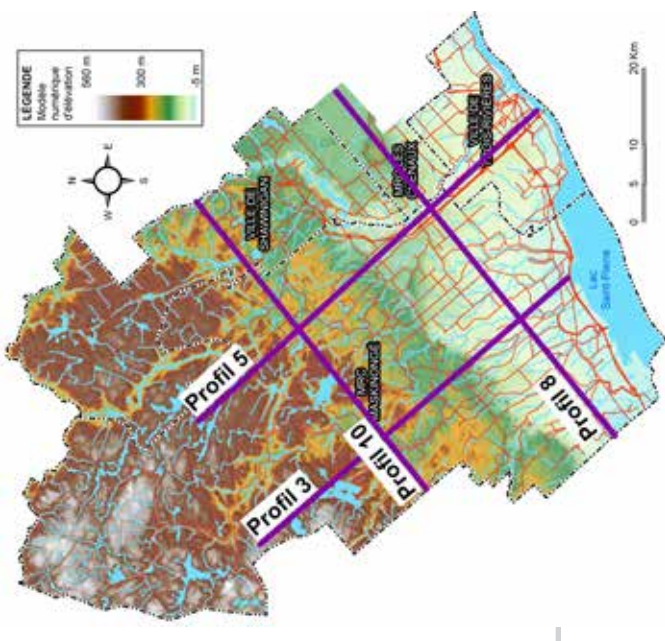
Un profil hydrostratigraphique est une représentation verticale de la distribution spatiale des unités hydrostratigraphiques retrouvées en profondeur, afin d'en apprécier la continuité, l'étendue et l'épaisseur. Les unités hydrostratigraphiques sont des dépôts meubles ou des roches aux propriétés hydrauliques similaires. Cette définition permet de distinguer les unités desquelles l'eau souterraine peut facilement être extraite (aquifères) des unités qui permettent difficilement à l'eau d'y circuler (aquitards).

Méthode utilisée

Un modèle géologique tridimensionnel simplifié a d'abord été élaboré. Il est composé de six couches superposées par-dessus le socle rocheux et qui représentent les principales unités de dépôts meubles qui se retrouvent sur le territoire, soit les sédiments quaternaires anciens, les sédiments glaciaires et fluvioglaciers, les sédiments marins d'eau profonde, les sédiments de la moraine de Saint-Narcisse et les sédiments sableux superficiels de toutes origines. Puisqu'il s'agit d'un modèle à l'échelle régionale, plusieurs simplifications stratigraphiques ont été faites, de façon à ne représenter que les grandes unités qu'il est possible d'attribuer à des aquifères ou des aquitards.

Les couches du modèle géologique tridimensionnel ont ensuite été regroupées selon leurs caractéristiques hydrogéologiques en quatre principales unités hydrostratigraphiques :

- Unité 1 : **aquifère** formé par les réseaux de fissures du socle rocheux ;
- Unité 2 : **aquifère** formé par les sédiments fluvioglaciers et glaciaires ;
- Unité 3 : **aquitard** formé par les sédiments fins ;
- Unité 4 : **aquifère** formé par les sédiments sableux.



F L'aquifère formé par les réseaux de fissures du socle rocheux est partout présent.

Vrai Faux

F En général, dans les Laurentides, les aquifères de dépôts meubles et les aquitards sont situés sur les hauts topographiques.

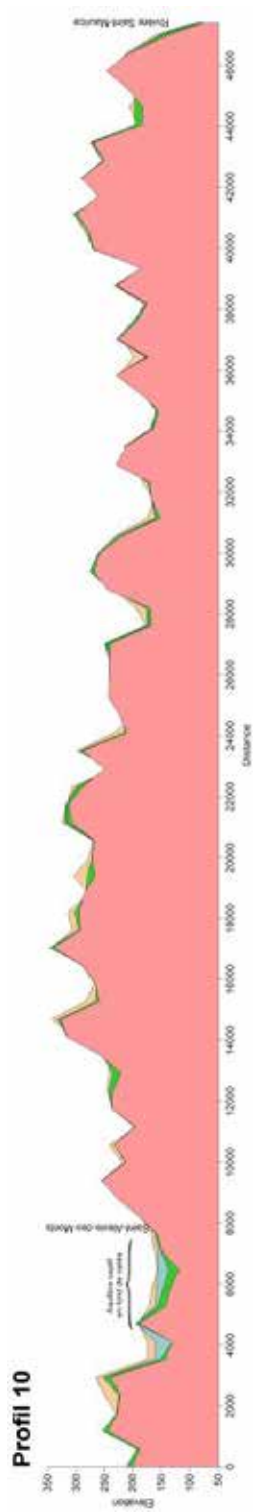
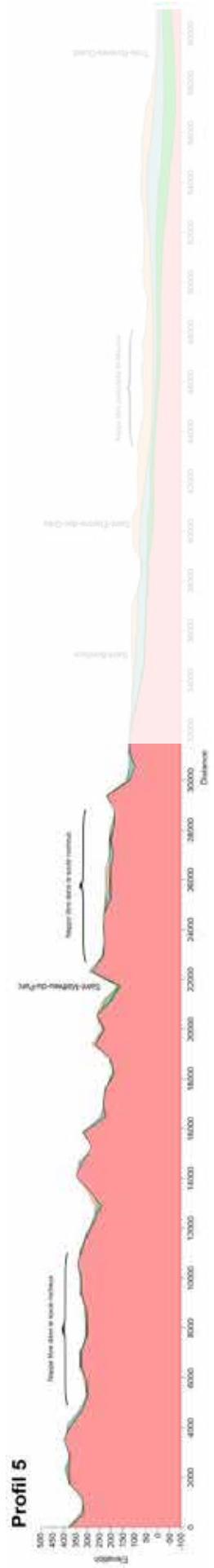
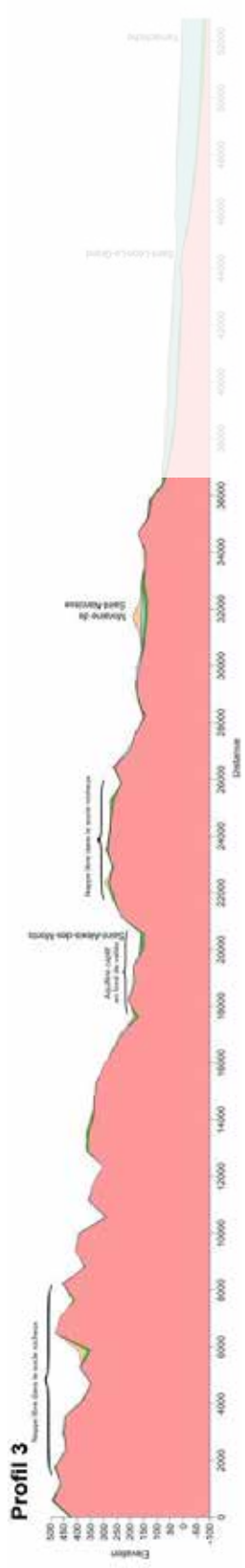
Vrai Faux

F L'aquifère formé par les sédiments fluvioglaciers et glaciaires est parfois recouvert par des sédiments fins.

Vrai Faux

F Quelle est la séquence complète d'empilement vertical des dépôts meubles et où la retrouve-t-on sur le profil 10?

M Pourquoi considère-t-on la moraine de Saint-Narcisse comme formant fréquemment un contexte d'aquifère double?



- Unité 1 : aquifère formé par les réseaux de fissures du socle rocheux
- Unité 2 : aquifère formé par les sédiments fluvioglaciaires et glaciaires
- Unité 3 : aquitard formé par les sédiments fins
- Unité 4 : aquifère formé par les sédiments sableux.

Un filtre transparent a été appliqué sur la portion des profils qui ne correspond pas au secteur des Laurentides.

Contextes hydrogéologiques

Définition

Les contextes hydrogéologiques sont définis sur la base du mode de mise en place et de la distribution souterraine des dépôts meubles. Les séquences d'empilement vertical des dépôts meubles recouvrant le roc fracturé exercent une influence sur les conditions d'écoulement et la qualité de l'eau souterraine, et peuvent fournir des informations d'intérêt pour l'exploitation et la gestion des ressources en eau souterraine.



NAPPE CAPTIVE, LIBRE et SEMI-CAPTIVE page 13,
AQUIFÈRE DOUBLE page 13

Méthode utilisée

La superposition des quatre principales unités hydrostratigraphiques identifiées par le modèle géologique tridimensionnel (voir p. 26) permet de définir les six contextes hydrogéologiques suivants qui sont réinterprétés sur la légende de la carte ci-contre :

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

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Le plateau Laurentien est dominé par un contexte d'aquifère régional à nappe libre constitué par le réseau de fissures du socle rocheux, lequel est situé près de la surface.

Dans les importantes vallées, on retrouve l'ensemble des autres contextes, soit parfois des aquifères constitués de matériaux granulaires perméables souvent 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 isolé hydrauliquement l'un de l'autre, composé d'une nappe libre dans les sables superficiels, de l'aquitard, puis d'une nappe captive dans les sédiments fluvio-glaciaires reposant sur le socle rocheux.



- F** Le contexte de nappe captive dans le roc ou le till domine sur le plateau Laurentien.
Vrai Faux
- F** On retrouve tous les contextes (ou presque) dans les vallées importantes.
Vrai Faux
- M** Au droit de la moraine de Saint-Narcisse, dans le piedmont, les contextes d'aquifère double sont fréquents.
Vrai Faux
- M** Un aquifère à nappe libre est alimenté par l'eau des précipitations qui provient directement de la surface.
Vrai Faux
- F** Contrairement aux aquifères granulaires du secteur des Laurentides, pourquoi qualifie-t-on le roc fracturé comme étant un aquifère régional?
- F** Pourquoi les sédiments fins constituant un aquitard et responsables du confinement des aquifères sont-ils seulement présents dans les vallées des Laurentides et le piedmont?

Épaisseur et limites de l'aquifère à nappe libre

Définition

Un aquifère est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage. Les fractures du socle rocheux permettent une circulation d'eau souterraine parfois suffisante pour le captage. Le pompage de débits plus importants est souvent possible dans les sédiments grossiers (sables et graviers). Plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable.



AQUIFÈRE page 10, **AQUIFÈRE DE DÉPÔTS MEUBLES** et **AQUIFÈRE DE ROC FRACTURÉ** page 11

Méthode utilisée

La carte d'épaisseur et de limites des aquifères régionaux à nappe libre a été élaborée à l'intérieur des limites des polygones définissant les contextes hydrogéologiques (voir p. 28), en soustrayant les surfaces tirées du modèle géologique tridimensionnel qui délimitent la base et le sommet des aquifères.

Dans le cas des aquifères à nappe libre situés dans les dépôts meubles, une épaisseur arbitraire minimale de six mètres, incluant la partie non saturée, a été considérée parce qu'en deçà de cette épaisseur, il est peu probable d'obtenir une transmissivité suffisante pour y exploiter un ouvrage de captage de plus de 75 m³/jour.

Dans le cas des aquifères à nappe captive situées dans les dépôts meubles, ils n'ont pas été délimités autrement que sur la carte des contextes hydrogéologiques (voir p. 28 – trame hachurée) car, d'une part, la connaissance de ces aquifères est très limitée et, d'autre part, ces aquifères sont locaux, plutôt que régionaux.

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

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Les aquifères des vallées des rivières du Loup, Maskinongé, Yamachiche et Shawinigan sont constitués d'une nappe libre et sont composés d'une couche de sable fin à moyen qui superpose une couche de sédiments fins (aquitard). Les municipalités de Saint-Édouard-de-Maskinongé, Sainte-Ursule, Saint-Alexis-des-Monts, Saint-Élie-de-Caxton, Charette, Saint-Mathieu-du-Parc, ainsi que la régie d'aqueduc de Grand-Pré, secteurs Saint-Édouard, Fontarabie et Sainte-Ursule tirent leur approvisionnement en eau dans ces aquifères.

La moraine de Saint-Narcisse, située dans le piedmont, et les dépôts meubles adjacents forment des aquifères composés de sable et de gravier parfois constitués d'une nappe captive jaillissante, parfois d'une nappe libre et parfois des deux (aquifère double). On retrouve trois principaux segments de la moraine : 1) la municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel puise son eau potable dans le segment situé sur son territoire; 2) le segment Sainte-Angèle-de-Prémont/Saint-Paulin est exploité par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré et la municipalité de Saint-Paulin; 3) le segment de Charette n'est, quant à lui, pas exploité.



F Les vallées des rivières du Loup et Yamachiche contiennent des aquifères de dépôts meubles à nappe libre.

Vrai Faux

F L'aquifère du segment Sainte-Angèle-de-Prémont/Saint-Paulin de la moraine de Saint-Narcisse, qui est exploité par la Régie d'aqueduc de Grand-Pré, atteint plus de 30 m d'épaisseur.

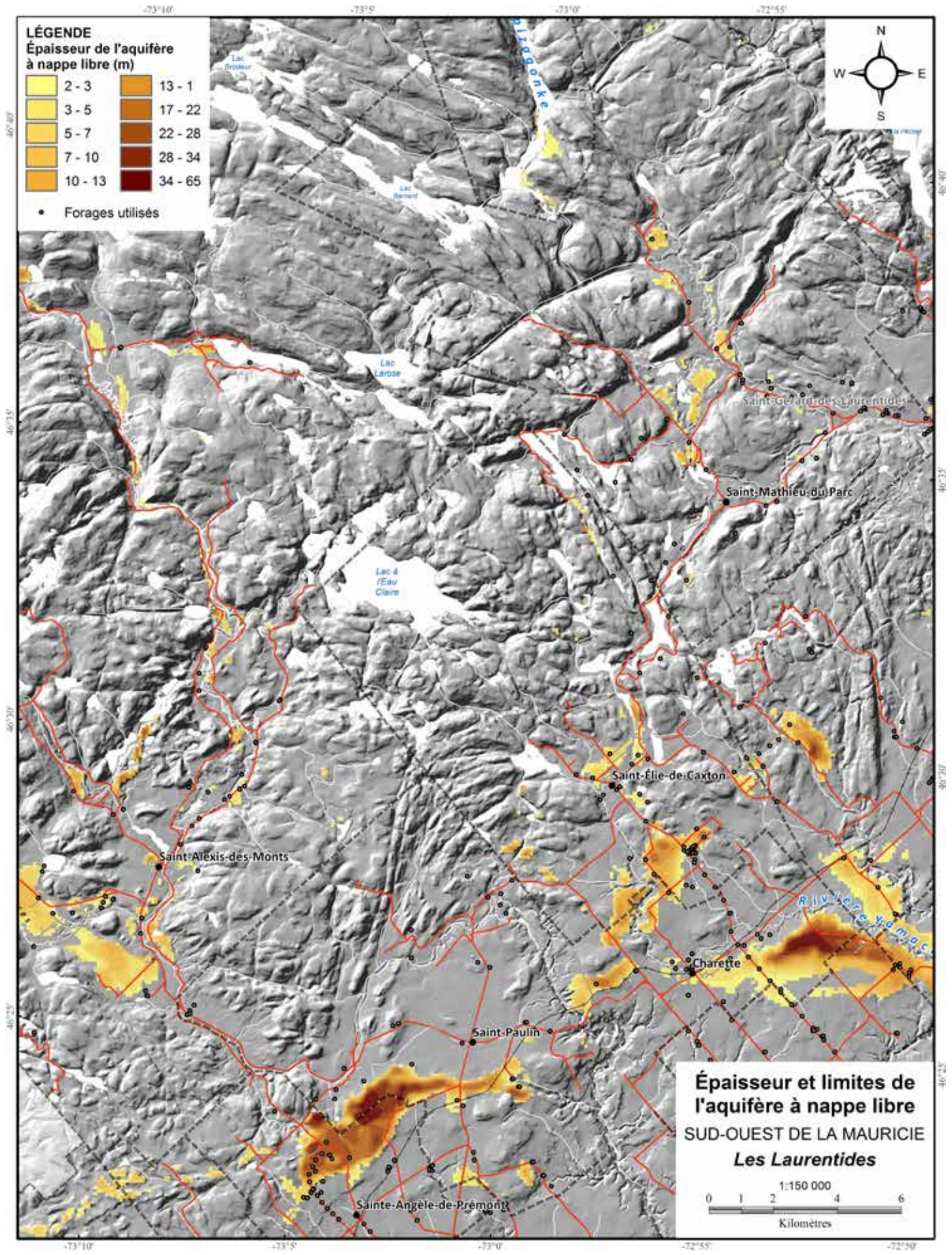
Vrai Faux

F L'aquifère du segment Charette de la moraine de Saint-Narcisse, qui n'est actuellement pas exploité, semble peu intéressant pour l'exploitation de son eau souterraine.

Vrai Faux

F D'après cette carte, quelles sont les sources d'approvisionnement en eau disponibles pour les villégiateurs autour des lacs du plateau Laurentien?

M Pourquoi les aquifères à nappes captives situées dans les dépôts meubles, ne sont pas délimités sur la carte ci-contre?



Piézométrie de la nappe libre

Définition

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Si l'aquifère est à nappe libre, ce niveau correspond également à l'élévation de la **NAPPE** dans l'aquifère. Si l'aquifère est à nappe captive, le niveau d'eau dans le puits se trouve au-dessus du toit de l'aquifère, puisque celui-ci est sous pression. . La carte piézométrique représente l'élévation de la nappe dans un aquifère à nappe libre et la pression dans un aquifère à nappe captive. La **PIÉZOMÉTRIE** permet de connaître le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère, qui va des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse.



NAPPE page 10,
PIÉZOMÉTRIE,
NIVEAU
PIÉZOMÉTRIQUE
page 14

Méthode utilisée

La piézométrie de la nappe libre a été dressée à l'aide des données ponctuelles de niveau d'eau tirées des sources de données existantes et des travaux de terrain. Deux méthodes ont été utilisées, soit par modélisation numérique de l'écoulement souterrain et par calcul d'interpolation géostatistique. Aux fins de préparation de la carte de l'indice de vulnérabilité et pour calculer les volumes d'eau disponibles dans les aquifères, la piézométrie calculée par interpolation a été retenue, tandis que les résultats de modélisation ont été utilisés afin de préparer la carte piézométrique de la nappe libre, cartographier les zones de recharge et de résurgence des eaux souterraines et aussi pour obtenir une compréhension générale des écoulements souterrains.

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Sur le territoire du plateau Laurentien, la surface piézométrique 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. La surface piézométrique des nappes comprises dans les sédiments fluvioglaciaires est, quant à elle, beaucoup plus plane, tandis que les directions d'écoulement sont vers les cours d'eau qui drainent les vallées.

Sur le territoire du piedmont, la surface piézométrique est semblable à celle du plateau Laurentien, dans la mesure où un important contraste de perméabilité entre le socle rocheux et les dépôts meubles granulaires fait en sorte que la surface alterne entre des zones bosselées et des zones relativement planes. Par contre, la surface piézométrique des dépôts meubles ne correspond pas à la forme de vallées allongées.



F L'écoulement régional de l'eau souterraine s'effectue de manière générale du sud vers le nord.

Vrai Faux

M Puisque l'on retrouve des pentes abruptes de la surface piézométrique sur les flancs des vallées, on peut s'attendre à un écoulement rapide de l'eau souterraine.

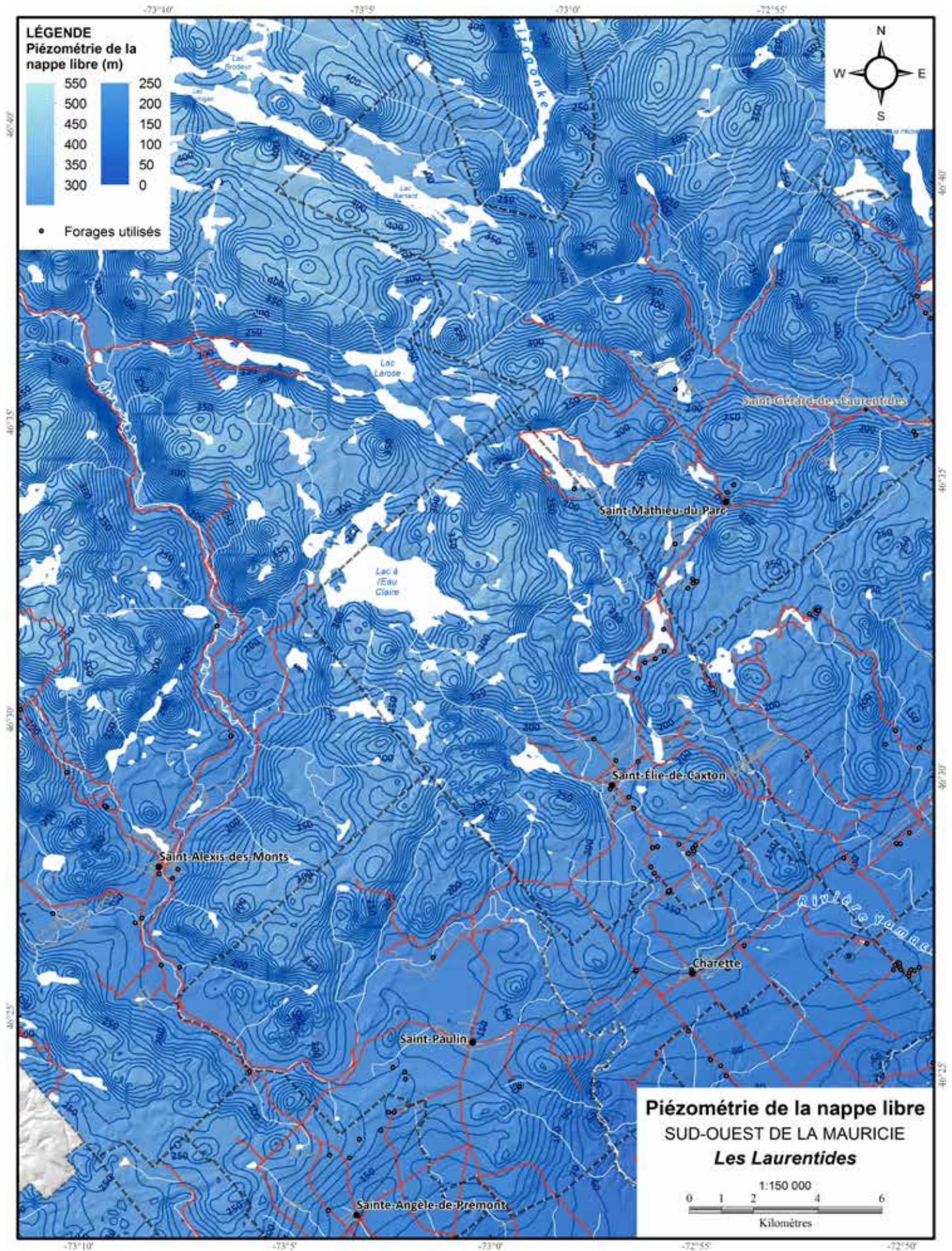
Vrai Faux

M La municipalité de Charrette reçoit une bonne part de son eau souterraine depuis la municipalité de Saint-Élie-de-Caxton.

Vrai Faux

F Quel phénomène observe-t-on lorsque le niveau piézométrique est supérieur au niveau du sol?

M Pour une municipalité s'approvisionnant en eau souterraine, pourquoi est-ce important de déterminer le sens d'écoulement de l'eau souterraine?



Recharge et résurgence

Définition

La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau qui alimente l'aquifère depuis l'infiltration en surface. L'estimation de la recharge est nécessaire pour évaluer les ressources disponibles en eau souterraine, car les débits qui peuvent être exploités de façon durable dépendent du renouvellement de l'eau souterraine.



**RECHARGE et
RÉSURGENCE**
page 14

Une **RÉSURGENCE** correspond à l'exutoire de l'eau souterraine qui refait surface, soit sous forme de source, soit dans les cours d'eau ou les milieux humides. Les résurgences peuvent se produire lorsque le niveau piézométrique de la nappe d'un aquifère dépasse le niveau de la surface du sol.

Méthode utilisée

Le taux de recharge potentiel des aquifères a été estimé sur l'ensemble du territoire à partir de la pente du terrain, la nature des dépôts meubles et les données climatiques telles que les précipitations et les températures quotidiennes minimale et maximale. Les taux de recharge par unité de surface ont ensuite servi de paramètres dans le modèle numérique d'écoulement souterrain (voir p. 32) et une carte des flux d'eau a été générée pour l'ensemble du territoire. Trois classes de flux ont été identifiées :

1. les zones de recharge préférentielle (plus de 400 mm/an) ;
2. les zones de recharge élevée (250 à 400 mm/an) ;
3. les zones de résurgence (flux négatifs).

Interprétation pour le secteur des Laurentides

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



- F** La recharge la plus élevée se retrouve dans le piedmont, sur la moraine de Saint-Narcisse.
Vrai Faux
- F** Les vallées reçoivent très peu de recharge.
Vrai Faux
- F** Le village de Saint-Gérard-des-Laurentides est situé sur (ou très près) d'une zone de résurgence.
Vrai Faux
- M** Pourquoi retrouve-t-on de grandes zones de résurgence au sud de la moraine de Saint-Narcisse?
- M** Comment les eaux souterraines sont-elles liées hydrauliquement avec les milieux humides?

Vulnérabilité de la nappe libre

Définition

La **VULNÉRABILITÉ** d'un aquifère est sa sensibilité à la pollution de l'eau souterraine à partir de l'émission de contaminants à la surface du sol. La carte de vulnérabilité permet d'intégrer un ensemble de conditions qui contribuent à la vulnérabilité d'un aquifère, « traduisant » ainsi la connaissance hydrogéologique en un outil facilement applicable par des non-spécialistes.



**VULNÉRABILITÉ,
DRASTIC** page 15

Méthode utilisée

La vulnérabilité des aquifères a été évaluée par la méthode **DRASTIC** qui permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres physiques et hydrogéologiques. L'indice DRASTIC peut varier de 23 à 226. Trois classes de vulnérabilité ont été définies dans le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (Gouvernement du Québec, 2015b) :

- « Faible » : indice de 100 ou moins,
- « Moyen » : indice de plus de 100 et de moins de 180,
- « Élevé » : indice de 180 ou plus.

La carte ci-contre présente les indices DRASTIC pour la nappe libre seulement, bien que la vulnérabilité des nappes captives et semi-captives a aussi été évaluée.

Interprétation pour le secteur des Laurentides

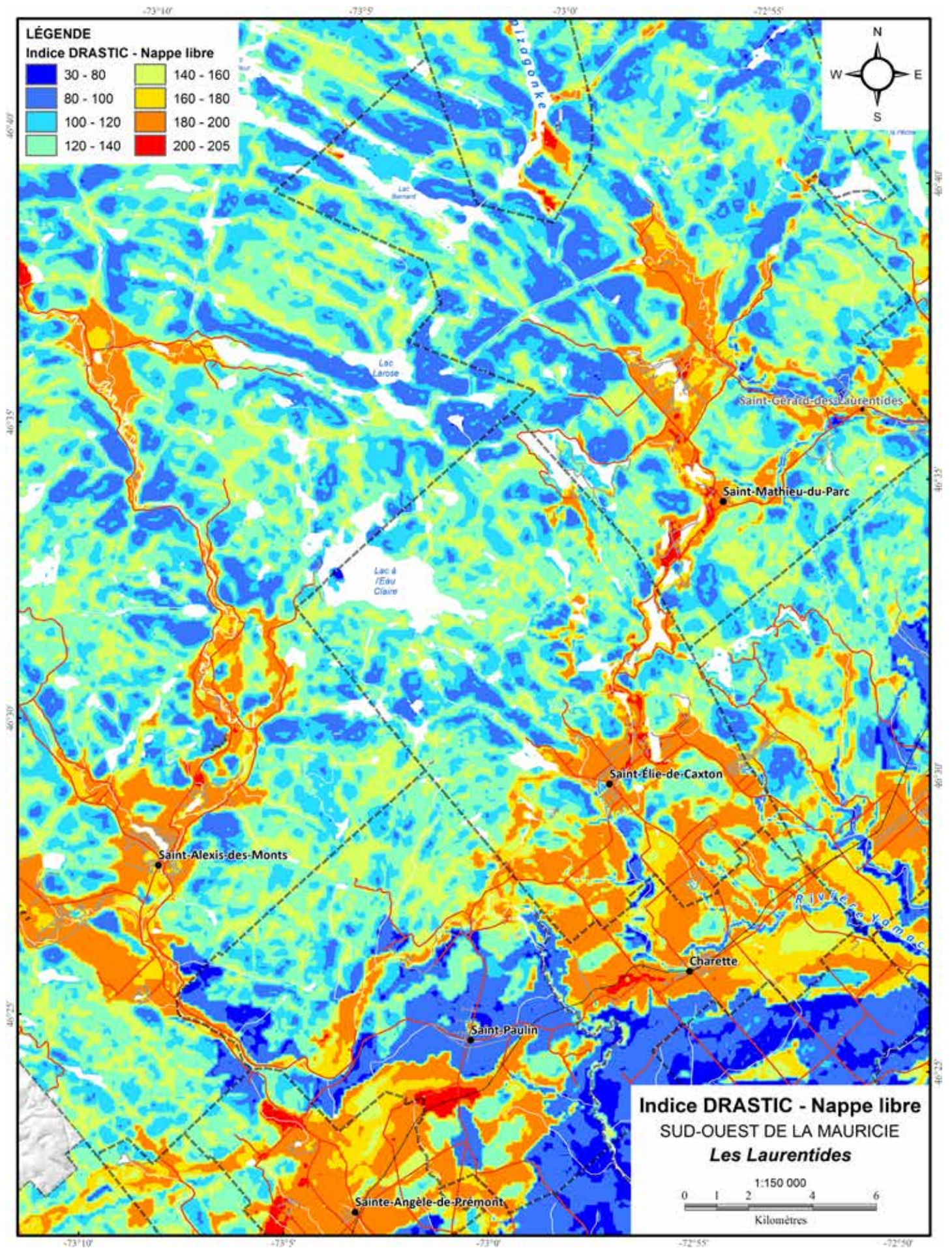
Les zones de roc affleurant ou sous une mince couche de till du plateau Laurentien possèdent une vulnérabilité plutôt moyenne, soit entre 80 et 140.

Les sables et graviers superficiels associés aux vallées des rivières et les crêtes de la moraine de Saint-Narcisse dans la zone du piedmont possèdent une vulnérabilité plutôt élevée, soit un indice DRASTIC entre 160 et 200.

Les nappes semi-captives du piedmont possèdent un indice DRASTIC légèrement inférieur estimé entre 120 et 160 (non montrées sur la carte ci-contre).



- F** La vulnérabilité des vallées et des segments de la moraine de Saint-Narcisse est souvent faible.
Vrai Faux
- F** Le territoire de la municipalité de Saint-Paulin présente l'ensemble des classes de vulnérabilité, soit «faible», «moyen» et «élevé».
Vrai Faux
- M** Les zones de recharge préférentielles coïncident généralement avec les zones à vulnérabilité plus élevées.
Vrai Faux
- F** Pourquoi les aquifères identifiés sur la carte d'épaisseur et limites de l'aquifère à nappe libre sont-ils de manière générale les plus vulnérables?
- M** Pourquoi les aquifères du plateau Laurentien ont-ils une vulnérabilité plus faible que dans les vallées et le piedmont?



Qualité de l'eau – Critères de santé

Définition

La qualité de l'eau s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES (CMA)** sont des normes visant à éviter des risques pour la santé humaine.



**CONCENTRATIONS
MAXIMALES
ACCEPTABLES**

page 16

Méthode utilisée

Dans le cadre de l'étude, 243 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans des puits privés et municipaux. Parmi ceux-ci, 223 ont été utilisés pour l'analyse des dépassements des normes physicochimiques et 120 pour l'analyse des normes bactériologiques.

Interprétation pour l'ensemble du territoire

Les dépassements de CMA pour les quatre paramètres physicochimiques suivants, répartis sur 15 puits, ont été relevés pour l'ensemble de la Mauricie sud-ouest, en plus des dépassements des paramètres microbiologiques confondus suivants :

| Paramètre | CMA | Nb de dépassements | Proportion des échantillons | Norme ou recommandation fondée sur : |
|--|---|--------------------|-----------------------------|---|
| Baryum (Ba) | 1,0 mg/L | 5 | 2 % | Maladies cardiovasculaires et augmentation de la pression artérielle |
| Fluorures (F) | 1,5 mg/L | 9 | 4 % | Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique) |
| Nitrite - Nitrates (NO ₂ -NO ₃) | 10 mg/L | 1 | < 1 % | Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu) et effets sur la fonction de la glande thyroïde chez les nourrissons alimentés au biberon; probablement cancérigène |
| Plomb (Pb) | 0,01 mg/L | 1 | < 1 % | Effets biochimiques et neurocomportementaux chez les nourrissons et les jeunes enfants, anémie, effets sur le système nerveux central, etc. |
| Paramètres microbiologiques (tous confondus) | • 10 coliformes totaux/100 mL • 0 coliforme fécal • 0 entérocoque | 47 | 39 % | Principalement des maladies et troubles gastro-intestinaux |

Les causes des présences élevées en fluorures et baryum sont d'origines naturelles, issues de la lente dissolution des minéraux contenus dans les matériaux qui forment les aquifères.

Le seul dépassement documenté en plomb serait d'origine anthropique et non représentatif de l'eau souterraine captée, car 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.

Les concentrations en nitrates de plus de 2 mg/L sont d'origine anthropique, provenant des fertilisants agricoles organiques et chimiques, des rejets sanitaires ou de la décomposition d'organismes végétaux et animaux. La plupart sont localisées dans les aquifères à nappe libre du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. Toutefois, le seul dépassement de plus de 10 mg/L observé ne peut être corrélé à une origine anthropique puisqu'il provient d'un puits qui capte une eau saumâtre non consommée confinée sous environ 90 mètres d'argile marine.

Les dépassements des paramètres microbiologiques sont attribuables à l'activité humaine (présence d'éléments épurateurs individuels ou autres sources de bactéries) combinée soit à la vulnérabilité élevée de l'aquifère (nappe libre, matériau de surface perméable, taux de recharge élevé, etc.) ou soit à un vice de construction du puits (accumulation d'eau autour du puits, absence de collerette étanche, margelle inexistante) permettant aux eaux de surface de s'infiltrer directement dans les puits.

Le temps de résidence des eaux souterraines dans les aquifères, déterminé à l'aide des isotopes du tritium et du carbone, est plus court pour les nappes libres que pour les nappes captives. Il varie de moins d'un an dans les nappes libres de sable, à plus de 30 000 ans dans la nappe captive du socle rocheux des Basses-terres enfouie sous les argiles de la mer de Champlain.

F Les dépassements en baryum et en fluorures sont de causes naturelles.

Vrai Faux

F Outre les paramètres microbiologiques, l'eau souterraine des Laurentides présente très peu de dépassements des CMA et est généralement potable.

Vrai Faux

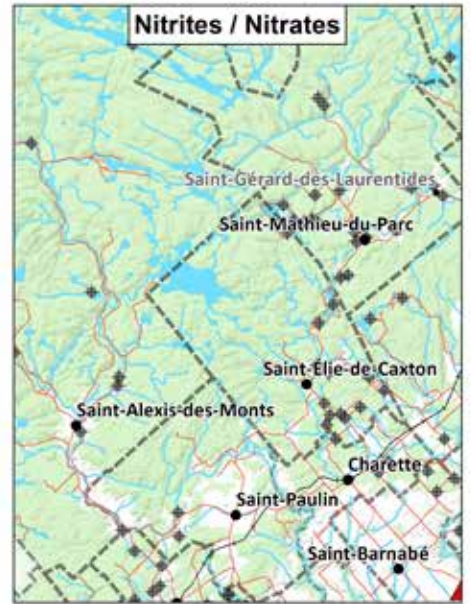
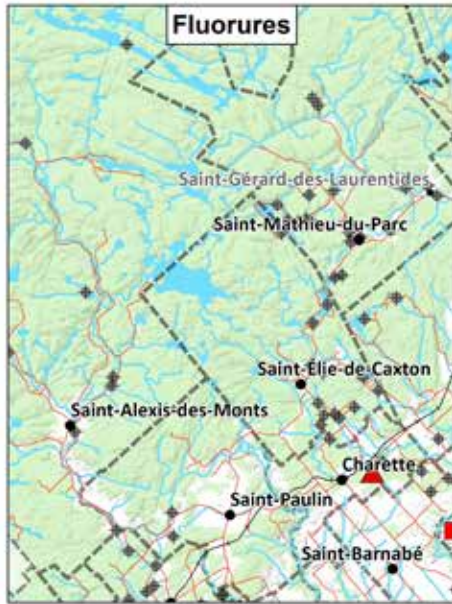
F L'aquifère de roc semble plus propice aux dépassements des paramètres microbiologiques.

Vrai Faux

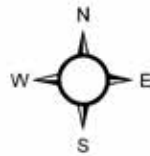
M Pourquoi les dépassements en baryum sont-ils problématiques?

D Lorsqu'aucun dépassement de CMA n'est observé dans un puits, est-ce que l'eau peut être consommée sans traitement (expliquez votre raisonnement)?



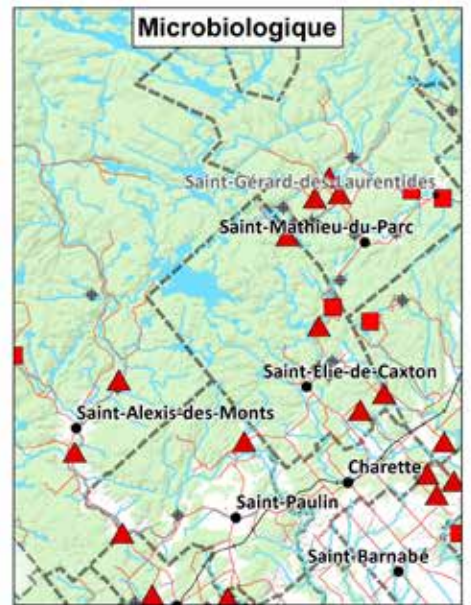


Qualité de l'eau souterraine
Critères de santé
SUD-OUEST DE LA MAURICIE
Les Laurentides



LÉGENDE

- ▲ Dépassement dans les dépôts meubles
- Dépassement dans le socle rocheux
- ◆ Aucun dépassement



Qualité de l'eau – Critères esthétiques

Définition

Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES** (OE) sont des recommandations concernant les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effets néfastes reconnus sur la santé humaine.



OBJECTIFS ESTHÉTIQUES
page 16

Méthode utilisée

Dans le cadre de l'étude, 243 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans des puits privés et municipaux. Parmi ceux-ci, 223 ont été utilisés pour l'analyse des dépassements des objectifs esthétiques.

Interprétation pour l'ensemble du territoire

Les dépassements d'OE pour les huit paramètres suivants, répartis sur 110 puits, ont été relevés pour toute la Mauricie sud-ouest :

| Paramètre | OE | Nb de dépassements | Proportion des échantillons | Norme ou recommandation fondée sur : |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|---|
| Chlorures (Cl) | ≤ 250 mg/L | 13 | 6 % | Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution |
| Dureté | ≤ 200 CaCO ₃ mg/L | 9 | 4 % | Corrosion et entartrage |
| Fer (Fe) | ≤ 0,3 mg/L | 49 | 22 % | Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie |
| Manganèse (Mn) | ≤ 0,05 mg/L | 82 | 37 % | Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie |
| pH | entre 6,5 et 8,5 | 59 | 26 % | Influence sur l'efficacité du traitement |
| Sodium (Na) | ≤ 200 mg/L | 7 | 3 % | Goût |
| Solides totaux dissous | ≤ 500 mg/L | 16 | 7 % | Goût et entartrage |
| Sulfures (H ₂ S) | ≤ 0,05 mg/L | 3 | 1 % | Goût et odeur |

Les dépassements du fer et du manganèse, fréquemment corrélés, se trouvent dans les aquifères de fond de vallées des Laurentides et principalement dans l'aquifère à nappe libre du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. Leurs causes sont naturelles, en raison de l'altération météorique des roches et des minéraux ou de la dégradation de matière organique dans les milieux humides.

La plupart des dépassements du pH sont acides (90 %), se trouvent dans les dépôts meubles en condition de nappe libre et sont distribués uniformément sur le territoire. Les dépassements basiques (10 %) se situent dans le socle rocheux en condition captive et sont répartis principalement dans le piedmont et sur le plateau laurentien.

Huit puits où un dépassement dans les concentrations en solides totaux dissous est observé se situent dans les dépôts meubles en nappe libre, cinq dans le socle rocheux en nappe captive et trois dans les dépôts meubles en condition de nappe captive. Les dépassements en nappe captive peuvent être principalement expliqués par des causes naturelles, telle la présence d'eau salée fossile, tandis que les dépassements en nappe libre se situent dans les Basses-terres et sont expliqués par des concentrations élevées en chlorures de sodium provenant de sources anthropiques (infiltration de sel déglaçant, infiltrations des eaux usées industrielles, etc.).

Environ la moitié des dépassements en chlorures et en sodium tirent leur origine d'évènements géologiques tels la séquestration d'eau marine et proviennent tous d'une nappe captive. Les autres dépassements, situés dans des nappes libres, sont d'origine anthropique, tel l'épandage de sel déglaçant.

Les dépassements en dureté ont été identifiés dans quatre contextes hydrogéologiques, soit dans les dépôts meubles et dans le socle rocheux en condition de nappe libre et de nappe captive. Spatialement, trois de ces dépassements sont situés dans la plaine argileuse, quatre dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice et deux sur le plateau Laurentien.

Les dépassements en sulfures se trouvent dans trois contextes hydrogéologiques différents, soit dans le socle rocheux en condition de nappe libre et de nappe captive ainsi que dans les dépôts meubles en condition de nappe captive.

F Tous les échantillons présentent au moins un dépassement d'objectif esthétique.

Vrai Faux

M Les dépassements en salinité sont rares dans le secteur des Laurentides.

Vrai Faux

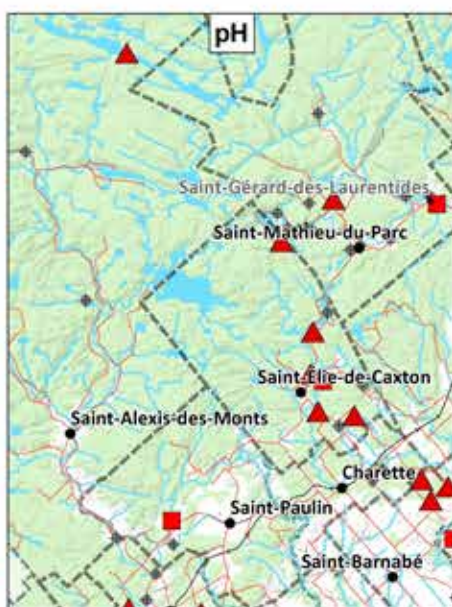
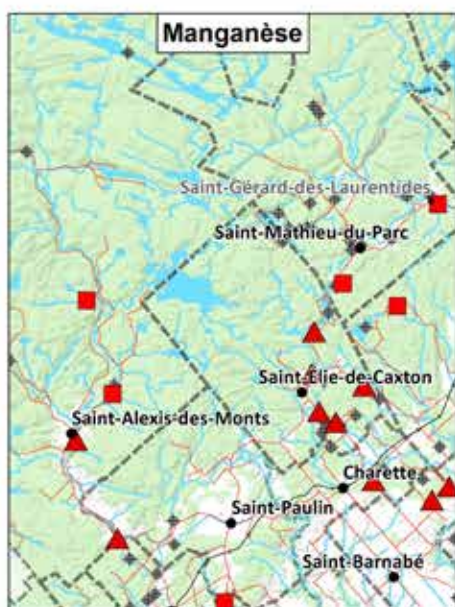
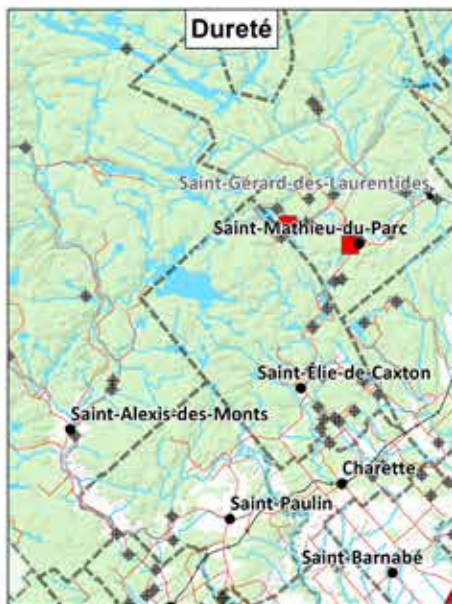
F Les problématiques liées au pH semblent affecter de manière plus fréquente les aquifères de dépôts meubles.

Vrai Faux

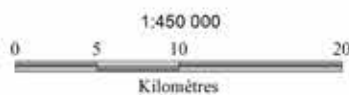
M Quelles sont les causes des concentrations élevées en fer et en manganèse?

M Pourquoi les dépassements en dureté sont-ils problématiques?





Qualité de l'eau souterraine
Objectifs esthétiques
SUD-OUEST DE LA MAURICIE
Les Laurentides



LÉGENDE

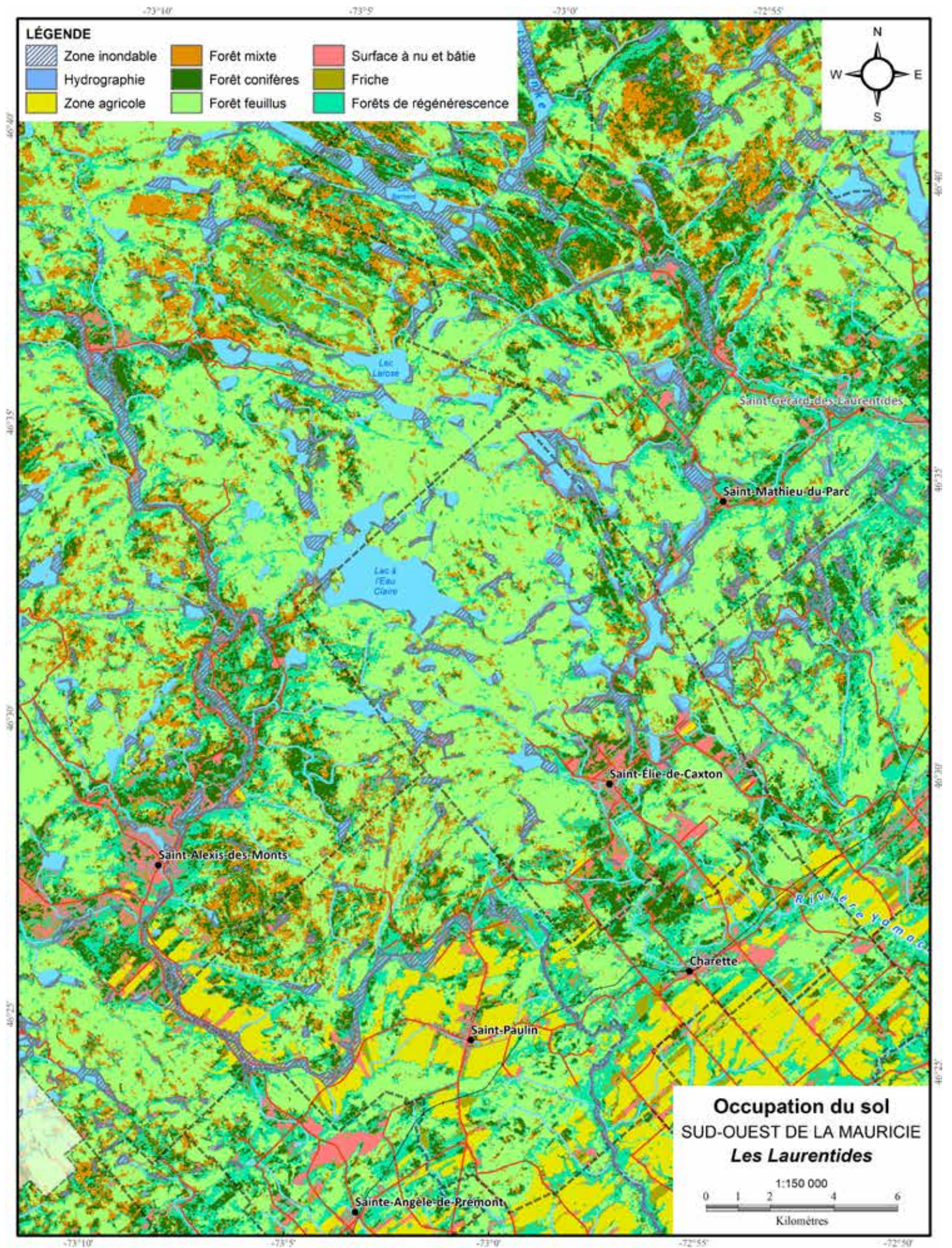
- ▲ Dépassement dans les dépôts meubles
- Dépassement dans le socle rocheux
- ◆ Aucun dépassement

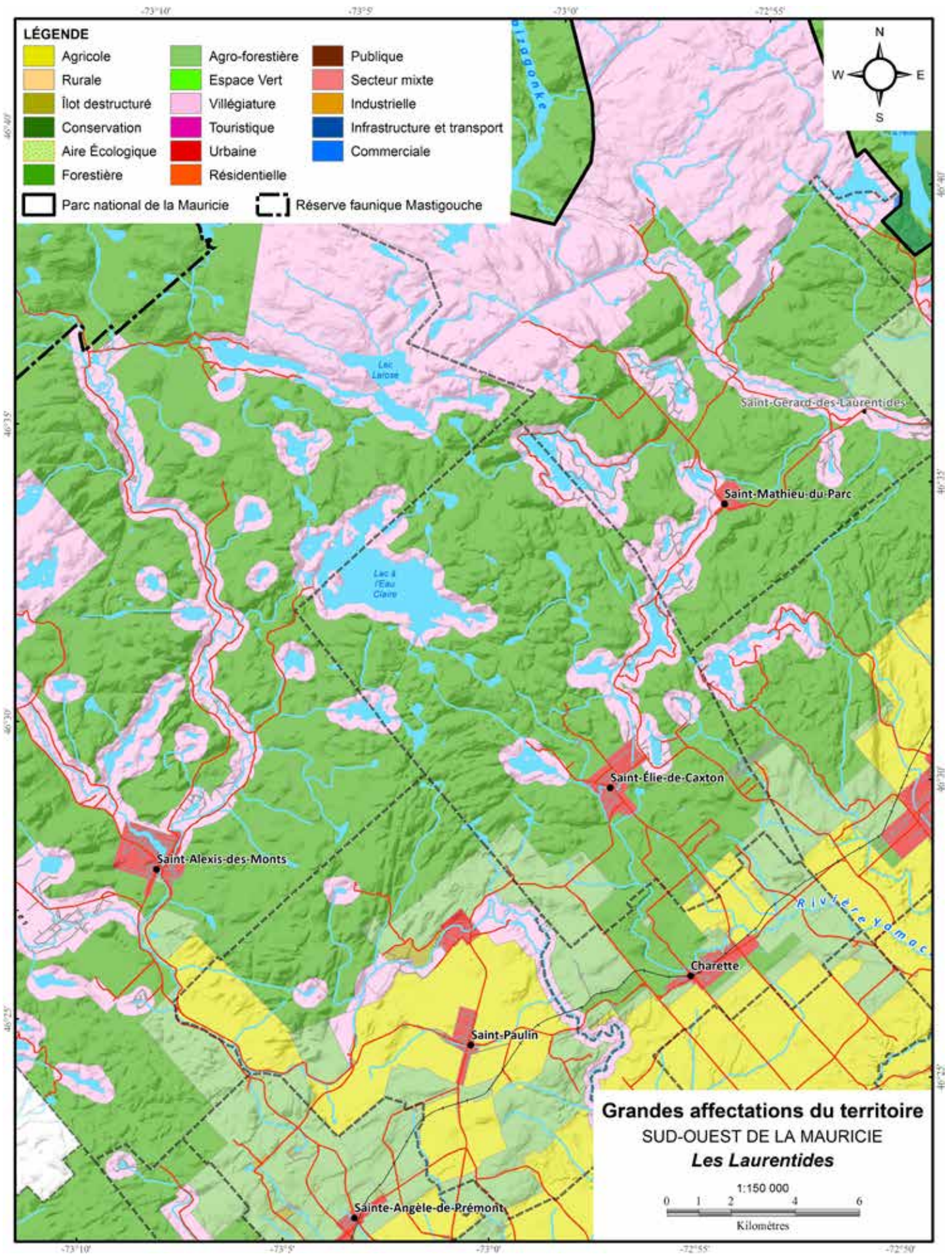


Exercice de synthèse 1 : Si demain une municipalité du secteur des Laurentides devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice?

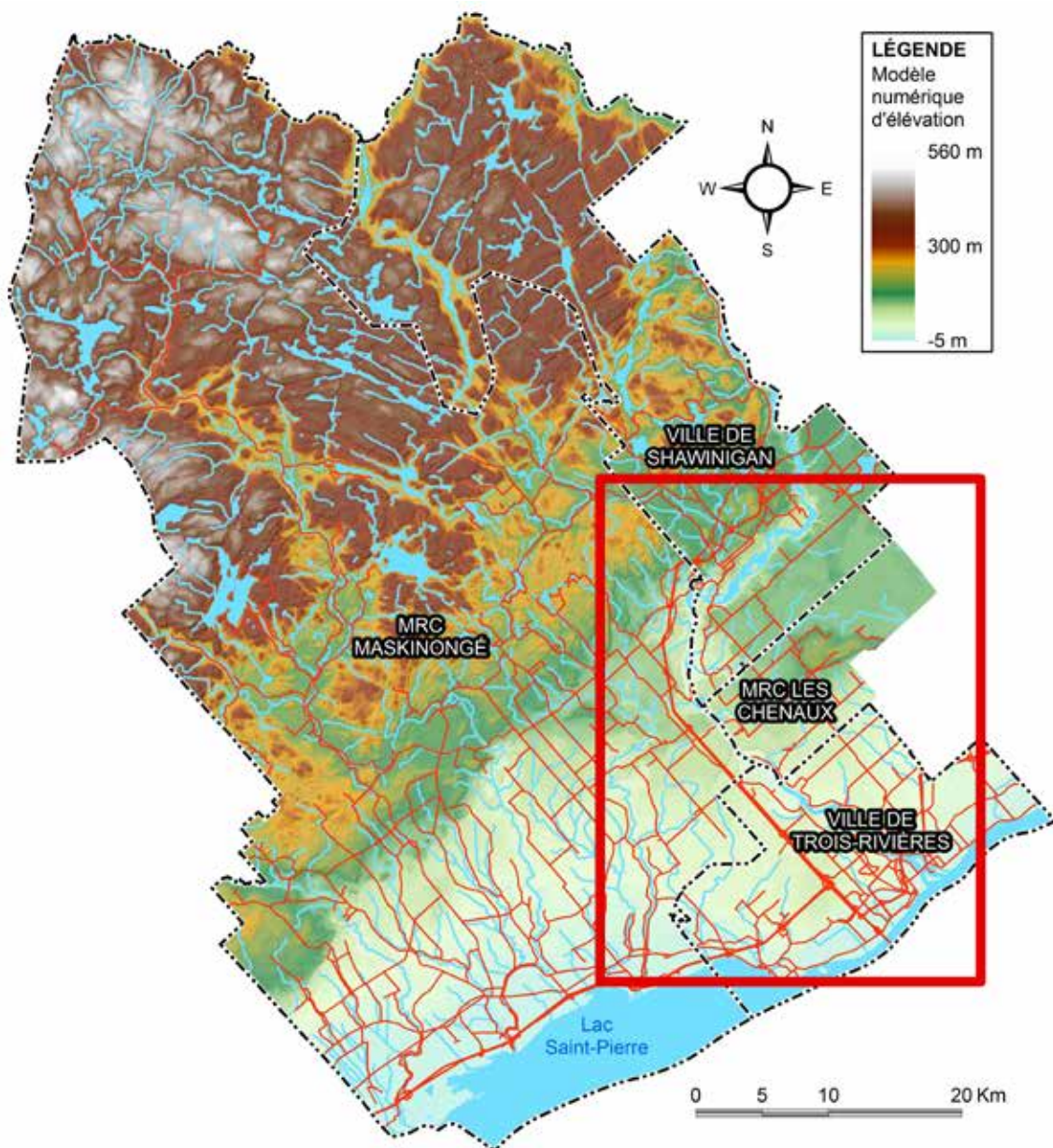
Exercice de synthèse 2 : Dans le secteur des Laurentides, quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge?

Exercice de synthèse 3 : Dans le secteur des Laurentides, où pourrait-on implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines?





4. Les contextes hydrogéologiques des Basses-terres



Épaisseur des dépôts meubles

Définition

Lorsque les **DÉPÔTS MEUBLES** sont grossiers (sables et graviers) et que leur épaisseur est suffisamment importante, ils peuvent constituer un **AQUIFÈRE**. Cependant, si les dépôts meubles sont fins (argile et silt), peu perméables et suffisamment épais, ils formeront plutôt un **AQUITARD**. Les informations sur l'épaisseur des dépôts meubles peuvent aussi s'avérer utiles dans d'autres domaines que l'hydrogéologie comme la géotechnique et la construction de bâtiments et d'infrastructures.



AQUIFÈRE,
AQUITARD page 10,
DÉPÔTS MEUBLES
page 11

Méthode utilisée

La topographie du socle rocheux a préalablement été cartographiée à l'aide de la base de données géoréférencée, en faisant d'abord un tri des forages atteignant le socle rocheux, en convertissant la profondeur du socle en élévation, en y ajoutant des points d'élévation du terrain correspondant aux zones d'affleurements rocheux, puis en interpolant la surface par calcul géostatistique. L'épaisseur totale des dépôts meubles a ensuite été cartographiée en faisant la soustraction entre la surface du modèle numérique d'élévation du terrain et la surface du socle rocheux.

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

Sur l'ensemble du territoire du sud-ouest de la Mauricie, le socle rocheux possède des altitudes qui varient de près de -100 m sous le niveau de la mer, à Trois-Rivières, à 550 m à l'extrémité nord-ouest du territoire. La surface du socle rocheux des Basses-terres est moins accidentée que dans les Laurentides et est caractérisée par une dépression centrée sur le lac Saint-Pierre et qui se poursuit légèrement au nord du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Trois-Rivières. On observe aussi une remontée du socle rocheux du côté nord-est de la rivière Saint-Maurice et sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent. Enfin, on remarque une dépression du socle rocheux située à l'endroit de la faille de Saint-Cuthbert. Du nord-ouest vers le sud-est, le socle rocheux remonte à partir de cette dépression, pour redescendre en pente douce.

Sur l'ensemble du territoire du sud-ouest de la Mauricie, la couverture de dépôts meubles possède une épaisseur qui varie de nulle à 150 m. Les plus fortes couvertures de dépôts meubles sont situées dans le secteur de Trois-Rivières, au droit du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. L'érosion causée par les rivières a considérablement réduit l'épaisseur des dépôts meubles le long de leur tracé.



M Il y a beaucoup de forages indiquant la profondeur du socle rocheux dans le secteur urbain de la ville de Trois-Rivières.

Vrai Faux

M Près du fleuve Saint-Laurent, la surface du socle rocheux se situe sous le niveau de la mer.

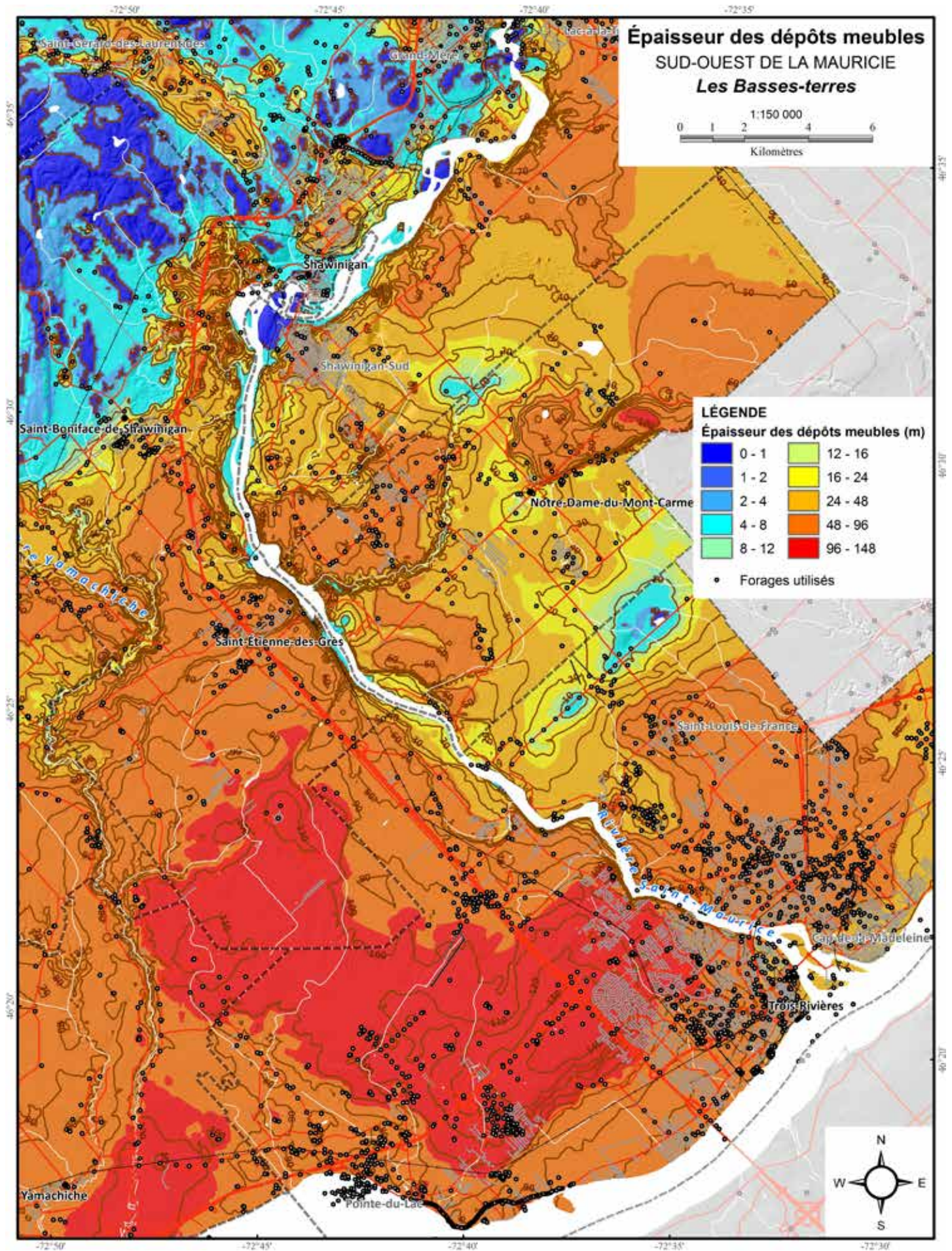
Vrai Faux

M L'estimation de l'épaisseur des dépôts est très fiable dans le secteur nord-est de la municipalité de Notre-Dame-du-Mont-Carmel.

Vrai Faux

F Quelle est l'épaisseur des dépôts meubles maximale que l'on retrouve sur la carte et où ce secteur se situe-t-il?

D Est-ce que la topographie de surface influence de manière importante l'épaisseur des dépôts meubles dans le secteur des Basses-terres (expliquez votre raisonnement)?



Profils hydrostratigraphiques

Définition

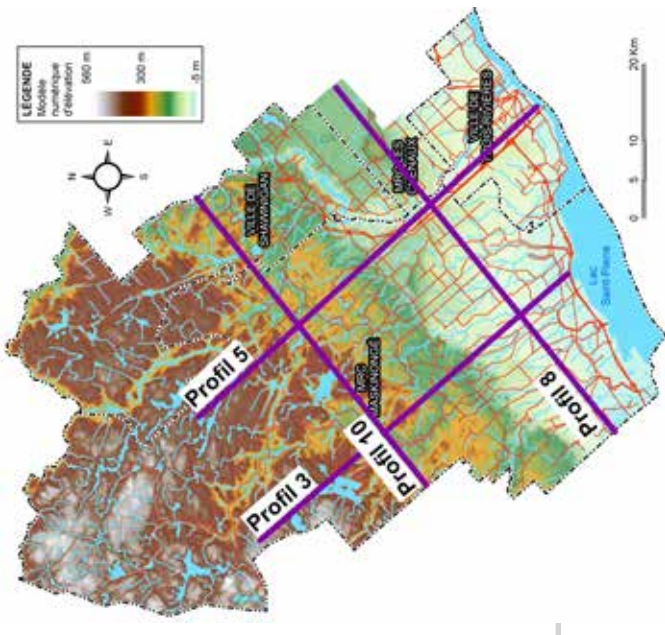
Un profil hydrostratigraphique est une représentation verticale de la distribution spatiale des unités hydrostratigraphiques retrouvées en profondeur, afin d'en apprécier la continuité, l'étendue et l'épaisseur. Les unités hydrostratigraphiques sont des dépôts meubles ou des roches aux propriétés hydrauliques similaires. Cette définition permet de distinguer les unités desquelles l'eau souterraine peut facilement être extraite (aquifères) des unités qui permettent difficilement à l'eau d'y circuler (aquitards).

Méthode utilisée

Un modèle géologique tridimensionnel simplifié a d'abord été élaboré. Il est composé de six couches superposées par-dessus le socle rocheux et qui représentent les principales unités de dépôts meubles qui se retrouvent sur le territoire, soit les sédiments quaternaires anciens, les sédiments glaciaires et fluvioglaciaires, les sédiments marins d'eau profonde, les sédiments de la moraine de Saint-Narcisse et les sédiments sableux superficiels de toutes origines. Puisqu'il s'agit d'un modèle à l'échelle régionale, plusieurs simplifications stratigraphiques ont été faites, de façon à ne représenter que les grandes unités qu'il est possible d'attribuer à des aquifères ou des aquitards.

Les couches du modèle géologique tridimensionnel ont ensuite été regroupées selon leurs caractéristiques hydrogéologiques en quatre principales unités hydrostratigraphiques :

- Unité 1 : **aquifère** formé par les réseaux de fissures du socle rocheux ;
- Unité 2 : **aquifère** formé par les sédiments fluvioglaciaires et glaciaires ;
- Unité 3 : **aquitard** formé par les sédiments fins ;
- Unité 4 : **aquifère** formé par les sédiments sableux.



F La nappe contenue dans l'aquifère formé par les réseaux de fissures du socle rocheux est presque toujours libre sur les profils des Basses-terres.

Vrai Faux

F Sur ces profils, l'aquifère ayant le plus grand potentiel d'exploitation est celui formé par les sédiments sableux, plus précisément dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice et la moraine de Saint-Narcisse.

Vrai Faux

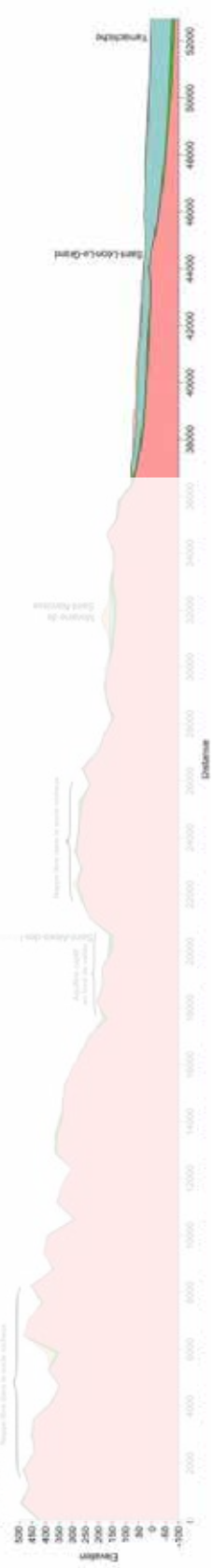
F L'aquifère formé par les sédiments sableux est parfois isolé de la surface par un aquitard.

Vrai Faux

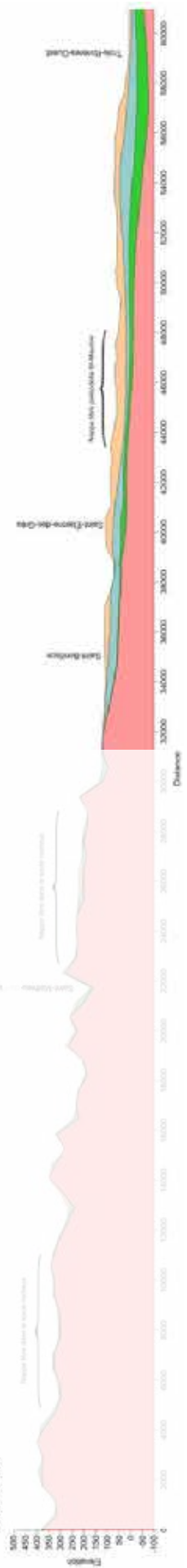
M Comment se fait-il que la couche de sédiments fins ne soit pas présente dans la vallée de la rivière Saint-Maurice sur le profil 8?

M Comment ont été mis en place les sédiments sableux superficiels que l'on retrouve dans la plaine argileuse, à proximité des rivières Maskinongé, du Loup et Yamachiche?

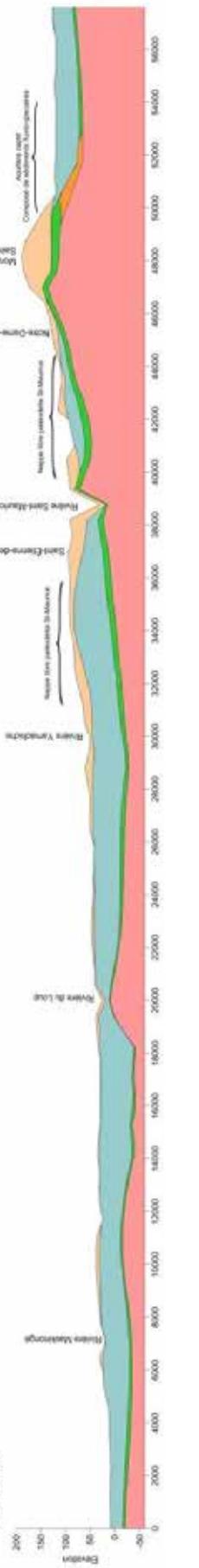
Profil 3



Profil 5



Profil 8



- Unité 1 : aquifère formé par les réseaux de fissures du socle rocheux
- Unité 2 : aquifère formé par les sédiments fluvioglaciaires et glaciaires
- Unité 3 : aquitard formé par les sédiments fins
- Unité 4 : aquifère formé par les sédiments sableux.

Un filtre transparent a été appliqué sur la portion des profils qui ne correspond pas au secteur des Basses-terres.

Contextes hydrogéologiques

Définition

Les contextes hydrogéologiques sont définis sur la base du mode de mise en place et de la distribution souterraine des dépôts meubles. Les séquences d'empilement vertical des dépôts meubles recouvrant le roc fracturé exercent une influence sur les conditions d'écoulement et la qualité de l'eau souterraine, et peuvent fournir des informations d'intérêt pour l'exploitation et la gestion des ressources en eau souterraine.



NAPPE CAPTIVE, LIBRE et SEMI-CAPTIVE page 13,
AQUIFÈRE DOUBLE page 13

Méthode utilisée

La superposition des quatre principales unités hydrostratigraphiques identifiées par le modèle géologique tridimensionnel (voir p. 26) permet de définir les six contextes hydrogéologiques suivants qui sont réinterprétés sur la légende de la carte ci-contre :

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

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

Le paléodelta de la rivière Saint-Maurice constitue un aquifère à nappe libre d'extension régionale dans des contextes d'aquifère double. Les sables deltaïques superficiels recouvrent les sédiments fins marins d'eau profonde, qui à leur tour isolent les sédiments quaternaires anciens reposant sur le socle rocheux.

En bordure nord du lac St-Pierre, on retrouve généralement une grande plaine argileuse déposée par-dessus le till ainsi que le socle rocheux, constituant un aquitard qui maintient captive une nappe d'eau fossilisée fortement minéralisée avec des accumulations de gaz naturel par endroits, ce qui rend ce contexte inintéressant en termes d'exploitation des eaux souterraines aux fins d'approvisionnement en eau potable.

- F** La municipalité de Yamachiche repose majoritairement sur une nappe captive dans le roc ou le till.
Vrai Faux

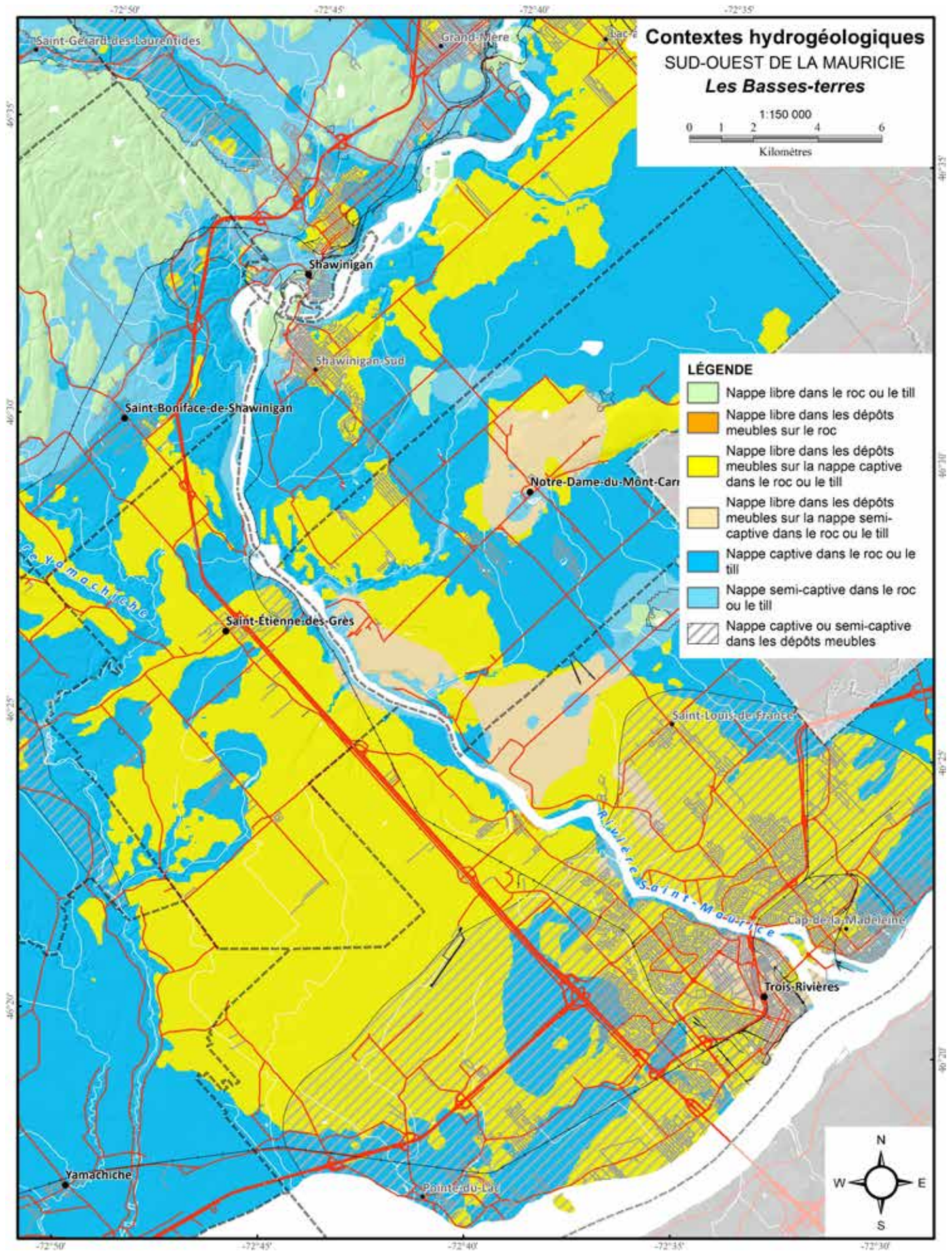
F Le paléodelta de la rivière Saint-Maurice est dominé par des contextes d'aquifère double.
Vrai Faux

M La nappe dans le roc est partout captive dans les Basses-terres au sud du territoire de la ville de Shawinigan.
Vrai Faux

M L'aquifère superficiel constitué des sables deltaïques du proto-Saint-Maurice est bien protégé de la contamination qui proviendrait de la surface.
Vrai Faux

D Pourquoi retrouve-t-on une petite zone à 3 km au nord de Saint-Louis-de-France où les contextes de nappe captive ou semi-captive ne sont pas présents?

D Est-il plus avantageux d'exploiter un aquifère confiné ou non confiné?



Épaisseur et limites de l'aquifère à nappe libre

Définition

Un aquifère est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage. Les fractures du socle rocheux permettent une circulation d'eau souterraine parfois suffisante pour le captage. Le pompage de débits plus importants est souvent possible dans les sédiments grossiers (sables et graviers). Plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable.



AQUIFÈRE page 10, **AQUIFÈRE DE DÉPÔTS MEUBLES** et **AQUIFÈRE DE ROC FRACTURÉ** page 11

Méthode utilisée

La carte d'épaisseur et de limites des aquifères régionaux à nappe libre a été élaborée à l'intérieur des limites des polygones définissant les contextes hydrogéologiques (voir p. 28), en soustrayant les surfaces tirées du modèle géologique tridimensionnel qui délimitent la base et le sommet des aquifères.

Dans le cas des aquifères à nappe libre situés dans les dépôts meubles, une épaisseur arbitraire minimale de six mètres, incluant la partie non saturée, a été considérée parce qu'en deçà de cette épaisseur, il est peu probable d'obtenir une transmissivité suffisante pour y exploiter un ouvrage de captage de plus de 75 m³/jour.

Dans le cas des aquifères à nappe captive situées dans les dépôts meubles, ils n'ont pas été délimités autrement que sur la carte des contextes hydrogéologiques (voir p. 28 – trame hachurée) car, d'une part, la connaissance de ces aquifères est très limitée et, d'autre part, ces aquifères sont locaux, plutôt que régionaux.

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

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

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.

L'aquifère du paléodelta de la rivière Saint-Maurice est 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 à des fins d'approvisionnement municipal que dans les chenaux d'érosion des sédiments fins sous-jacents, où l'épaisseur y est plus grande et les sables, mieux triés. Les secteurs Pointe-du-Lac, Trois-Rivières, Trois-Rivières Ouest, Saint-Louis-de-France, Cap-de-la-Madeleine et Sainte-Marthe-du-Cap recoupent, quant à eux, de plus importantes épaisseurs de sables formant une nappe libre. Une nappe captive dans les dépôts meubles est également identifiée dans le secteur de Trois-Rivières, mais cette dernière n'est pas exploitée en raison de la mauvaise qualité des eaux souterraines rencontrées (présence d'eaux saumâtres et présence occasionnelle de méthane).



F Les aquifères de dépôts meubles ne dépassent jamais 30 m d'épaisseur dans le secteur des Basses-terres.

Vrai Faux

F La couleur grise sur la carte correspond à l'aquifère de roc uniquement en condition de nappe libre.

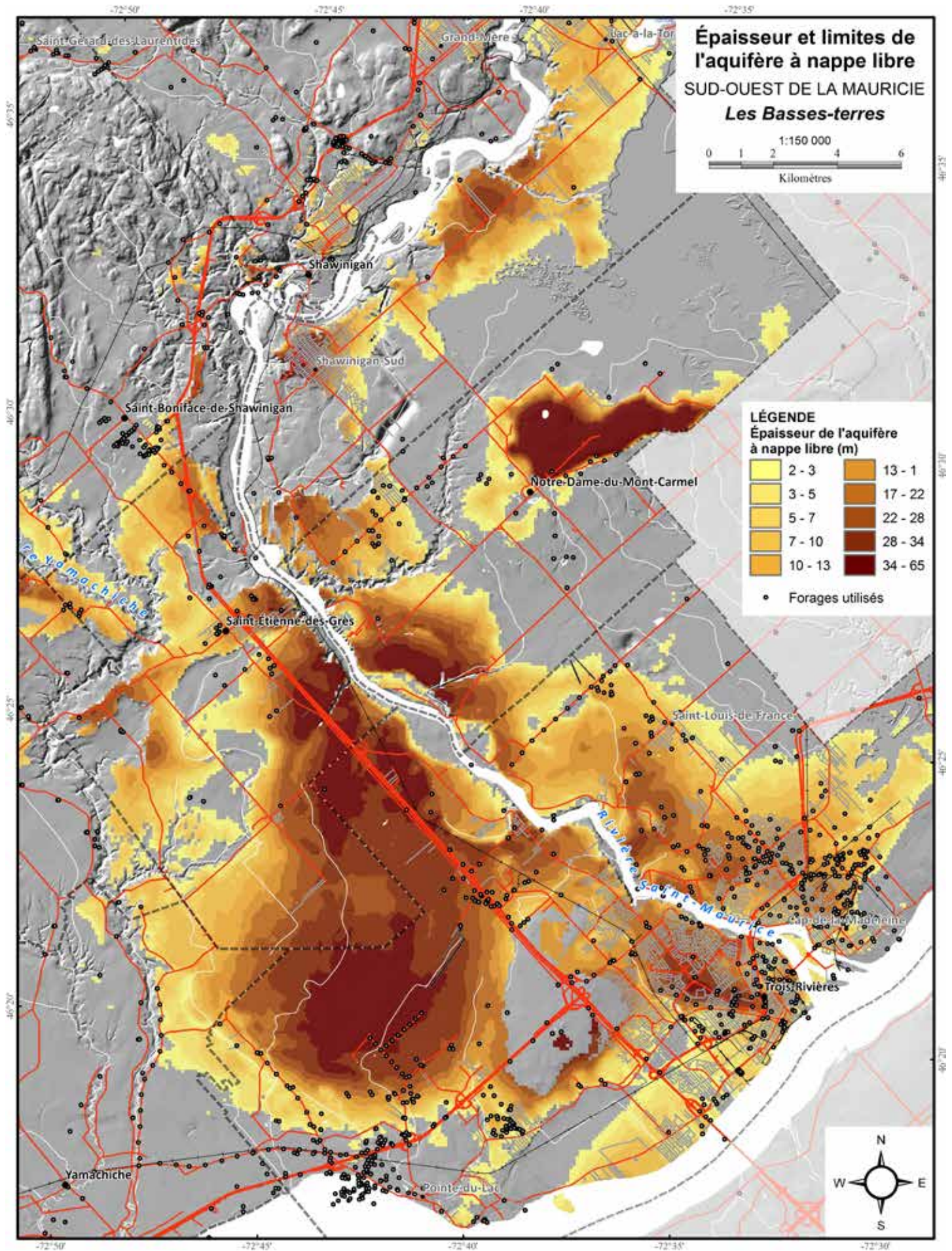
Vrai Faux

M Cette carte permet d'estimer l'épaisseur totale des dépôts meubles.

Vrai Faux

D Pourquoi est-ce qu'un aquifère de dépôts meubles de faible épaisseur (ex. : < 5 m) identifié sur la carte ci-contre ne permet-il pas une exploitation importante de son eau souterraine, comme pour alimenter des puits collectifs ou municipaux à des débits de plus de 75 m³/jour?

D Quelle épaisseur considère-t-on comme exploitable dans l'aquifère de roc?



Piézométrie de la nappe libre

Définition

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Si l'aquifère est à nappe libre, ce niveau correspond également à l'élévation de la **NAPPE** dans l'aquifère. Si l'aquifère est à nappe captive, le niveau d'eau dans le puits se trouve au-dessus du toit de l'aquifère, puisque celui-ci est sous pression. . La carte piézométrique représente l'élévation de la nappe dans un aquifère à nappe libre et la pression dans un aquifère à nappe captive. La **PIÉZOMÉTRIE** permet de connaître le sens de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère, qui va des zones à piézométrie plus élevée vers celles où la piézométrie est plus basse.



NAPPE page 10,
PIÉZOMÉTRIE,
NIVEAU
PIÉZOMÉTRIQUE
page 14

Méthode utilisée

La piézométrie de la nappe libre a été dressée à l'aide des données ponctuelles de niveau d'eau tirées des sources de données existantes et des travaux de terrain. Deux méthodes ont été utilisées, soit par modélisation numérique de l'écoulement souterrain et par calcul d'interpolation géostatistique. Aux fins de préparation de la carte de l'indice de vulnérabilité et pour calculer les volumes d'eau disponibles dans les aquifères, la piézométrie calculée par interpolation a été retenue, tandis que les résultats de modélisation ont été utilisés afin de préparer la carte piézométrique de la nappe libre, cartographier les zones de recharge et de résurgence des eaux souterraines et aussi pour obtenir une compréhension générale des écoulements souterrains.

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

Sur le territoire du paléodelta de la rivière Saint-Maurice, la surface piézométrique est très plane et est peu affectée par la rivière Saint-Maurice, à l'exception de la zone de ravinement qui la borde. Du côté est de la rivière Saint-Maurice, l'écoulement souterrain s'effectue parallèlement à celle-ci, tandis que du côté ouest, la présence d'un affleurement de till fait en sorte qu'un rehaussement piézométrique est créé à cet endroit. Au nord de ce secteur, l'écoulement se divise en deux : une partie s'écoule en direction nord-est vers la rivière St-Maurice, tandis que l'autre partie s'écoule vers le lac St-Pierre.

Sur le territoire de la plaine argileuse, la piézométrie épouse les formes du terrain avec une élévation presque égale au niveau du sol.



M Le centre-ville de Notre-Dame-du-Mont-Carmel reçoit son eau souterraine depuis le territoire de sa propre municipalité.

Vrai Faux

M La rivière Saint-Maurice draine l'eau souterraine sur une largeur latérale de seulement quelques km.

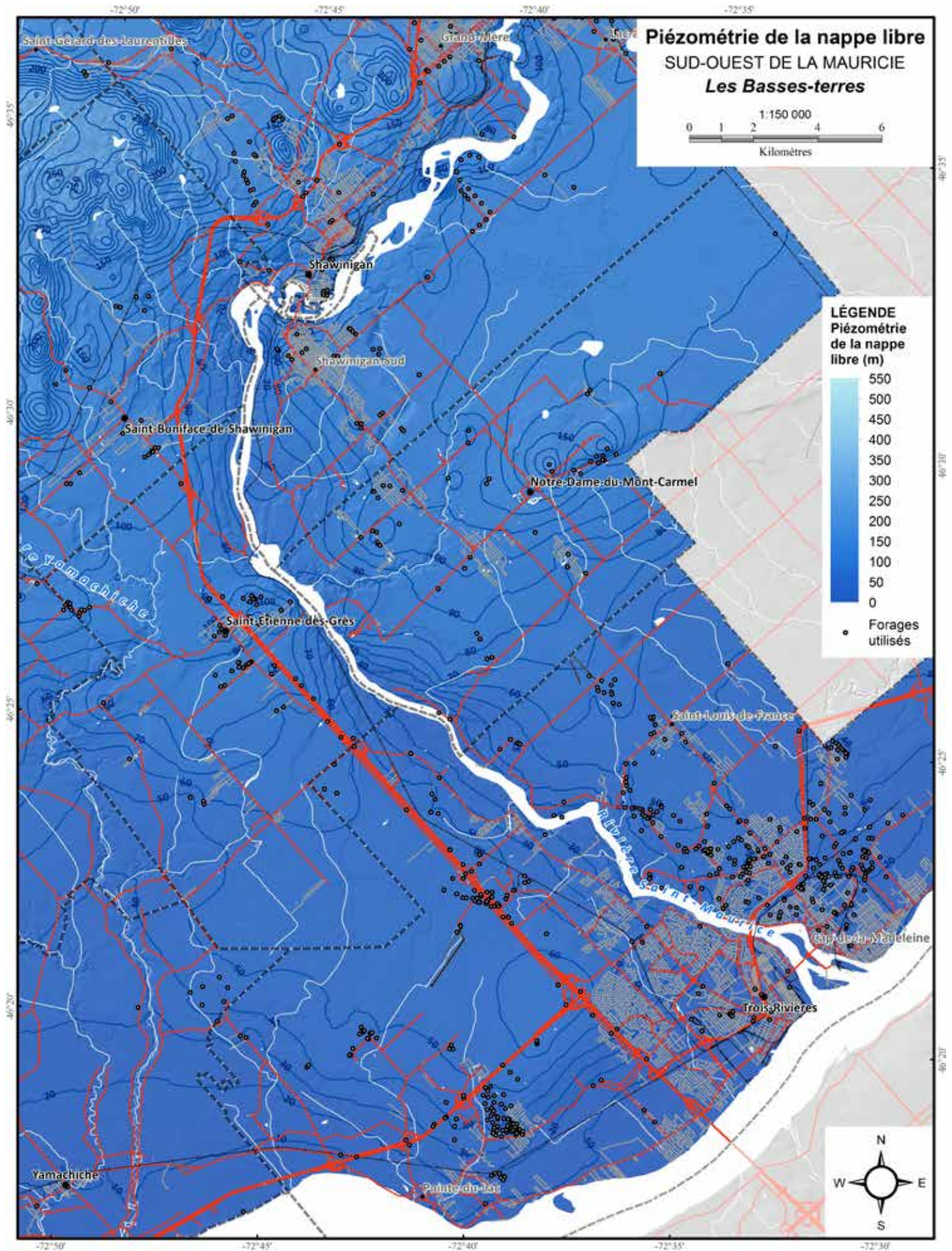
Vrai Faux

D Puisque la surface piézométrique est plus plane dans les Basses-terres que dans les Laurentides, on peut conclure avec certitude que le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère est plus long.

Vrai Faux

F Comment peut-on obtenir la profondeur de la nappe depuis le niveau piézométrique?

D Comment la surface piézométrique et la surface du sol sont-elles inter-reliées?



Recharge et résurgence

Définition

La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau qui alimente l'aquifère depuis l'infiltration en surface. L'estimation de la recharge est nécessaire pour évaluer les ressources disponibles en eau souterraine, car les débits qui peuvent être exploités de façon durable dépendent du renouvellement de l'eau souterraine.



**RECHARGE et
RÉSURGENCE**
page 14

Une **RÉSURGENCE** correspond à l'exutoire de l'eau souterraine qui refait surface, soit sous forme de source, soit dans les cours d'eau ou les milieux humides. Les résurgences peuvent se produire lorsque le niveau piézométrique de la nappe d'un aquifère dépasse le niveau de la surface du sol.

Méthode utilisée

Le taux de recharge potentiel des aquifères a été estimé sur l'ensemble du territoire à partir de la pente du terrain, la nature des dépôts meubles et les données climatiques telles que les précipitations et les températures quotidiennes minimale et maximale. Les taux de recharge par unité de surface ont ensuite servi de paramètres dans le modèle numérique d'écoulement souterrain (voir p. 32) et une carte des flux d'eau a été générée pour l'ensemble du territoire. Trois classes de flux ont été identifiées :

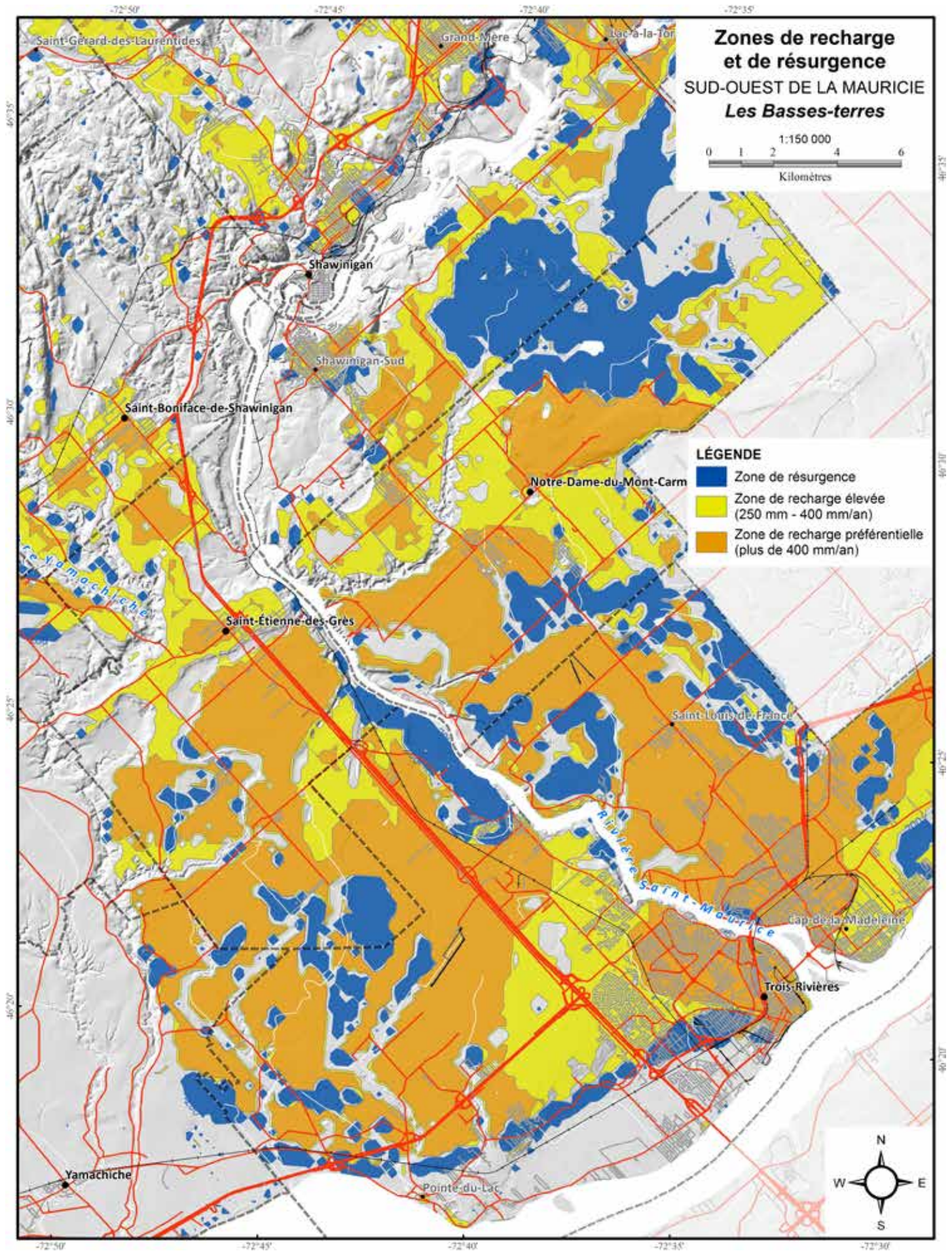
1. les zones de recharge préférentielle (plus de 400 mm/an) ;
2. les zones de recharge élevée (250 à 400 mm/an) ;
3. les zones de résurgence (flux négatifs).

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

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



- F** Les zones cartographiées dans les tons de gris ne reçoivent aucune recharge.
Vrai Faux
- F** L'aquifère superficiel constitué des sables deltaïques du proto-Saint-Maurice est très bien alimenté par les précipitations.
Vrai Faux
- F** La couverture argileuse épaisse et continue limite la recharge dans le secteur de Yamachiche.
Vrai Faux
- M** Comment les aquifères à nappe captive de la plaine argileuse sont-ils alimentés en eau souterraine?
- M** Pourquoi est-ce important de protéger en priorité les zones de recharge plus élevée de l'eau souterraine?



Vulnérabilité de la nappe libre

Définition

La **VULNÉRABILITÉ** d'un aquifère est sa sensibilité à la pollution de l'eau souterraine à partir de l'émission de contaminants à la surface du sol. La carte de vulnérabilité permet d'intégrer un ensemble de conditions qui contribuent à la vulnérabilité d'un aquifère, « traduisant » ainsi la connaissance hydrogéologique en un outil facilement applicable par des non-spécialistes.



VULNÉRABILITÉ, DRASTIC page 15

Méthode utilisée

La vulnérabilité des aquifères a été évaluée par la méthode **DRASTIC** qui permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres physiques et hydrogéologiques. L'indice DRASTIC peut varier de 23 à 226. Trois classes de vulnérabilité ont été définies dans le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (Gouvernement du Québec, 2015b) :

- « Faible » : indice de 100 ou moins,
- « Moyen » : indice de plus de 100 et de moins de 180,
- « Élevé » : indice de 180 ou plus.

La carte ci-contre présente les indices DRASTIC pour la nappe libre seulement, bien que la vulnérabilité des nappes captives et semi-captives a aussi été évaluée.

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

Les sables superficiels associés au paléodelta de la rivière Saint-Maurice et aux alluvions possèdent une vulnérabilité moyenne à élevée, soit un indice DRASTIC estimé entre 140 et 200. Les zones de nappe semi-captive sous le paléodelta de la rivière Saint-Maurice possèdent un indice DRASTIC légèrement inférieur estimé entre 120 et 160 (non montrées sur la carte ci-contre).

La plaine argileuse possède une vulnérabilité faible, soit un indice DRASTIC entre 30 et 80. Les nappes captives sous la plaine argileuse possèdent une vulnérabilité semblable entre 30 et 80 (non montrées sur la carte ci-contre).



F On retrouve des secteurs de la plaine argileuse où les aquifères ont une vulnérabilité à dominance faible.

Vrai Faux

F La vulnérabilité des aquifères du paléodelta de la rivière Saint-Maurice est relativement uniforme.

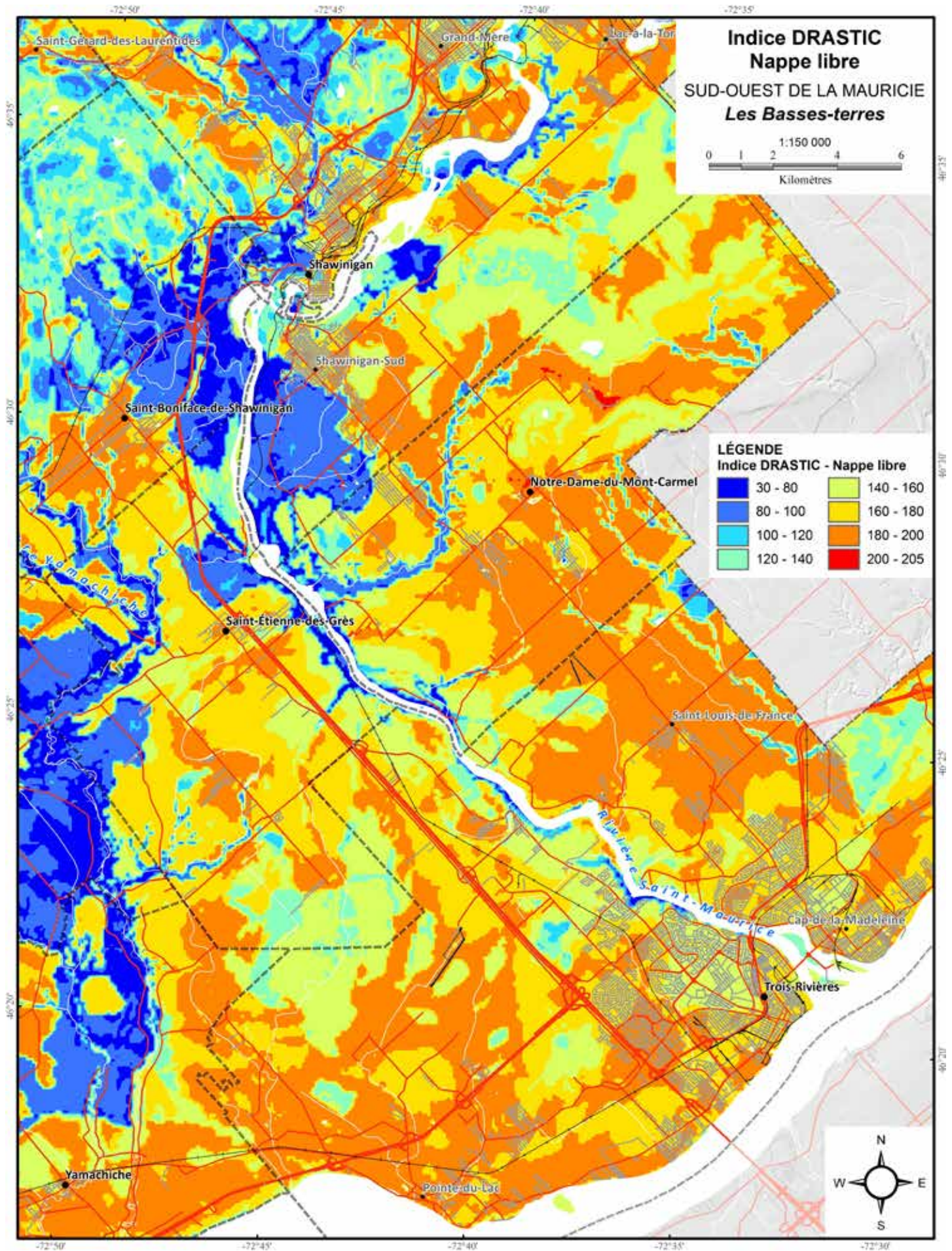
Vrai Faux

D Cette carte permet de déterminer avec fiabilité la vulnérabilité de l'aire d'alimentation d'un puits.

Vrai Faux

M Pourquoi la vulnérabilité de la plaine argileuse dans le secteur de Yamachiche n'est-elle pas entièrement considérée comme faible sur la carte ci-contre, malgré le fait qu'on y retrouve une couverture épaisse de sédiments fins de la mer de Champlain?

M Puisque les aquifères ayant une vulnérabilité faible sont peu sensibles à la pollution de l'eau souterraine à partir d'une contamination en surface, comment peuvent-ils être contaminés?



Qualité de l'eau – Critères de santé

Définition

La qualité de l'eau s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES** (CMA) sont des normes visant à éviter des risques pour la santé humaine.



**CONCENTRATIONS
MAXIMALES
ACCEPTABLES**

page 16

Méthode utilisée

Dans le cadre de l'étude, 243 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans des puits privés et municipaux. Parmi ceux-ci, 223 ont été utilisés pour l'analyse des dépassements des normes physicochimiques et 120 pour l'analyse des normes bactériologiques.

Interprétation pour l'ensemble du territoire

Les dépassements de CMA pour les quatre paramètres physicochimiques suivants, répartis sur 15 puits, ont été relevés pour l'ensemble de la Mauricie sud-ouest, en plus des dépassements des paramètres microbiologiques confondus suivants :

| Paramètre | CMA | Nb de dépassements | Proportion des échantillons | Norme ou recommandation fondée sur : |
|--|---|--------------------|-----------------------------|---|
| Baryum (Ba) | 1,0 mg/L | 5 | 2 % | Maladies cardiovasculaires et augmentation de la pression artérielle |
| Fluorures (F) | 1,5 mg/L | 9 | 4 % | Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique) |
| Nitrite - Nitrates (NO ₂ -NO ₃) | 10 mg/L | 1 | < 1 % | Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu) et effets sur la fonction de la glande thyroïde chez les nourrissons alimentés au biberon; probablement cancérigène |
| Plomb (Pb) | 0,01 mg/L | 1 | < 1 % | Effets biochimiques et neurocomportementaux chez les nourrissons et les jeunes enfants, anémie, effets sur le système nerveux central, etc. |
| Paramètres microbiologiques (tous confondus) | • 10 coliformes totaux/100 mL • 0 coliforme fécal • 0 entérocoque | 47 | 39 % | Principalement des maladies et troubles gastro-intestinaux |

Les causes des présences élevées en fluorures et baryum sont d'origines naturelles, issues de la lente dissolution des minéraux contenus dans les matériaux qui forment les aquifères.

Le seul dépassement documenté en plomb serait d'origine anthropique et non représentatif de l'eau souterraine captée, car 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.

Les concentrations en nitrates de plus de 2 mg/L sont d'origine anthropique, provenant des fertilisants agricoles organiques et chimiques, des rejets sanitaires ou de la décomposition d'organismes végétaux et animaux. La plupart sont localisées dans les aquifères à nappe libre du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. Toutefois, le seul dépassement de plus de 10 mg/L observé ne peut être corrélé à une origine anthropique puisqu'il provient d'un puits qui capte une eau saumâtre non consommée confinée sous environ 90 mètres d'argile marine.

Les dépassements des paramètres microbiologiques sont attribuables à l'activité humaine (présence d'éléments épurateurs individuels ou autres sources de bactéries) combinée soit à la vulnérabilité élevée de l'aquifère (nappe libre, matériau de surface perméable, taux de recharge élevé, etc.) ou soit à un vice de construction du puits (accumulation d'eau autour du puits, absence de collerette étanche, margelle inexistante) permettant aux eaux de surface de s'infiltrer directement dans les puits.

Le temps de résidence des eaux souterraines dans les aquifères, déterminé à l'aide des isotopes du tritium et du carbone, est plus court pour les nappes libres que pour les nappes captives. Il varie de moins d'un an dans les nappes libres de sable, à plus de 30 000 ans dans la nappe captive du socle rocheux des Basses-terres enfouie sous les argiles de la mer de Champlain.

F Les dépassements des paramètres microbiologiques sont de causes naturelles.

Vrai Faux

F Dû au caractère agricole de la région, les cartes ci-contre indiquent un problème généralisé de contamination en azote sous forme de nitrites et nitrates (NO₂-NO₃).

Vrai Faux

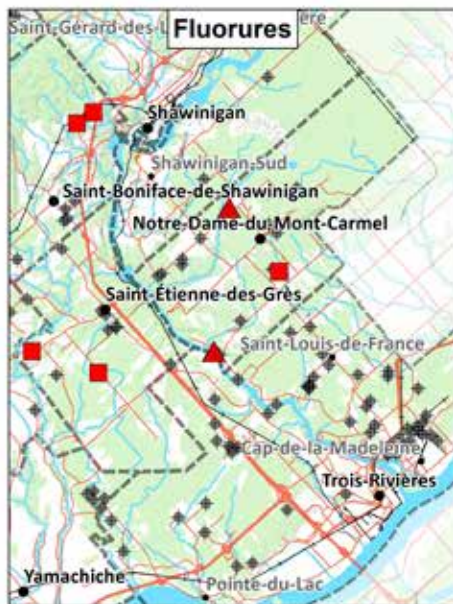
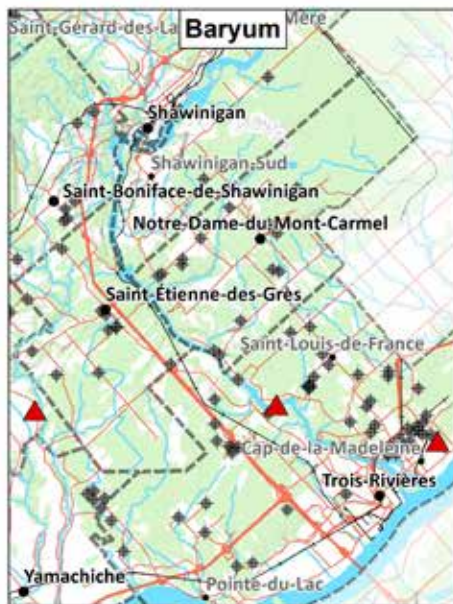
F On observe plus de dépassements des critères de santé dans les Basses-terres que dans les Laurentides.

Vrai Faux

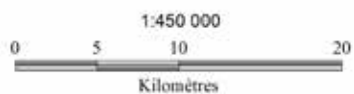
D Pour les puits d'alimentation où aucun problème lié à la qualité n'a été identifié, pourquoi est-il quand même recommandé de faire un suivi de la qualité de l'eau?

D Quelles sont les causes probables des dépassements des paramètres microbiologiques?



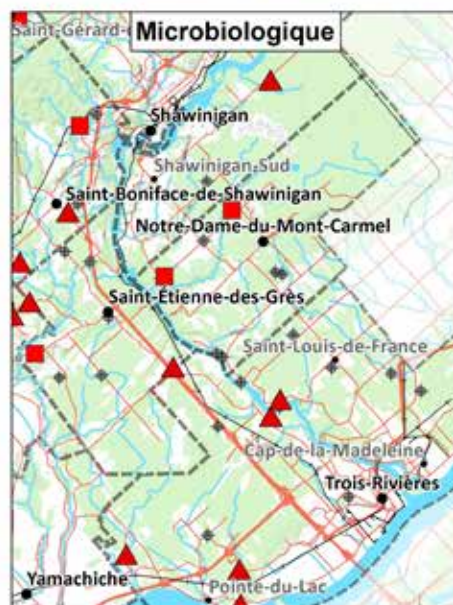


Qualité de l'eau souterraine
Critères de santé
SUD-OUEST DE LA MAURICIE
Les Basses-terres



LÉGENDE

- ▲ Dépassement dans les dépôts meubles
- Dépassement dans le socle rocheux
- ◆ Aucun dépassement



Qualité de l'eau – Critères esthétiques

Définition

Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES** (OE) sont des recommandations concernant les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effets néfastes reconnus sur la santé humaine.



OBJECTIFS ESTHÉTIQUES
page 16

Méthode utilisée

Dans le cadre de l'étude, 243 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans des puits privés et municipaux. Parmi ceux-ci, 223 ont été utilisés pour l'analyse des dépassements des objectifs esthétiques.

Interprétation pour l'ensemble du territoire

Les dépassements d'OE pour les huit paramètres suivants, répartis sur 110 puits, ont été relevés pour toute la Mauricie sud-ouest :

| Paramètre | OE | Nb de dépassements | Proportion des échantillons | Norme ou recommandation fondée sur : |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|---|
| Chlorures (Cl) | ≤ 250 mg/L | 13 | 6 % | Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution |
| Dureté | ≤ 200 CaCO ₃ mg/L | 9 | 4 % | Corrosion et entartrage |
| Fer (Fe) | ≤ 0,3 mg/L | 49 | 22 % | Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie |
| Manganèse (Mn) | ≤ 0,05 mg/L | 82 | 37 % | Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie |
| pH | entre 6,5 et 8,5 | 59 | 26 % | Influence sur l'efficacité du traitement |
| Sodium (Na) | ≤ 200 mg/L | 7 | 3 % | Goût |
| Solides totaux dissous | ≤ 500 mg/L | 16 | 7 % | Goût et entartrage |
| Sulfures (H ₂ S) | ≤ 0,05 mg/L | 3 | 1 % | Goût et odeur |

Les dépassements du fer et du manganèse, fréquemment corrélés, se trouvent dans les aquifères de fond de vallées des Laurentides et principalement dans l'aquifère à nappe libre du paléodelta de la rivière Saint-Maurice. Leurs causes sont naturelles, en raison de l'altération météorique des roches et des minéraux ou de la dégradation de matière organique dans les milieux humides.

La plupart des dépassements du pH sont acides (90 %), se trouvent dans les dépôts meubles en condition de nappe libre et sont distribués uniformément sur le territoire. Les dépassements basiques (10 %) se situent dans le socle rocheux en condition captive et sont répartis principalement dans le piedmont et sur le plateau laurentien.

Huit puits où un dépassement dans les concentrations en solides totaux dissous est observé se situent dans les dépôts meubles en nappe libre, cinq dans le socle rocheux en nappe captive et trois dans les dépôts meubles en condition de nappe captive. Les dépassements en nappe captive peuvent être principalement expliqués par des causes naturelles, telle la présence d'eau salée fossile, tandis que les dépassements en nappe libre se situent dans les Basses-terres et sont expliqués par des concentrations élevées en chlorures de sodium provenant de sources anthropiques (infiltration de sel déglaçant, infiltrations des eaux usées industrielles, etc.).

Environ la moitié des dépassements en chlorures et en sodium tirent leur origine d'événements géologiques tels la séquestration d'eau marine et proviennent tous d'une nappe captive. Les autres dépassements, situés dans des nappes libres, sont d'origine anthropique, tel l'épandage de sel déglaçant.

Les dépassements en dureté ont été identifiés dans quatre contextes hydrogéologiques, soit dans les dépôts meubles et dans le socle rocheux en condition de nappe libre et de nappe captive. Spatialement, trois de ces dépassements sont situés dans la plaine argileuse, quatre dans le paléodelta de la rivière Saint-Maurice et deux sur le plateau Laurentien.

Les dépassements en sulfures se trouvent dans trois contextes hydrogéologiques différents, soit dans le socle rocheux en condition de nappe libre et de nappe captive ainsi que dans les dépôts meubles en condition de nappe captive.

F Les dépassements en fer (F) et en manganèse (Mn) sont fortement corrélés.

Vrai Faux

M L'eau souterraine du secteur des Basses-terres ne présente jamais d'odeur d'œufs pourris.

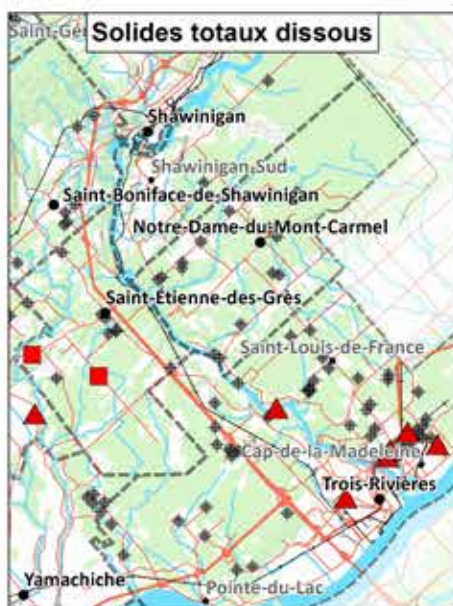
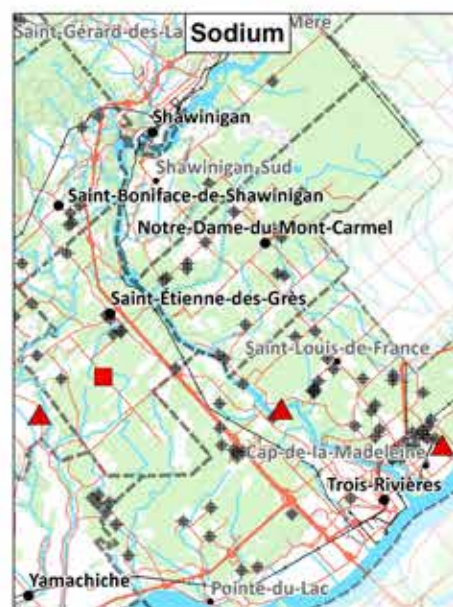
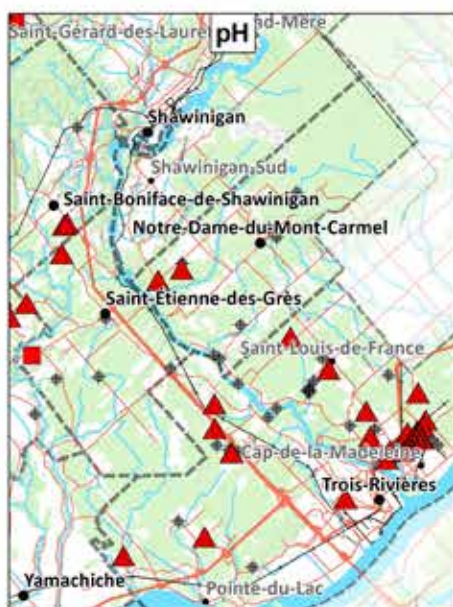
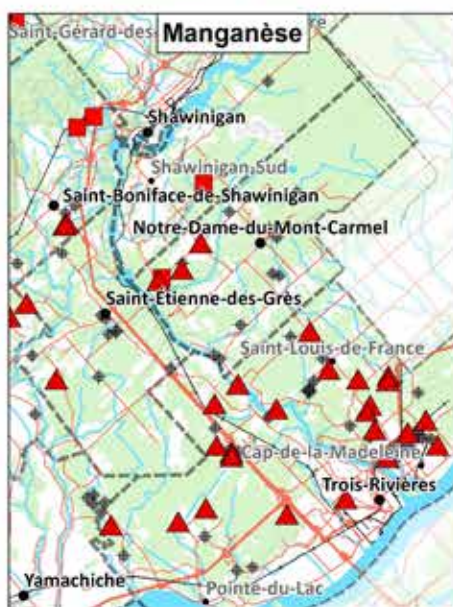
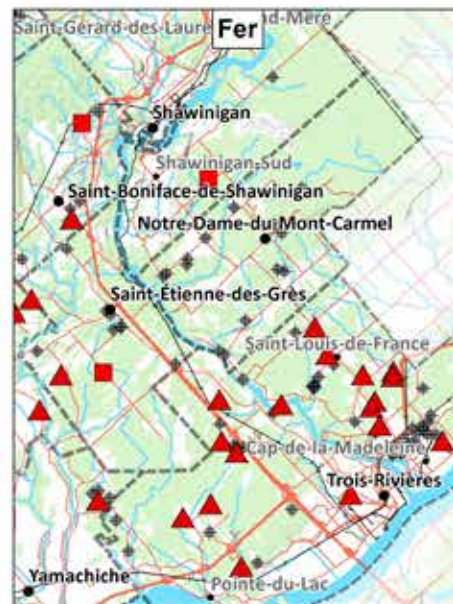
Vrai Faux

F Les dépassements en solides totaux dissous semblent être expliqués par des concentrations élevées en chlorures de sodium.

Vrai Faux

M Quelles sont les causes des concentrations élevées en chlorures et en sodium?

D Plus d'un puits sur trois (37 %) des échantillons d'eau analysés en Mauricie sud-ouest présente un dépassement en manganèse. Quel(s) problème(s) cela représente-t-il pour la consommation en eau potable?

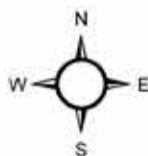


Qualité de l'eau souterraine

Objectifs esthétiques

SUD-OUEST DE LA MAURICIE

Les Basses-terres



LÉGENDE

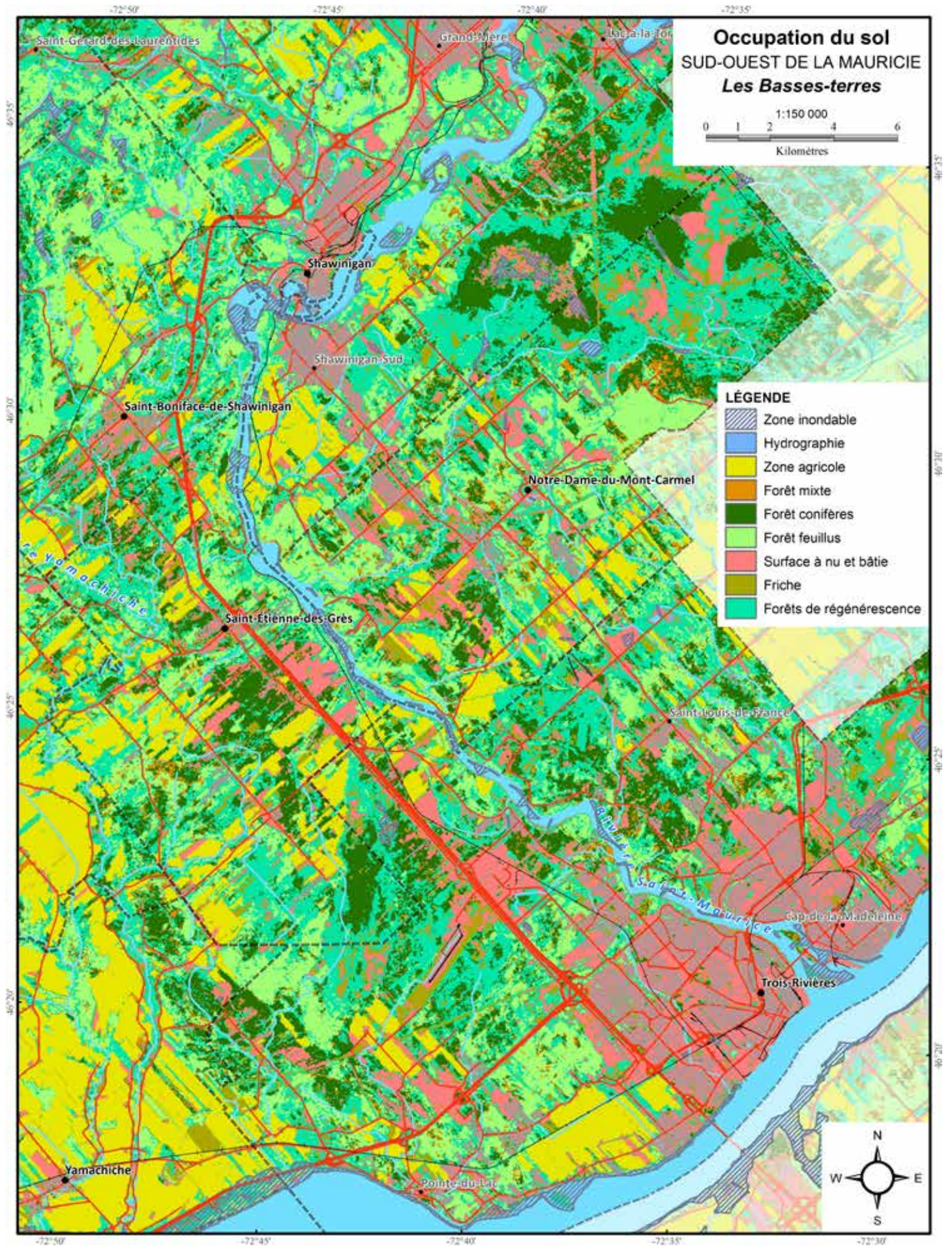
- ▲ Dépassement dans les dépôts meubles
- Dépassement dans le socle rocheux
- ◆ Aucun dépassement

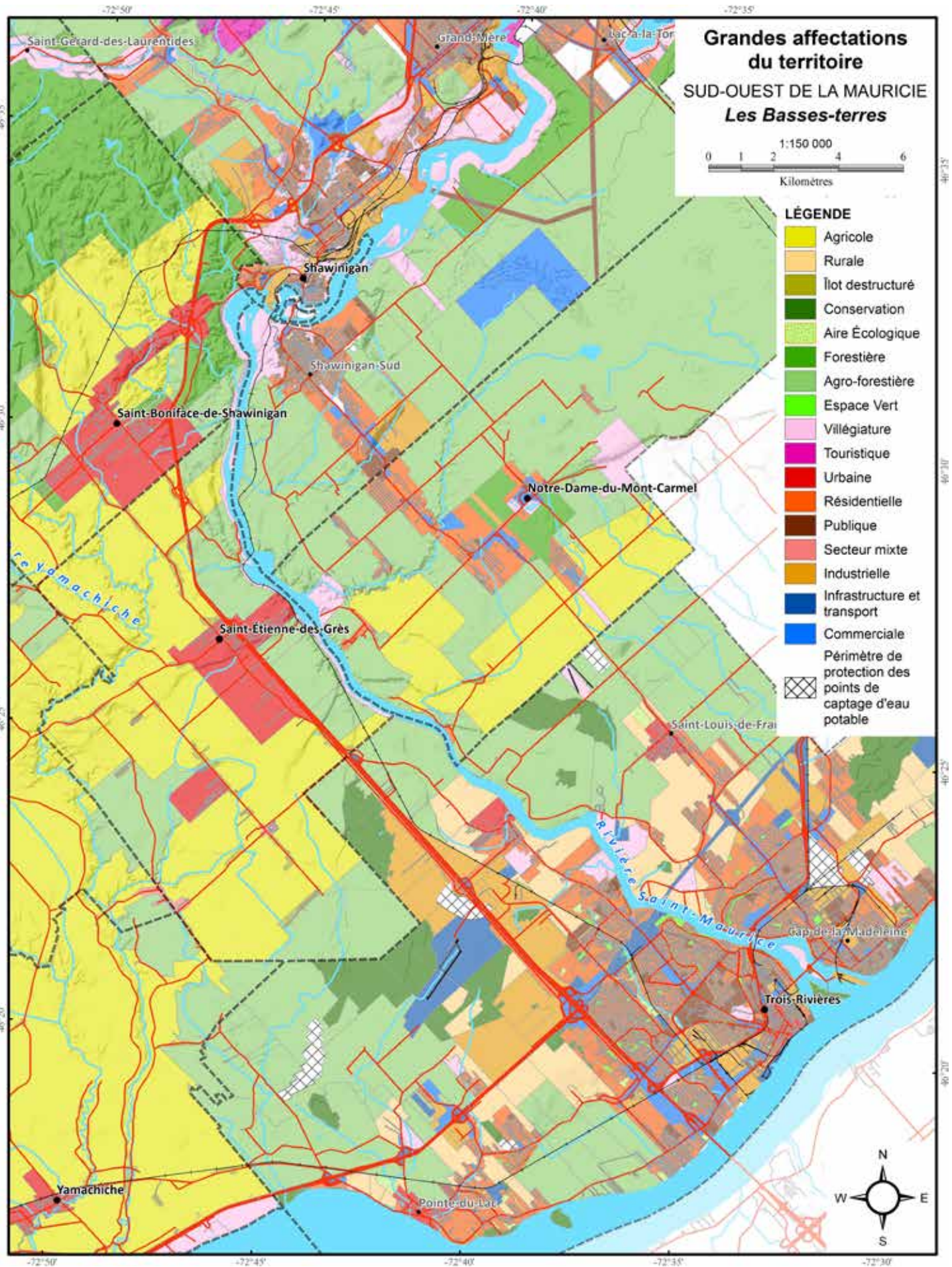


Exercice de synthèse 1 : Si demain une municipalité du secteur des Basses-terres devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice?

Exercice de synthèse 2 : Dans le secteur des Basses-terres, quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge?

Exercice de synthèse 3 : Dans le secteur des Basses-terres, où pourrait-on implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines?





Bibliographie

- CERM-PACES 2013 – Résultats du programme d’acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région Saguenay-Lac-Saint-Jean. Centre d’études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.
- Cloutier, V., Blanchette, D., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Rosa, E., et Roy, M. 2013. Projet d’acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l’Abitibi-Témiscamingue (partie 1). Rapport final déposé au Ministère du Développement durable, de l’Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d’acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Rapport de recherche P001. Groupe de recherche sur l’eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 135 p., 26 annexes, 25 cartes thématiques (1:100 000).
- Ferlatte, M., Tremblay, Y., Rouleau, A. et Larouche, U. F. 2014. Notions d’hydrogéologie - Les eaux souterraines pour tous. Première Édition. Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES). 63 p. [En ligne], (http://rqes-gries.ca/upload/files/rqes/Transfert_des_connaissances/HYDROGEOLOGIE_notions_et_figures_oct2014.pdf). Page consultée le 17 mars 2015.
- Gouvernement du Québec (2015a). Règlement sur la qualité de l’eau potable. Loi sur la qualité de l’environnement. Q-2, r. 40. [En ligne], (http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/Q_2/Q2R40.htm). Page consultée le 25 mars 2015.
- Gouvernement du Québec (2015b). Règlement sur le prélèvement des sources et leur protection. Loi sur la qualité de l’environnement. Q-2, r. 35.2. [En ligne], (http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R35_2.htm). Page consultée le 25 mars 2015.
- Larocque, M., Gagné, S., Tremblay, L. et Meyzonat, G. 2013. Projet de connaissances des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Bécancour et de la MRC de Bécancour - Rapport scientifique. Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l’Environnement, de la Faune et des Parcs. 213 p.
- 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).
- Limper Geology Museum (2010). Local Geology – Glacial till. [En ligne], (<http://www.cas.miamioh.edu/glg/museum/students/till.html>). Page consultée le 25 mars 2015.
- Santé Canada (2014). Recommandations pour la qualité de l’eau potable au Canada. Tableau sommaire. Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l’eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l’environnement. [En ligne], (http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/index-fra.php). Page consultée le 25 mars 2015.
- Siim Sepp (2005). Wikipédia – Argile. Argilite en Estonie. [En ligne], (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Argile>). Page consultée le 25 mars 2015.

Mes notes personnelles

Les partenaires du projet *Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie* :



Les partenaires du projet *Protéger et gérer les eaux souterraines* :

