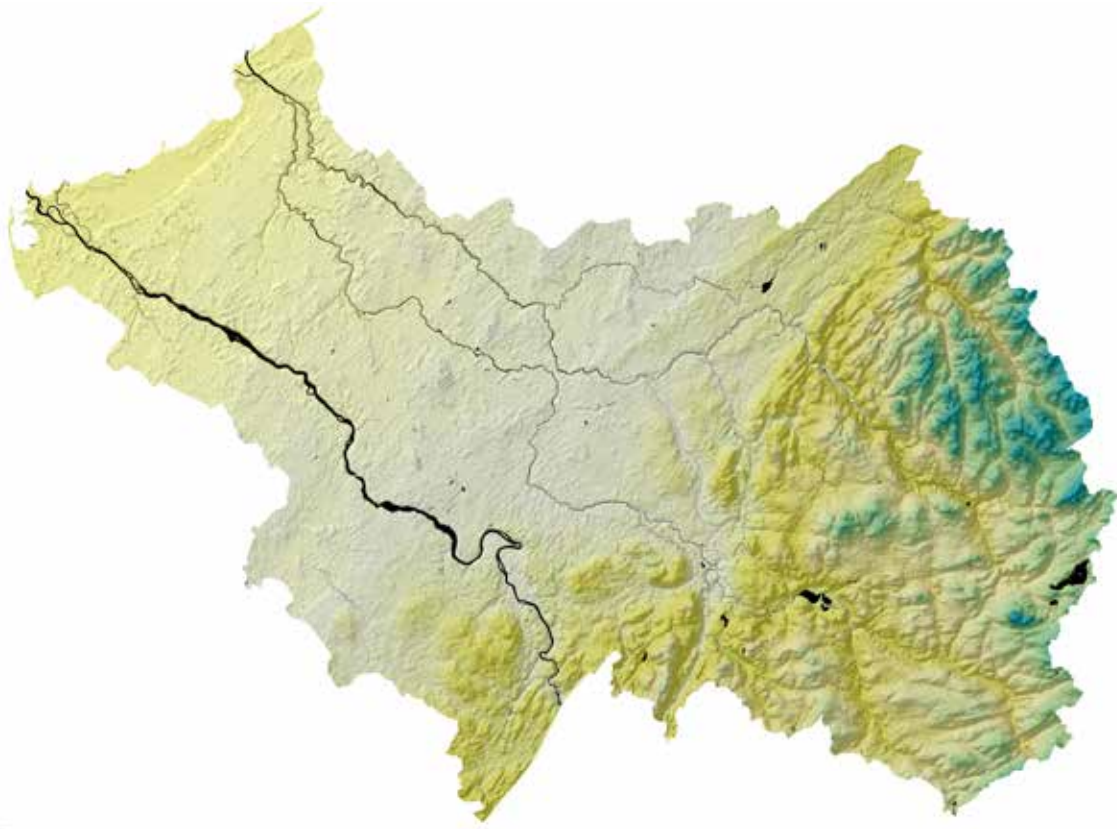


# ATELIER A

## Familiarisation avec les connaissances hydrogéologiques

---

### Nicolet-Bas-Saint-François



CAHIER DU PARTICIPANT

Mai 2017

---



Cet atelier de transfert des connaissances issues du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François (PACES Nicolet-Bas-Saint-François) est rendu possible grâce au financement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Il est le résultat d'un travail conjoint entre le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES), l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et la Chaire de recherche Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) en écologie du paysage et aménagement :

- Marie Larocque, professeure en hydrogéologie, UQAM, coordonnatrice du PACES Nicolet-Bas-Saint-François
- Sylvain Gagné, agent de recherche, UQAM, équipe de recherche du PACES Nicolet-Bas-Saint-François
- Diogo Barnetche, technicien de laboratoire, UQAM, équipe de recherche du PACES Nicolet-Bas-Saint-François
- Yohann Tremblay, agent de transfert du RQES, préparation et animation de l'atelier
- Miryane Ferlatte, coordonnatrice scientifique du RQES, organisation et animation de l'atelier
- Anne-Marie Decelles, agente de transfert du RQES, animation de l'atelier
- Julie Ruiz, professeure et titulaire de la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement, conception de l'atelier

## Références à citer

L'ensemble des informations hydrogéologiques provient du rapport final du PACES Nicolet-Bas-Saint-François et des cartes associées. Ces documents doivent être cités comme suit :

*Larocque, M., Gagné, S., Barnetche, D., Meyzonnat, G., Graveline, M. H. et Ouellet, M. A. 2015. Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François - Rapport final. Rapport déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 258 p.*

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 PACES Nicolet-Bas-Saint-François :

*Tremblay, Y., Ruiz, J. et Gagné, S. 2017. Familiarisation avec les connaissances hydrogéologiques, Nicolet-Bas-Saint-François, cahier du participant. Document préparé par le RQES, avec la contribution de l'UQAM et de l'UQTR, pour les acteurs de l'aménagement du territoire.*



Ce document est sous licence Creative Commons Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Partage dans les mêmes conditions 4.0 International. Pour accéder à une copie de cette licence, merci de vous rendre à l'adresse suivante <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envoyez un courrier à Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

# Les organisateurs de l'atelier

---

## **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 MDDELCC 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 :** [rqes.ca](http://rqes.ca)

## **Le Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM**

Le Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère est né des départements des sciences de l'atmosphère (1973) et de géologie (1969), il y a une douzaine d'années. Il dispose de plusieurs chaires de recherche, de deux centres institutionnels et de plusieurs regroupements de recherche facultaires. Les étudiants au Département ont l'opportunité d'intégrer l'une ou l'autre de ces unités de recherche. Forts d'une formation pluridisciplinaire, les compétences des diplômés du Département sont recherchées dans les domaines des ressources, de l'aménagement, de l'adaptation aux changements climatiques et de la prévision des risques naturels.

**Pour en savoir plus :** [www.scta.uqam.ca](http://www.scta.uqam.ca)

# Table des matières

---

Index des notions clés	7
Guide de lecture du cahier des participants	8
Votre équipe de formation	9
<b>1. Les notions hydrogéologiques fondamentales</b>	<b>11</b>
Nappe, aquifère et aquitard	12
Différents types d'aquifères	13
Types de dépôts meubles	14
Conditions de confinement	15
Piézométrie	16
Recharge et résurgence	16
Vulnérabilité de l'eau souterraine	17
Qualité de l'eau	18
<b>2. Les caractéristiques régionales de l'eau souterraine</b>	<b>19</b>
Résumé du PACES Nicolet-Bas-Saint-François	20
Les limites générales de l'étude	21
Utilisation de l'eau souterraine	21
Trois contextes hydrogéologiques régionaux sur la zone Nicolet et la partie basse de la zone Saint-François	22
<b>3. Les contextes hydrogéologiques des Appalaches</b>	<b>27</b>
Épaisseur des dépôts meubles	28
Contextes hydrogéologiques	30
Conditions de confinement	32
Piézométrie	34
Recharge et résurgence	36
Vulnérabilité	38
Qualité de l'eau – Critères pour l'eau potable	40
Qualité de l'eau - Critères esthétiques	42
Coupe conceptuelle des contextes hydrogéologiques régionaux	44
Exercice de synthèse 1	48
Exercice de synthèse 2	49
Exercice de synthèse 3	50

<b>4. Les contextes hydrogéologiques des Basses-Terres</b>	<b>51</b>
Épaisseur des dépôts meubles	52
Contextes hydrogéologiques	54
Conditions de confinement	56
Piézométrie	58
Recharge et résurgence	60
Vulnérabilité	62
Qualité de l'eau – Critères pour l'eau potable	64
Qualité de l'eau - Critères esthétiques	66
Coupe conceptuelle des contextes hydrogéologiques régionaux	68
Exercice de synthèse 1	72
Exercice de synthèse 2	73
Exercice de synthèse 3	74
Bibliographie	75
Mes notes personnelles	76

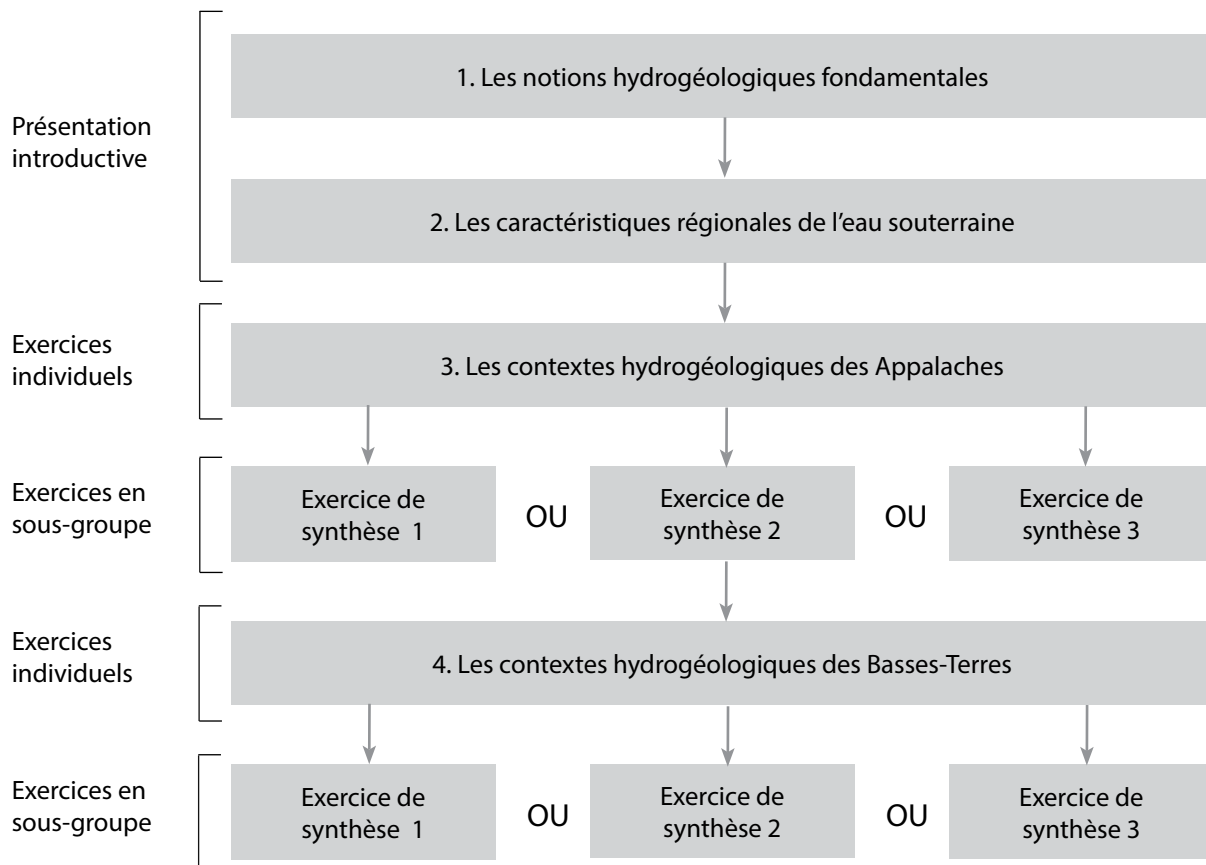
# Index des notions clés

---

Aquifère	12
Aquifère de dépôts meubles	13
Aquifère de roc fracturé	13
Aquitard	12
Concentrations maximales acceptables	18
Conditions de confinement	15
Conductivité hydraulique	12
Dépôts meubles	13
DRASTIC	17
Eau souterraine	12
Évolution de l'eau	18
Minéralisation	18
Nappe	12
Nappe captive, libre et semi-captive	15
Niveau piézométrique	16
Objectifs esthétiques	18
Piézométrie	16
Porosité	12
Recharge	16
Résurgence	16
Roc fracturé	13
Sédiments alluviaux	14
Sédiments éoliens	14
Sédiments fluvioglaciaires	14
Sédiments glaciaires	14
Sédiments glaciolacustres	14
Sédiments glaciomarins	14
Sédiments lacustres	14
Sédiments organiques	14
Sédiments quaternaires anciens	14
Till	14
Types d'eau	18
Vulnérabilité	17
Zone saturée et non saturée	12

# 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 difficile
- D** difficile



# Votre équipe de formation

---

## Vos animateurs



**Yohann 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



**Miryane Ferlatte**  
M.Sc. Hydrogéologie  
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  
miryanef.rques@gmail.com

## Vos experts en eaux souterraines



**Marie Larocque**  
Ph.D. Hydrogéologie  
Professeure  
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 1515  
larocque.marie@uqam.ca



**Sylvain Gagné**  
M.Sc. Hydrogéologie  
Agent de recherche  
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 0252  
gagne.sylvain@uqam.ca



**Guillaume Meyzonnat**  
Ing., M.Sc, hydrogéologue  
Étudiant au doctorat  
Département des sciences de la  
Terre de l'atmosphère  
Université du Québec à Montréal  
CP 8888, succ. Centre-ville  
Montréal (Qc) H3C 3P8  
514-987-3000 poste 3315  
meyzonnat.guillaume@UQAM.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

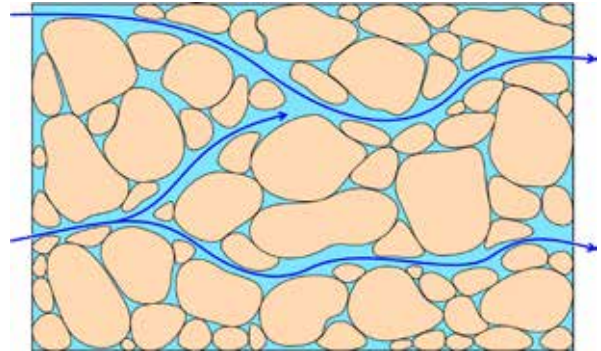
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

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

La **CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE** est l'habileté du milieu à transmettre 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.

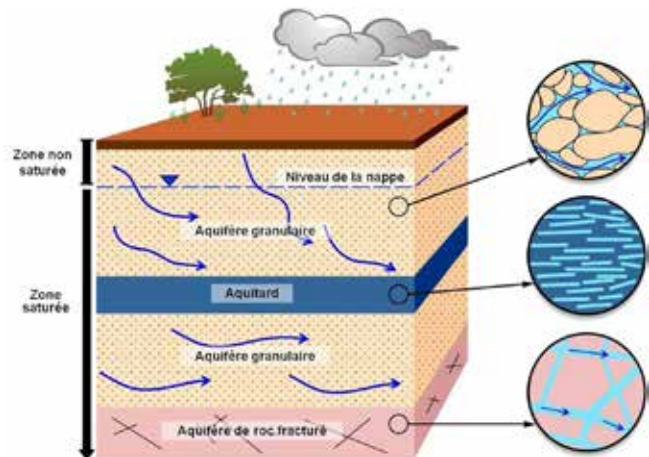
- C'est le **contenu**.

Un **AQUIFÈRE** est un milieu géologique perméable comportant une zone saturée qui permet le pompage de quantités d'eau appréciables à un puits ou à une source.

- C'est le **contenant**.

### Comment cela fonctionne-t-il ?

L'eau qui s'infiltre dans le sol percole verticalement et traverse la **zone vadose** (ou **zone non saturée**) pour atteindre la **nappe** phréatique (**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 :

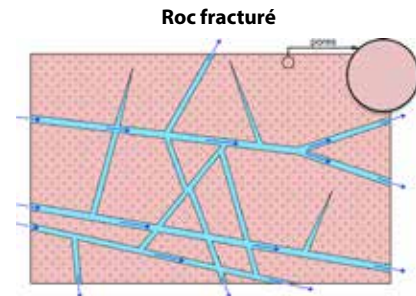
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

#### AQUIFÈRE DE ROC FRACTURÉ

Les **pores** de la roche contiennent de l'eau souterraine et forment ainsi un grand réservoir. Leur faible interconnexion ne permet cependant pas une circulation efficace de l'eau.

Les **fractures**, qui ne représentent en général qu'un faible pourcentage en volume par rapport aux pores, permettent toutefois une circulation plus efficace de l'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 grossières** (ex.: sables et graviers), il forme un **AQUIFÈRE**.

- Plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable.
- Des débits importants peuvent y être pompés à condition que l'épaisseur saturée soit suffisante.



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.





## TYPES DE DÉPÔTS MEUBLES

### SÉDIMENTS QUATERNAIRES 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.

- Till compact ou continu : composé de grains de toutes tailles dans une matrice fine — **aquitard**.
- Till remanié : till dont les particules fines ont été lessivées par l'action des vagues — **aquifère**.

### SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

Mis en place par les eaux de fonte, pendant la déglaciation. Comprend les eskers et les moraines.

- Composés de sables et graviers — **aquifère**.

### SÉDIMENTS GLACIOMARINS , GLACIOLACUSTRES et LACUSTRES

Mis en place dans la mer de Champlain ou dans des lacs alimentés par les eaux de fonte, pendant et après la déglaciation.

- Lorsque déposés en eau profonde : composés de silt et d'argile — **aquitard**.
- Lorsque déposés en eau peu profonde, sur le littoral ou dans des deltas : composés de sable et gravier — **aquifère**.

### SÉDIMENTS ALLUVIAUX

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

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

### SÉDIMENTS ÉOLIENS

Mis en place par l'action du vent, sous forme de dune

- Composés sable — **aquifère**.

### SÉDIMENTS ORGANIQUES

Constituent les milieux humides, surtout des tourbières.

- Composés de matière organique — **dynamique d'écoulement des eaux souterraines complexe**.

#### Till



#### Sédiments fluvioglaciaires



#### Argiles lacustres



#### Sédiments littoraux



#### Sédiments alluviaux



#### Sédiments éoliens



#### Tourbe



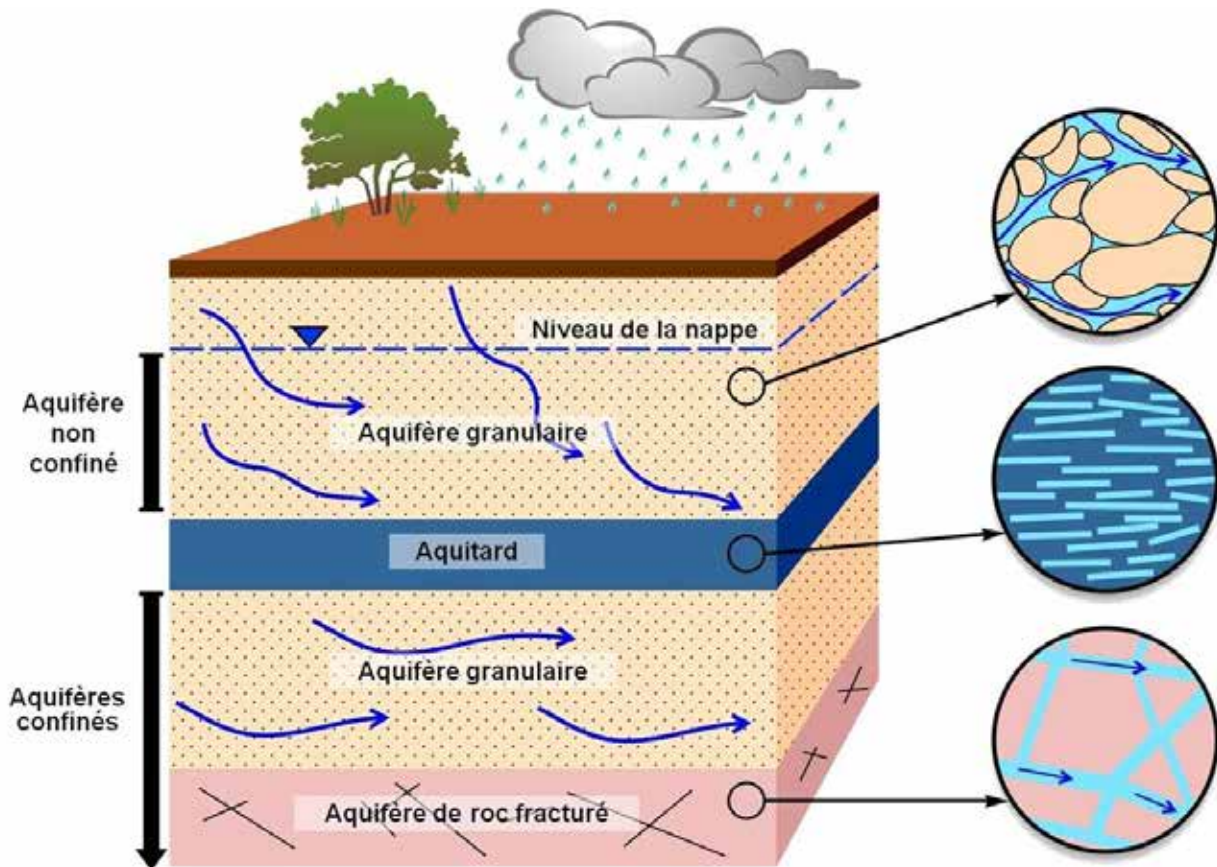


## CONDITIONS DE CONFINEMENT

Un aquifère confiné (ou à **NAPPE CAPTIVE**) 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 imperméable n'est plus présente. L'eau souterraine y est sous pression plus élevée que celle de l'atmosphère.

Un aquifère non confiné (ou à **NAPPE LIBRE**) 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 semi-confiné (ou à **NAPPE SEMI-CAPTIVE**) est un cas intermédiaire pour lequel les couches sus-jacentes ne sont pas complètement imperméables, dû à leur composition ou leur faible épaisseur. Il est **modérément protégé d'une contamination** par la surface.

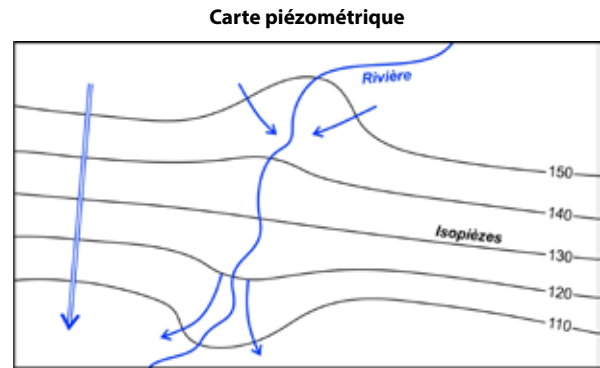




## PIÉZOMÉTRIE

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 indique 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 dépend des conditions climatiques, de l'occupation du sol, de la topographie et des 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 qu'elles s'étendent sur une assez grande surface. 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.



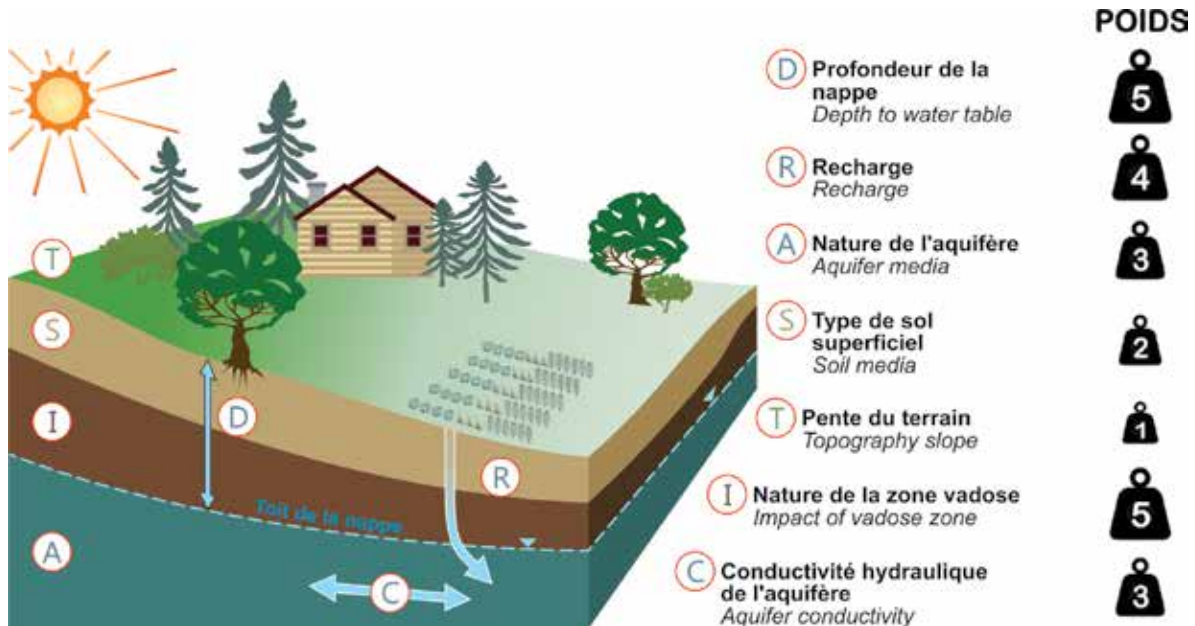


## VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

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**.

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

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



Le **risque de dégradation de la qualité de l'eau souterraine** peut être estimé en jumelant la vulnérabilité, l'impact des activités humaines présentant un danger potentiel de contamination et l'importance de l'exploitation de l'aquifère.

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, plus son temps de résidence est long, et plus elle sera **évoluée** et **minéralisée**, c'est-à-dire concentrée en minéraux dissous.

Plusieurs **types d'eau** sont identifiés :

- **Type Ca-HCO<sub>3</sub>** : eau récente, peu évoluée et minéralisée, signature géochimique se rapprochant de l'eau douce de recharge ;
- **Type Na-HCO<sub>3</sub>** et Na-Cl) : eau plus ancienne, plus évoluée et minéralisée, signature géochimique montrant une salinité plus élevée ;
- **Type Na-Cl** : eau ancienne, évoluée et minéralisée, avec influence saline de l'eau interstitielle des argiles marines de la mer de Champlain ou témoignant d'une contamination au sel de déglacage.

### 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. : Arsenic < 0,01 mg/L, pour éviter certains cancers et des effets cutanés, vasculaires et neurologiques.
- 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 organoleptiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effet néfaste reconnu 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. : Manganèse < 0,05 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 PACES Nicolet-Bas-Saint-François

---

Le projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Nicolet et de la partie basse de la rivière Saint-François couvre un territoire d'une superficie totale de 4585 km<sup>2</sup>. Ce projet a été réalisé par l'Université du Québec à Montréal en collaboration avec les partenaires régionaux suivants: les organismes de bassin versant COGESAF (rivière Saint-François) et COPERNIC (rivière Nicolet), les CRÉ Centre-du-Québec, Estrie et Chaudière-Appalaches, les MRC d'Arthabaska, de Drummond, de l'Érable, du Haut Saint-François (Dudswell), de Nicolet-Yamaska, de Pierre-de-Sorel, des Sources, et de Val-Saint-François, l'Agence de Géomatique du Centre-du-Québec (AGTCQ) et l'Université de Sherbrooke.

Les objectifs généraux du projet étaient les suivants :

1. dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint François;
2. favoriser une saine gestion de la ressource en développant des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire dans l'acquisition des connaissances sur la ressource en eaux souterraines.

Plus spécifiquement, le projet visait à :

1. comprendre la nature des formations aquifères;
2. connaître l'origine et les directions d'écoulement de l'eau souterraine;
3. décrire la qualité de l'eau souterraine;
4. quantifier le bilan hydrique de l'aquifère;
5. estimer la pérennité de la ressource en eau souterraine selon son taux de renouvellement naturel et en fonction des prélèvements anthropiques
6. déterminer la vulnérabilité de l'eau souterraine aux activités humaines.

Les résultats de cette étude montrent que l'aquifère rocheux est dans l'ensemble peu productif bien que les formations géologiques du Bourret et de Saint-Victor puissent fournir des débits importants. Les principaux aquifères granulaires sont constitués par les dépôts fluvio-glaciaires de l'esker Asbestos-Tingwick et par les dépôts quaternaires anciens du secteur aval de la zone d'étude.

L'eau souterraine s'écoule principalement dans le roc fracturé, du secteur des Appalaches à l'amont vers le fleuve Saint-Laurent en aval. Une partie importante de cet écoulement souterrain est intercepté par les nombreuses rivières présentes dans la région.

À l'échelle régionale, la recharge de l'aquifère fracturé est estimée à 152 mm/an. Les volumes d'eau souterraine utilisés par les particuliers, les villes, l'agriculture et l'industrie représentent environ 3 % de la recharge de l'aquifère fracturé. Une très faible proportion de la recharge (<1 %) atteint le fleuve Saint-Laurent en aval de la zone d'étude.

L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité et peu de dépassements des normes pour l'eau potable ont été identifiés. Les principaux dépassements, pour le baryum, l'arsenic et le fluor, seraient d'origine naturelle. Les problématiques identifiées concernent certains critères esthétiques et notamment les concentrations en manganèse. Un seul dépassement de la norme pour l'eau potable a été observé pour les nitrates. Ils atteignent toutefois, dans la partie amont de la zone d'étude, des concentrations telles qu'ils peuvent être associées à une source anthropique. L'analyse bactériologique a montré qu'environ 45 % des puits échantillonnés avaient au moins un dépassement de norme. Des pesticides, de la caféine et des produits pharmaceutiques et de soins personnels ont été détectés dans l'eau souterraine. Ces données indiquent qu'il existe un signal anthropique provenant des eaux usées.

Les secteurs où l'aquifère rocheux est le plus vulnérable à une contamination provenant de la surface sont situés dans les Appalaches, aux endroits où les dépôts meubles sont minces et en contact direct avec le roc et où la recharge est élevée.

Les données acquises, les cartes produites et les analyses qui en découlent seront directement utiles pour la gestion de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant la rivière Nicolet et de la partie basse du bassin versant de la rivière Saint-François.

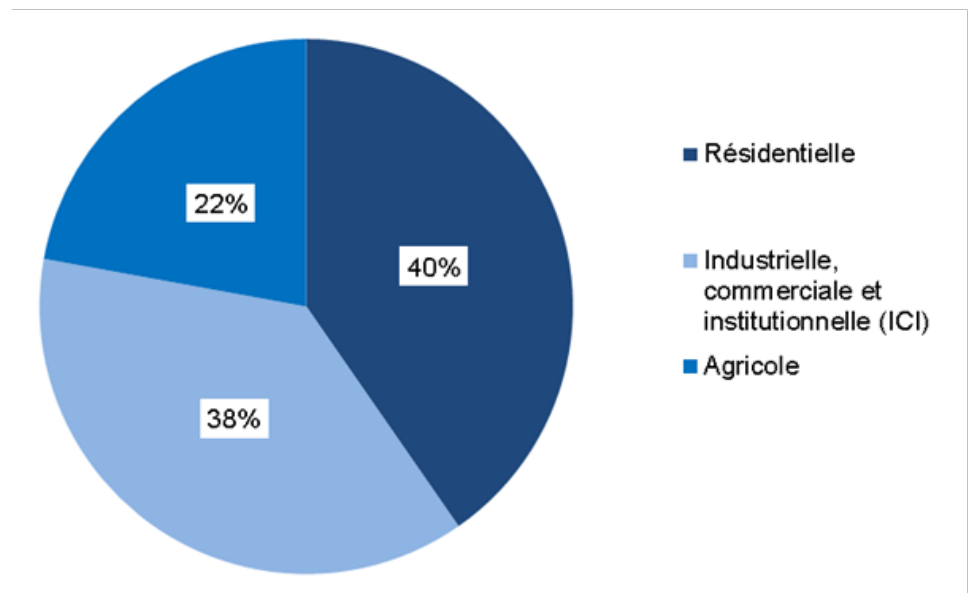
## Limites générales de l'étude

Les cartes réalisées dans le cadre du PACES Nicolet-Bas-Saint-François sont représentatives des conditions régionales à l'échelle 1/100 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional qui en découle pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser les cartes, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, ces cartes ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute oeuvre dérivée des cartes produites dans ce projet et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles oeuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de ces cartes, des conditions présentées par les cartes ou des données y étant rattachées.

Les données de base utilisées proviennent de différentes sources (ex. : données de terrain récoltées dans le cadre du PACES, rapports de consultants, bases de données ministérielles) pour lesquelles la qualité des données est variable. Une grande proportion des données proviennent du Système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDELCC et sont jugés de moins bonne qualité, tant en ce qui concerne les mesures géologiques et hydrogéologiques que les localisations rapportées. Ces données sont moins fiables individuellement, mais elles permettent de faire ressortir les tendances régionales des paramètres hydrogéologiques étudiés. Les résultats des analyses de qualité de l'eau ne sont valides que pour le puits où l'échantillon a été récolté. Les valeurs des paramètres pourraient aussi varier temporellement (jours, saisons ou années). La vulnérabilité de l'aquifère fracturé en nappe libre et des aquifères granulaires de surface de la zone centrale est élevée à très élevée.

## Utilisation de l'eau souterraine

Au total, sur la zone d'étude, plus de 71 millions de mètres cubes d'eau sont consommés chaque année. Les MRC de Drummond et d'Arthabaska sont celles où la consommation d'eau est la plus importante, avec 51% et 30% de toute l'eau consommée, respectivement. La consommation d'eau par type d'utilisation se répartit de la manière suivante : 40% pour l'utilisation résidentielle, 38% pour les utilisations industrielle, commerciale et institutionnelle (ICI, incluant les pertes dans le réseau de distribution) et 22% pour l'utilisation agricole.



Du volume total d'eau consommée, 33% provient de l'eau souterraine. Le pourcentage d'alimentation à partir d'eau souterraine est toutefois très variable sur la zone d'étude : 16% dans la MRC de Drummond, 34% dans la MRC de L'Érable, 54% dans la MRC d'Arthabaska, et jusqu'à 100% dans les MRC d'Acton, Bécancour, Le Val-Saint-François, Les Appalaches et Pierre-de-Saurel (portions incluses dans la zone d'étude).

# Trois contextes hydrogéologiques régionaux sur la zone Nicolet et la partie basse de la zone Saint-François

---

## Les contextes des Appalaches

- **La zone amont :**

La zone amont, qui s'étend du piémont des Appalaches aux secteurs de topographie plus élevée, est caractérisée par une faible couverture de till remanié sur le roc fracturé. Celui-ci représente l'aquifère principal et est à nappe libre. Ces conditions géologiques et une précipitation importante en font la principale zone de recharge du territoire étudié. Dans un contexte de fonds de vallée, principalement dans le bassin de la rivière Nicolet sud-ouest, se sont retrouvés des dépôts d'argile qui s'épaississent graduellement de la zone amont vers la zone centrale. Ces dépôts créent des conditions d'aquifère semi-captif et captif sur lesquels la rivière s'écoule. Étant donné que l'étendue des dépôts argileux et de till épais se limite aux fonds de vallées, l'effet sur la recharge à l'échelle régionale est minime.

L'aquifère rocheux de cette zone comporte une forte variabilité de la conductivité hydraulique. Les puits NSF-R5 et NSF-R3 témoignent de ce phénomène avec des variations de trois ordres de grandeur de conductivité hydraulique entre les deux puits. Néanmoins, plusieurs municipalités de cette zone ont éprouvé des difficultés à obtenir des débits convenables dans le roc fracturé. L'unité aquifère la plus importante du secteur amont est l'esker Asbestos-Warwick. Cette formation de sable et gravier s'étend de manière discontinue entre les villes de Danville et de Warwick. Des débits d'eau souterraine très élevés sont extraits de cette formation aquifère. Une deuxième unité aquifère est présente au sud de Kingsey Falls. Il s'agit d'une unité de sable et gravier au contact du roc, en condition de nappe captive. Des débits élevés sont extraits de cette formation.

Dans la zone amont, les niveaux piézométriques sont peu profonds et suivent généralement la topographie. Ceci indique la présence de gradients hydrauliques vers le bas et d'un écoulement souterrain vertical. Plus en aval dans la zone d'étude, i.e. vers la zone centrale, l'eau souterraine rejoint l'écoulement régional peu profond et celui-ci devient horizontal. Une partie de l'eau souterraine atteint également l'écoulement régional profond. La combinaison d'une recharge élevée et d'un relief accidenté est favorable à la résurgence de l'eau souterraine dans les parties basses du paysage. À ces endroits, les niveaux piézométriques peuvent être égaux ou supérieurs à la surface topographique, ce qui induit des suintements le long des escarpements rocheux et la décharge d'eau souterraine dans les cours d'eau et dans les fonds de vallées.

La signature géochimique de l'eau souterraine de cette zone est représentative d'une eau n'ayant pas résidé longtemps dans l'aquifère, elle est faiblement minéralisée et de bonne qualité. Le type d'eau Ca-HCO<sub>3</sub> est généralement associé à de l'eau de recharge, i.e. à une eau de pluie qui a faiblement dissous les minéraux carbonatés présents dans le sol et dont le taux de renouvellement est trop court pour que l'eau puisse se minéraliser de manière importante au sein de l'aquifère. L'aquifère fracturé de la zone amont est de vulnérabilité moyenne à élevée. L'eau souterraine circulant dans les sables et graviers de l'esker Asbestos-Warwick est aussi de type Ca-HCO<sub>3</sub> indiquant une eau récemment infiltrée.

## Les contextes des Basses-Terres

- **La zone centrale :**

La partie centrale du territoire à l'étude est caractérisée par une couverture quasi continue de till compact d'une épaisseur de 0 à 5 m qui crée localement des conditions de nappe semi-captive. En plus, par endroits les dépôts argileux créent des conditions de nappe captive, notamment près de la rivière Saint-François et Nicolet sud-ouest, à la jonction des rivières de Pins et Nicolet, de même qu'à la portion de la rivière Bulstrode s'écoulant dans la zone centrale. La majorité des tourbières se retrouve dans ces secteurs, signe de la présence de dépôts meubles peu perméables sous-jacents aux dépôts organiques. Les conditions de nappe libre sont retrouvées de part et d'autre de l'autoroute 20 et dans la zone située au nord de Drummondville, autour de Saint-Cyrille-de-Wendover et de Notre-Dame-du-Bon-Conseil et au Nord-est de Saint-Samuel-de-Horton. Les secteurs de nappe libre dans la zone centrale sont généralement recouverts d'une unité de sable et ont une pente faible. Cette unité sableuse est aussi présente dans les secteurs semi-captifs. Des aquifères superficiels sont parfois présents dans ces dépôts sableux, mais ceux-ci sont cependant discontinus dans l'espace et dépassent rarement 10 m d'épaisseur.

L'aquifère fracturé de la zone centrale est de vulnérabilité moyenne à très élevée. Les portions les plus vulnérables sont celles où la nappe est libre. La conductivité hydraulique des unités sableuses de surface est élevée. Leur épaisseur inférieure à 10 m et la discontinuité spatiale ne permettent pas l'extraction de volumes d'eau importants, mais suffisent à alimenter quelques petites municipalités.

Dans cette partie de la zone d'étude, les niveaux piézométriques sont peu profonds. L'écoulement souterrain dans l'aquifère rocheux est majoritairement horizontal, à l'exception des zones de résurgence où l'eau souterraine rejoint les cours d'eau principaux. Dans les dépôts granulaires superficiels, la nappe libre se situe près de la surface. L'eau s'écoule donc selon la pente du sol et rejoint généralement les cours d'eau ou les milieux humides.

Plusieurs types d'eau sont rencontrés dans cette portion du territoire. Les zones d'aquifère rocheux ou granulaire à nappe libre étant des zones de recharge, le type d'eau  $\text{Ca-HCO}_3$  y est fréquemment rencontré. Aux endroits où la couverture de till et d'argile devient assez importante pour créer des conditions de nappe semi-captive ou captive, la recharge est plus faible ou presque nulle, l'eau est plus minéralisée et son pH augmente. L'eau de type  $\text{Na-HCO}_3$  est principalement observée dans ces zones. La vulnérabilité de l'aquifère fracturé en nappe libre et des aquifères granulaires de surface de la zone centrale est élevée à très élevée.

## Les contextes des Basses-Terres (suite)

- **La zone aval :**

La partie aval de la zone d'étude est caractérisée par une couverture importante de dépôts meubles imperméables qui créent des conditions de nappe captive. Des unités perméables sableuses d'épaisseur supérieure à 10 m y sont retrouvées, généralement en condition de nappe captive, sous l'argile. La recharge de l'aquifère fracturé est donc quasiment nulle. Le niveau piézométrique y est généralement beaucoup plus élevé que le toit du roc. Par exemple, au puits NSF-R1, le roc est rencontré à une profondeur de 43 m, et le niveau piézométrique n'est qu'à 1,3 m de la surface. La même observation peut être faite pour le puits NSF-R8 où le roc se trouve à 42 m de profondeur et le niveau piézométrique est à 21 m de la surface.

Les roches de la partie aval sont relativement peu fracturées et peu productives. La conductivité hydraulique y est faible. Les aquifères granulaires captifs fournissent cependant des débits élevés.

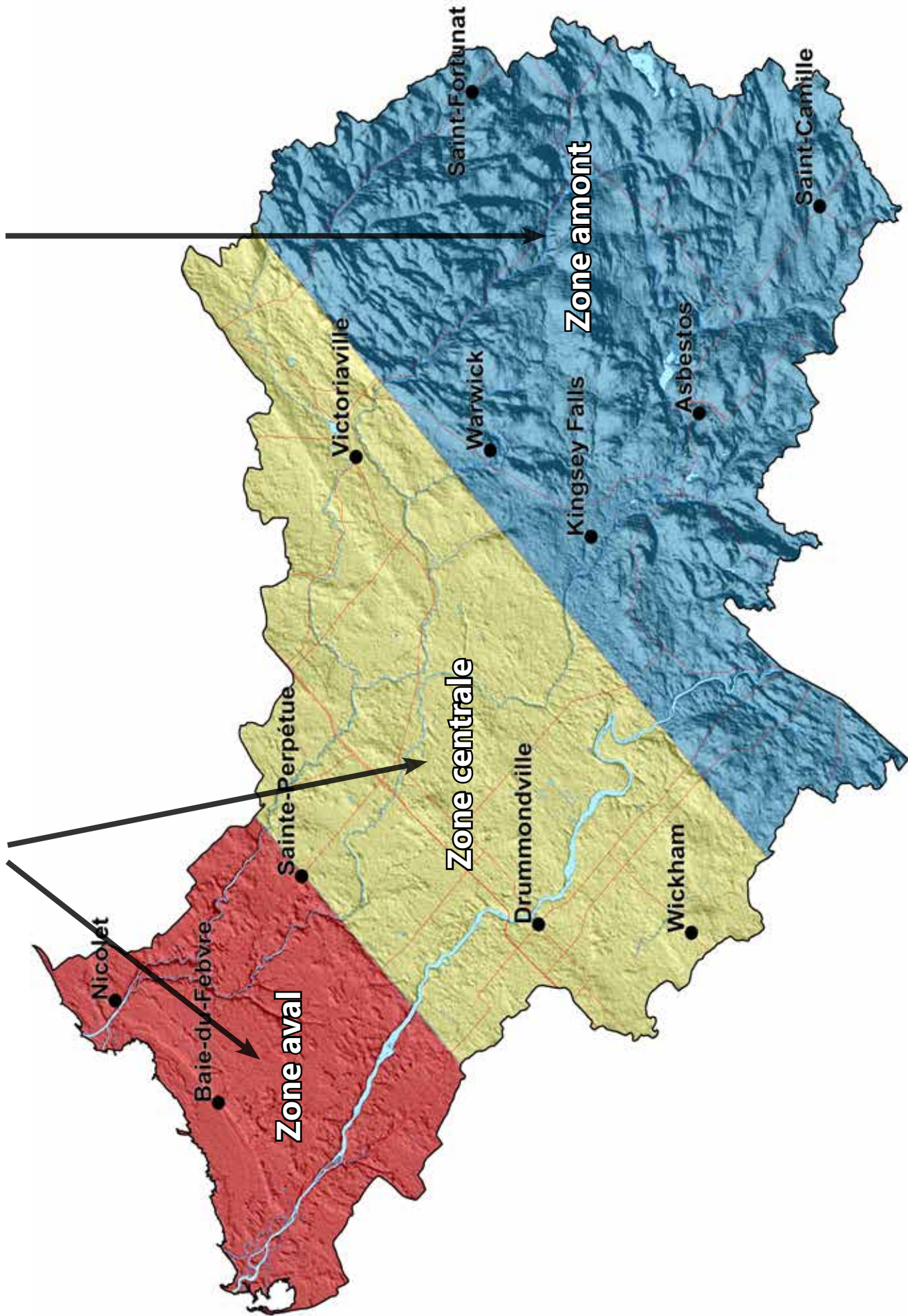
L'eau s'infiltré dans les zones de recharge à nappe libre et semi-captive (dans une moindre mesure), situées au nord de l'autoroute 20 et dans quelques zones près de Sainte-Perpétue, pour ensuite circuler dans l'aquifère fracturé sous le couvert de dépôts imperméables. Les directions d'écoulement de l'eau souterraine y sont généralement horizontales. Cependant, si la couverture de dépôts imperméables s'amincit ou devient inexistante, comme c'est le cas dans le lit des rivières Saint-François, Nicolet et Nicolet sud-ouest, il y a présence d'un écoulement vertical et résurgence d'eau souterraine dans les rivières.

Peu d'information géochimique de l'eau circulant dans le roc a pu être obtenue dans la zone aval en raison de la quasi-absence de puits de particuliers dans cette région. En effet, la partie aval est alimentée depuis longtemps par des réseaux d'aqueduc qui puisent leur eau dans le réseau hydrographique de surface ou dans les aquifères granulaires. La zone aval est caractérisée par des types d'eau Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl et Ca-Cl. Ces eaux parfois saumâtres ou influencées par les eaux salines indiquent un très faible taux de renouvellement, des temps de résidence longs et un aquifère fracturé peu dynamique en profondeur. L'eau des zones de recharge n'atteint la zone aval qu'en très faible quantité, ce qui limite l'écoulement des eaux saumâtres minéralisées vers le fleuve. La vulnérabilité de l'aquifère fracturé de cette partie du territoire à l'étude est généralement faible en raison de l'importante couverture de dépôts imperméables combinée à de faibles taux de recharge.



Contextes des Basses-Terres

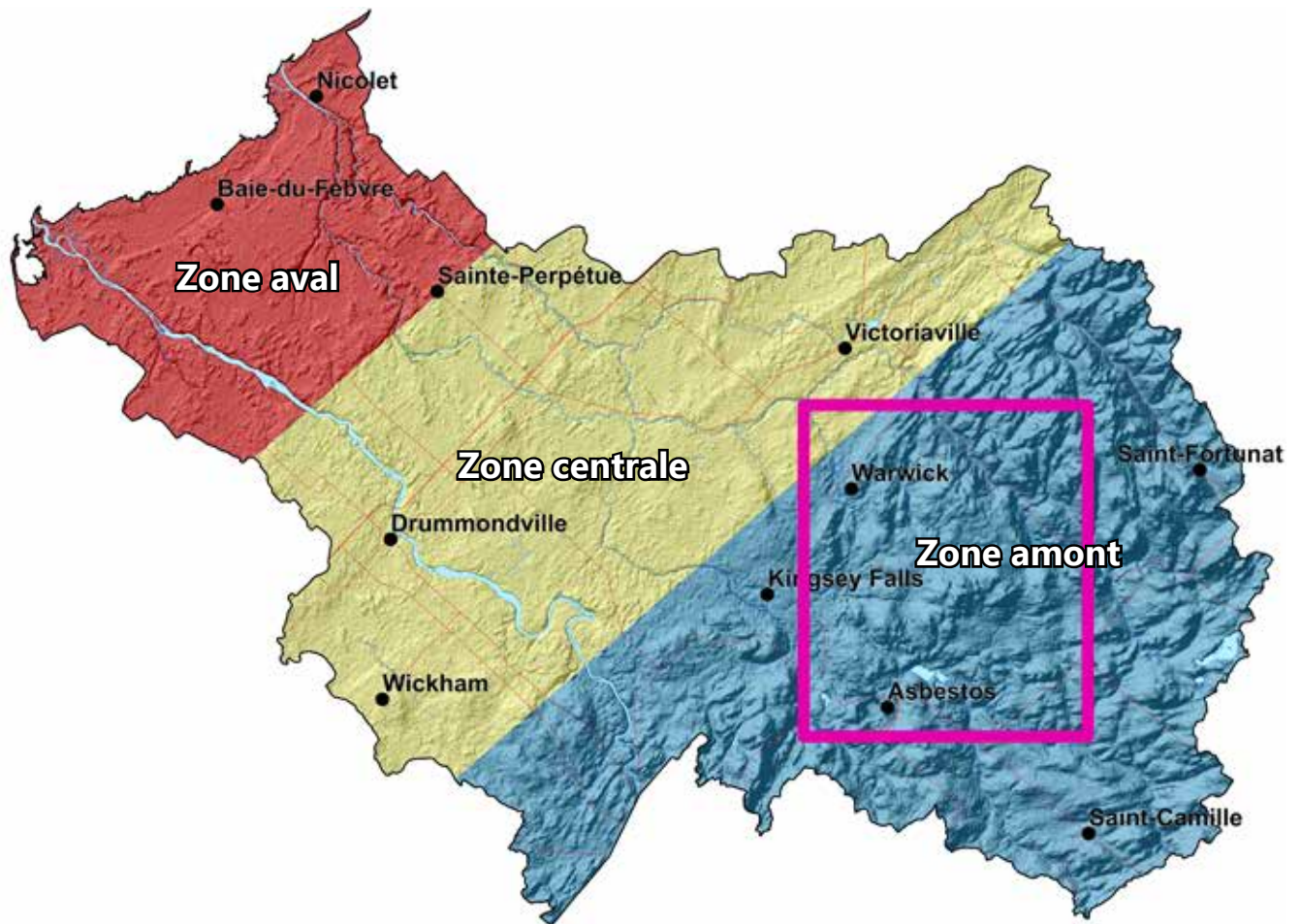
Contextes des Appalaches





# 3

## Les contextes hydrogéologiques régionaux des Appalaches



# 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) et donc peu perméables et suffisamment épais, ils formeront plutôt un **AQUITARD**. Les informations sur l'épaisseur et la texture 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 12,  
**DÉPÔTS MEUBLES,**  
page 14

## Méthode utilisée

L'épaisseur totale des dépôts meubles a été estimée en interpolant, sur des mailles de 250 m x 250 m, les données colligées et validées dans le cadre du projet. Les descriptions détaillées des forages réalisés dans le cadre du projet, les données stratigraphiques issues de rapports de consultants, les données extraites de la base de données du MTQ ainsi que les levés géophysiques, constituent les données les plus fiables.

## Interprétation pour le secteur des Appalaches

Dans les Appalaches, l'épaisseur des dépôts meubles peut dépasser 50 m dans la vallée de la rivière Nicolet du sud-ouest. Les déformations tectoniques de la roche dans ce secteur ont formé des dépressions qui ont été remplies par des sédiments, notamment dans la portion comprise entre Kingsey Falls et Asbestos (secteur des Trois-Lacs).



**F** On retrouve les dépôts meubles les plus épais dans la municipalité de Saint-Rémi-de-Tingwick.

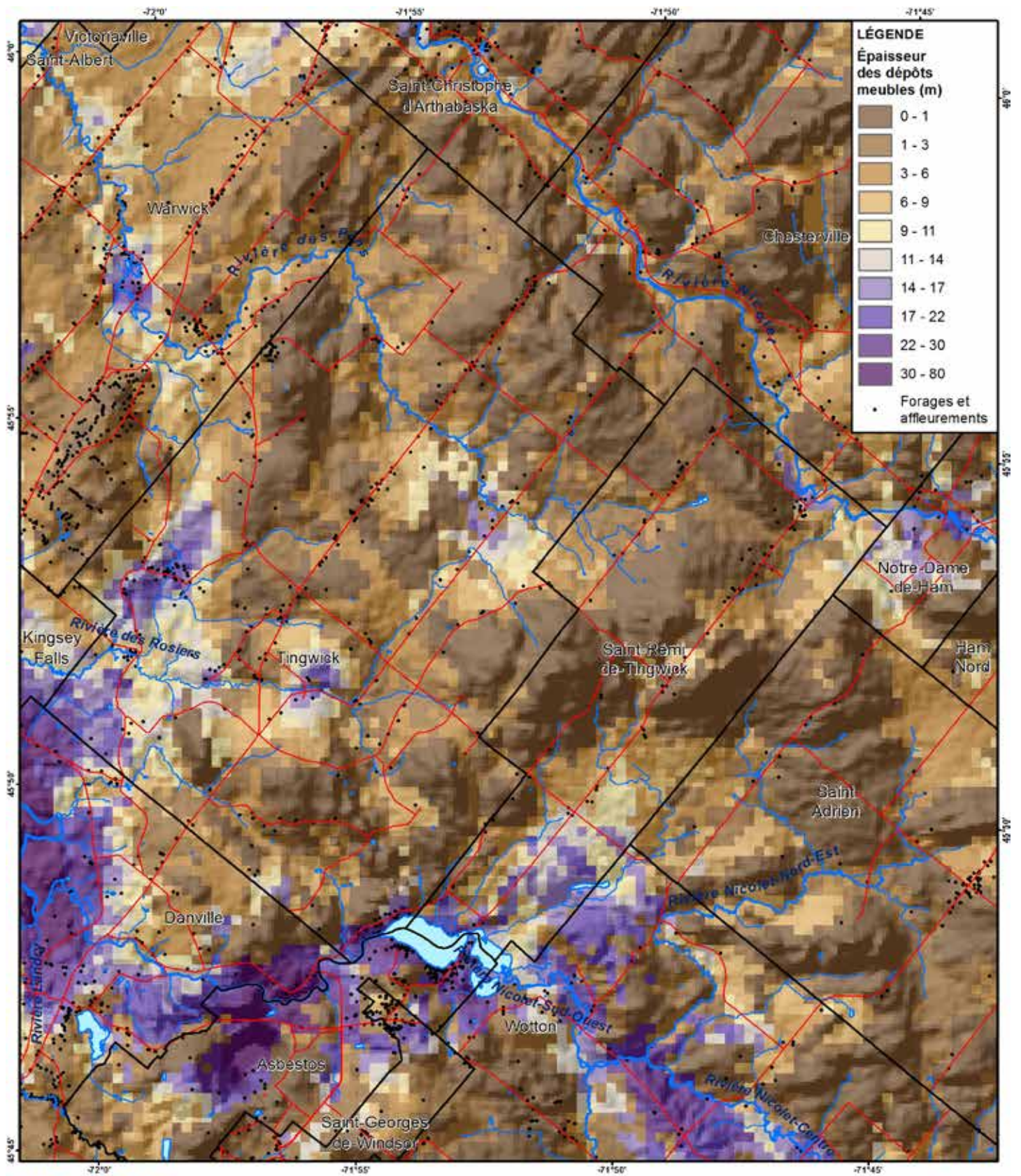
Vrai  Faux

**F** On retrouve les dépôts meubles les plus épais 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)?

**D** Pourquoi retrouve-t-on les épaisseurs de dépôts meubles plus importantes dans les vallées?

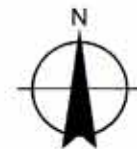


### Épaisseur des dépôts meubles

Secteur des Appalaches

0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000



# Contextes hydrogéologiques

## Définition

Les contextes hydrogéologiques sont définis sur la base des séquences d'empilement vertical des **DÉPÔTS MEUBLES** recouvrant le **ROC FRACTURÉ**. Ces séquences hydrostratigraphiques 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.



**DÉPÔTS MEUBLES,  
ROC FRACTURÉ**  
page 14

## Méthode utilisée

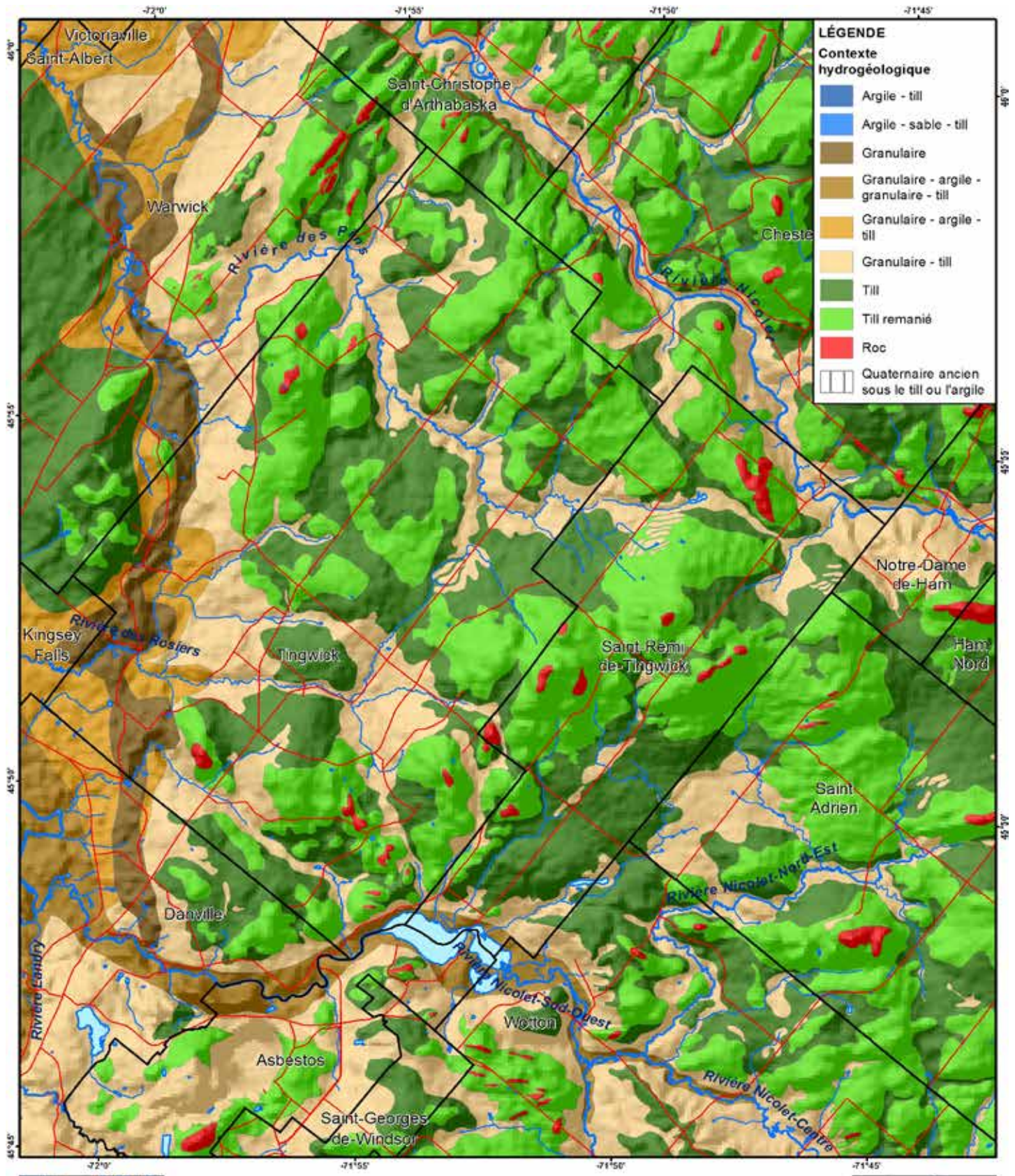
Un modèle simplifié, basé sur la description granulométrique et sur les propriétés hydrauliques des différentes unités, a été développé pour construire le modèle hydrostratigraphique de la zone d'étude. Ce dernier compte neuf unités hydrostratigraphiques, dont cinq unités aquifères (perméables) et quatre unités aquitard (imperméables). Les différentes couches d'information représentant l'épaisseur des unités hydrostratigraphiques ont été superposées afin d'identifier des regroupements de contextes hydrogéologiques. Tous les contextes hydrogéologiques des dépôts meubles reposent sur le roc fracturé.

## Interprétation pour le secteur des Appalaches

La zone appalachienne est dominée par les contextes d'affleurements de roc, de till, de till remanié et de dépôts granulaires reposant du till. Ce type de contexte est principalement rencontré dans le fond des vallées, là où les dépôts ont pu s'accumuler. Il est possible que des dépôts silteux ou argileux soient présents sous les dépôts granulaires. Cependant, les informations n'ont pas permis de généraliser ce contexte à toutes les vallées. La vallée de la rivière Nicolet sud-ouest entre les Trois-Lacs et Kingsey Falls est caractérisée par une séquence de dépôts granulaires superposés à un till reposant sur des dépôts argileux compacts et parfois des graviers. L'épaisseur des dépôts fins peut atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Le forage NSF-R11, localisé près de la rivière Nicolet à Asbestos, ainsi qu'un forage de consultant localisé à Danville, a permis de valider l'étendue de la vallée enfouie. Cette dépression du roc est causée sans doute par le réseau de failles dans le secteur s'étend de la région de Kingsey Falls jusqu'en amont du secteur des Trois-Lacs et peut-être même plus en amont.



- F** Les contextes hydrogéologiques dominants sur les hauts topographiques sont le till sur roc ou le till remanié sur roc.  
Vrai  Faux
- F** Des sédiments granulaires occupent généralement le fond des vallées.  
Vrai  Faux
- M** Où retrouve-t-on la séquence hydrostratigraphique la plus complexe et quelle est sa séquence d'empilement des dépôts meubles?
- D** À quoi correspond le cordon de couleur brune d'environ 15 km de long sur 1 km de large allant de Danville à Warwick?

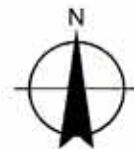


**Contextes hydrogéologiques**

**Secteur des Appalaches**

0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000



# Conditions de confinement

## Définition

Les conditions de confinement d'un aquifère sont liées à son recouvrement par une couche de matériaux peu perméables (aquitard) qui isole de la surface l'eau souterraine qu'il contient. La nature et l'épaisseur des dépôts meubles ou des unités géologiques déterminent le niveau de confinement des aquifères, qui va de non confiné (**NAPPE LIBRE**), à semi-confiné (**NAPPE SEMI-CAPTIVE**) et jusqu'à confiné (**NAPPE CAPTIVE**). Le confinement influence les divers processus dynamiques et chimiques de l'eau souterraine, en limitant ou favorisant la recharge de l'aquifère ou encore sa protection par rapport à une contamination provenant de la surface.



**NAPPE LIBRE,  
NAPPE CAPTIVE,  
NAPPE SEMI-  
CAPTIVE** page 15

## Méthode utilisée

Les conditions de confinement ont été définies, sur des mailles de 250 m x 250 m, selon les critères suivants:

- **Nappe captive** : plus de 3 m d'argile ou plus de 5 m de till compact;
- **Nappe semi-captive** : de 1 à 3 m d'argile ou de 3 à 5 m de till compact;
- **Nappe libre** : moins de 1 m d'argile et moins de 3 m de till compact.

Ce livrable ne montre pas l'indice de confinement des aquifères granulaires superficiels.

## Interprétation pour le secteur des Appalaches

Les zones d'aquifère de roc fracturé à nappe libre, à nappe semi-captive et à nappe captive représentent respectivement 55%, 18% et 27% de la superficie du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François.

Le secteur des Appalaches est généralement en condition de nappe libre, car la couverture des dépôts meubles imperméables y est mince ou absente. Certains fonds de vallée ont été identifiés comme étant en condition de nappe semi-captive. L'estimation de la superficie en nappe semi-captive est toutefois conservatrice puisque dans plusieurs autres fonds de vallée la présence de till compact d'épaisseur suffisante pourrait également créer des conditions de nappe semi-captive, voire même captive. La résolution des données générées dans ce projet ne permet cependant pas d'évaluer l'étendue de ce phénomène.



**F** Le secteur des Appalaches est dominé par des conditions à nappe libre due à la présence quasi-continue de sédiments argileux.

Vrai  Faux

**F** La carte de l'Indice de confinement indique aussi l'indice de confinement des aquifères granulaires.

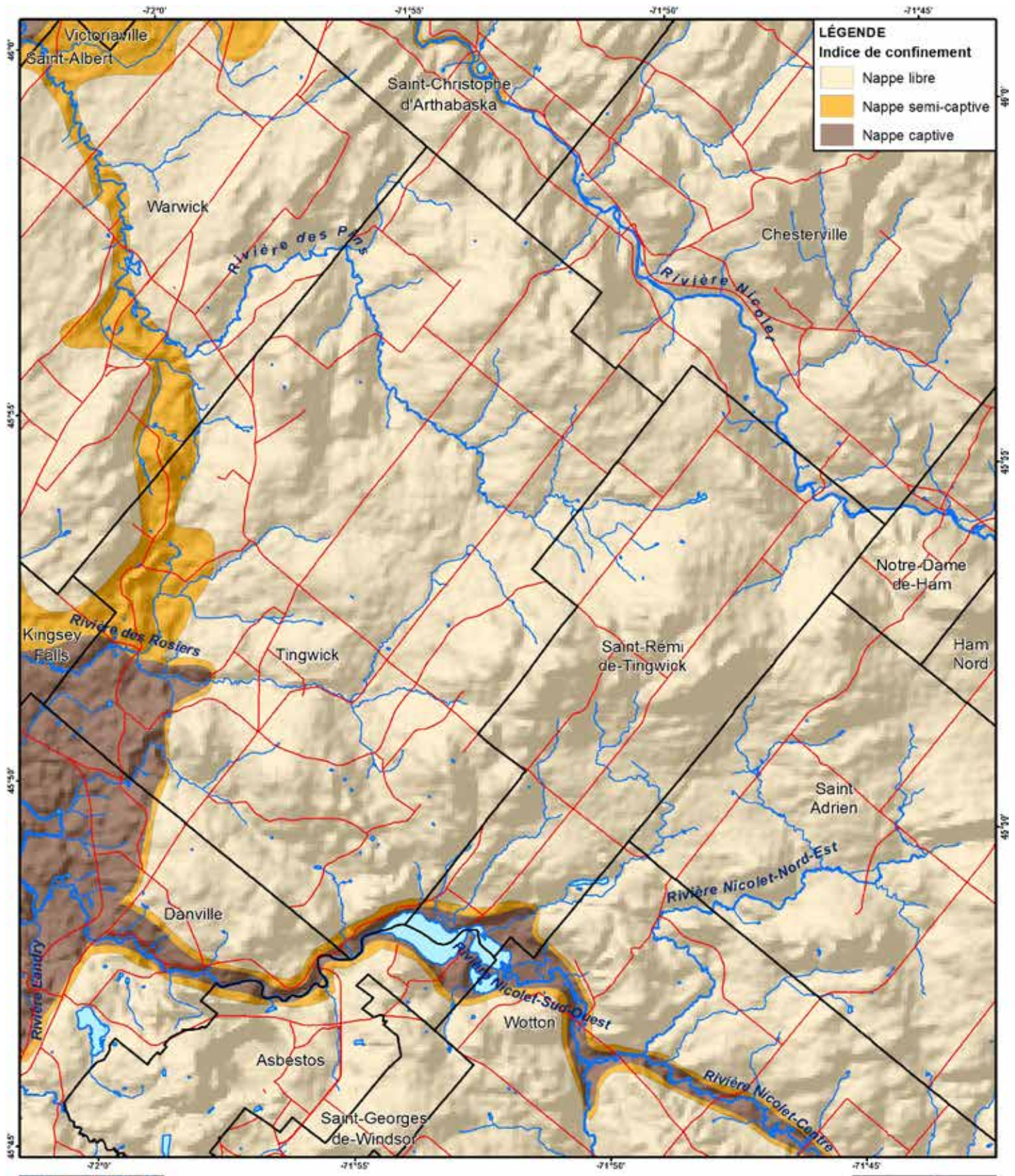
Vrai  Faux

**F** Une nappe libre est alimentée par l'eau des précipitations qui s'est infiltrée récemment.

Vrai  Faux

**M** Lorsqu'il y a présence d'argile, les conditions de confinement sont-elles nécessairement à nappe captive?





**LÉGENDE**

**Indice de confinement**

<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:lightyellow; border:1px solid black;"></span>	Nappe libre
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:orange; border:1px solid black;"></span>	Nappe semi-captive
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:brown; border:1px solid black;"></span>	Nappe captive



**Indice de confinement**  
**Secteur des Appalaches**



1 / 130 000



# Piézométrie

## 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** indique 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. On obtient ainsi une vue d'ensemble de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère.



**NAPPE** page 12,  
**PIÉZOMÉTRIE,**  
**NIVEAU**  
**PIÉZOMÉTRIQUE**  
page 16,

## Méthode utilisée

Les niveaux d'eau mesurés dans les puits ont été interpolés, sur des mailles de 250 m x 250 m, pour produire la carte piézométrique de l'aquifère de roc fracturé. Compte tenu du manque de données de niveaux d'eau disponibles dans les aquifères granulaires, ainsi que leur discontinuité spatiale, aucune carte piézométrique n'a été produite pour ceux-ci.

## Interprétation pour le secteur des Appalaches

Les niveaux piézométriques sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François varient d'un maximum de 670 m en zone amont à un minimum de 0 m en zone aval. La profondeur moyenne du niveau par rapport au sol est de 4,8 m. L'écoulement général dans l'aquifère fracturé se fait des Appalaches au fleuve Saint-Laurent, avec des variations locales causées principalement par la topographie et les rivières principales.

Dans la partie amont, les niveaux piézométriques suivent généralement la topographie. L'écoulement souterrain a lieu des hauts topographiques (zones de recharge) aux creux de vallées (zones de décharge) qui sont souvent occupées par les cours d'eau et les plans d'eau. Le gradient hydraulique varie entre 0,01 et 0,1 m/m. Les gradients les plus forts se retrouvent là où la topographie est très accidentée.



**F** La municipalité de Saint-Adrien reçoit son eau souterraine majoritairement depuis la municipalité de Wotton.

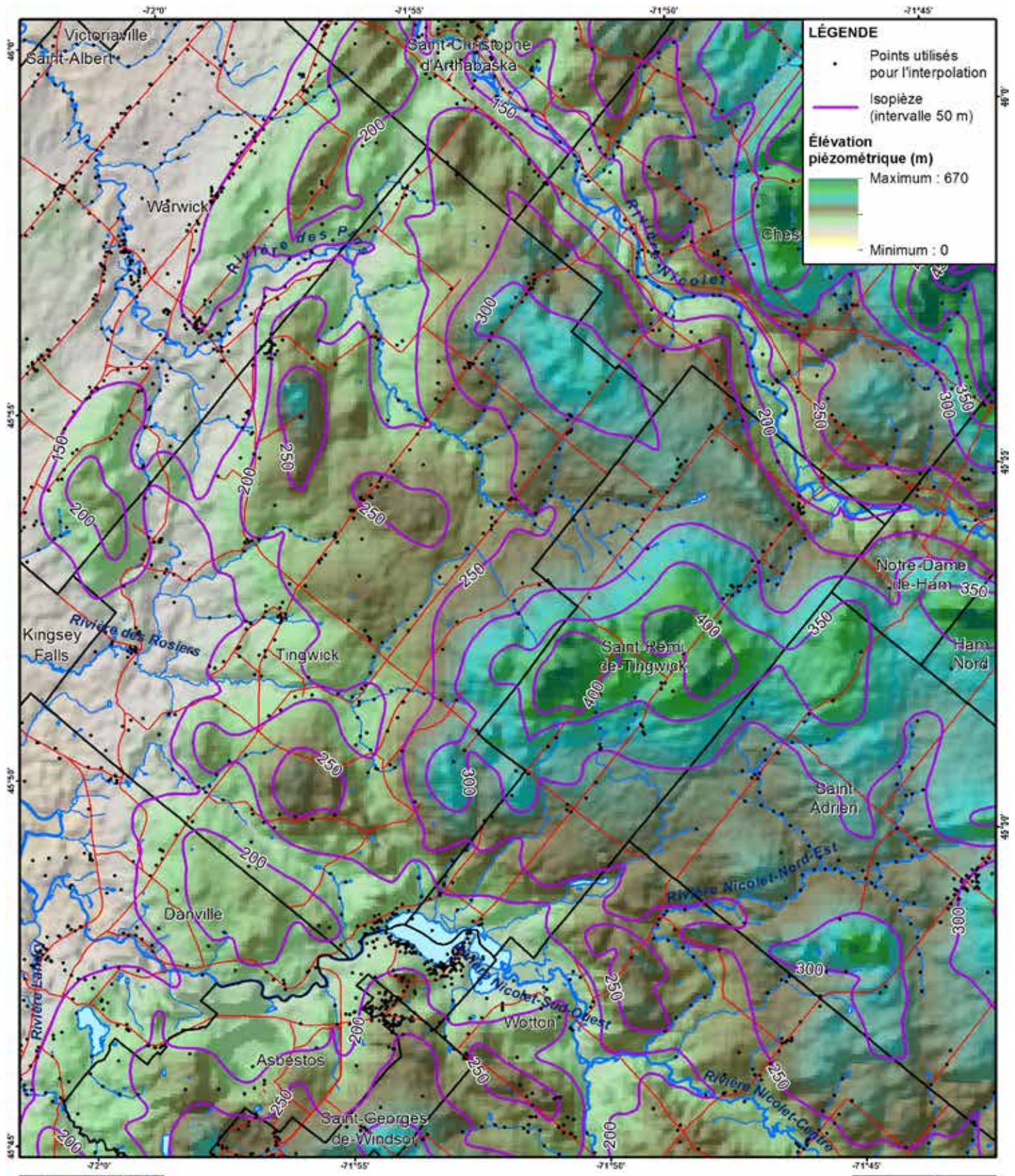
Vrai  Faux

**F** L'eau souterraine s'écoule des hauts topographiques vers les vallées qui sont souvent occupées par les cours d'eau et les plans d'eau.

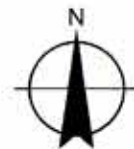
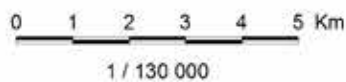
Vrai  Faux

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

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



**Piezométrie dans le roc**  
**Secteur des Appalaches**



# 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,  
RÉSURGENCE**  
page 16

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 (ou la pression) de la nappe d'un aquifère dépasse le niveau de la surface du sol.

## Méthode utilisée

La recharge potentielle à l'aquifère de roc fracturé a été calculée, sur des mailles de 550 m x 550 m, à l'aide du modèle de bilan hydrique spatialisé HydroBilan développé à l'UQAM. Les zones où la recharge est supérieure à 200 mm/an ont été identifiées comme zones de recharge préférentielle de l'aquifère au roc. Le seuil de 200 mm/an représente le 47<sup>e</sup> percentile des valeurs de recharge spatialisées calculées à l'aide du modèle HydroBilan.

Les zones de résurgences de l'eau souterraine sont principalement constituées par le réseau hydrographique lorsque ce dernier est en contact avec l'aquifère du roc. Les secteurs où le gradient hydraulique vers les cours d'eau est élevé constituent généralement des zones de résurgence potentielles de l'eau souterraine.

## Interprétation pour le secteur des Appalaches

À l'échelle du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François, la distribution de la recharge varie de 0 mm/an à 518 mm/an. La moyenne est de 153 mm/an.

Les zones de recharge de l'aquifère fracturé les plus importantes sont localisées dans la zone amont avec des taux de recharge généralement supérieurs à 200 mm/an. Les zones de recharge préférentielle sont situées principalement dans la zone amont. Ces zones sont clairement identifiées avec la signature géochimique de l'eau souterraine.

Dans la zone amont, les cours d'eau principaux (rivière Nicolet, Nicolet centre, Nicolet sud-ouest et Bulstrode) sont les zones principales de résurgence.



**F** La recharge est majoritairement élevée dans le secteur des Appalaches.

Vrai  Faux

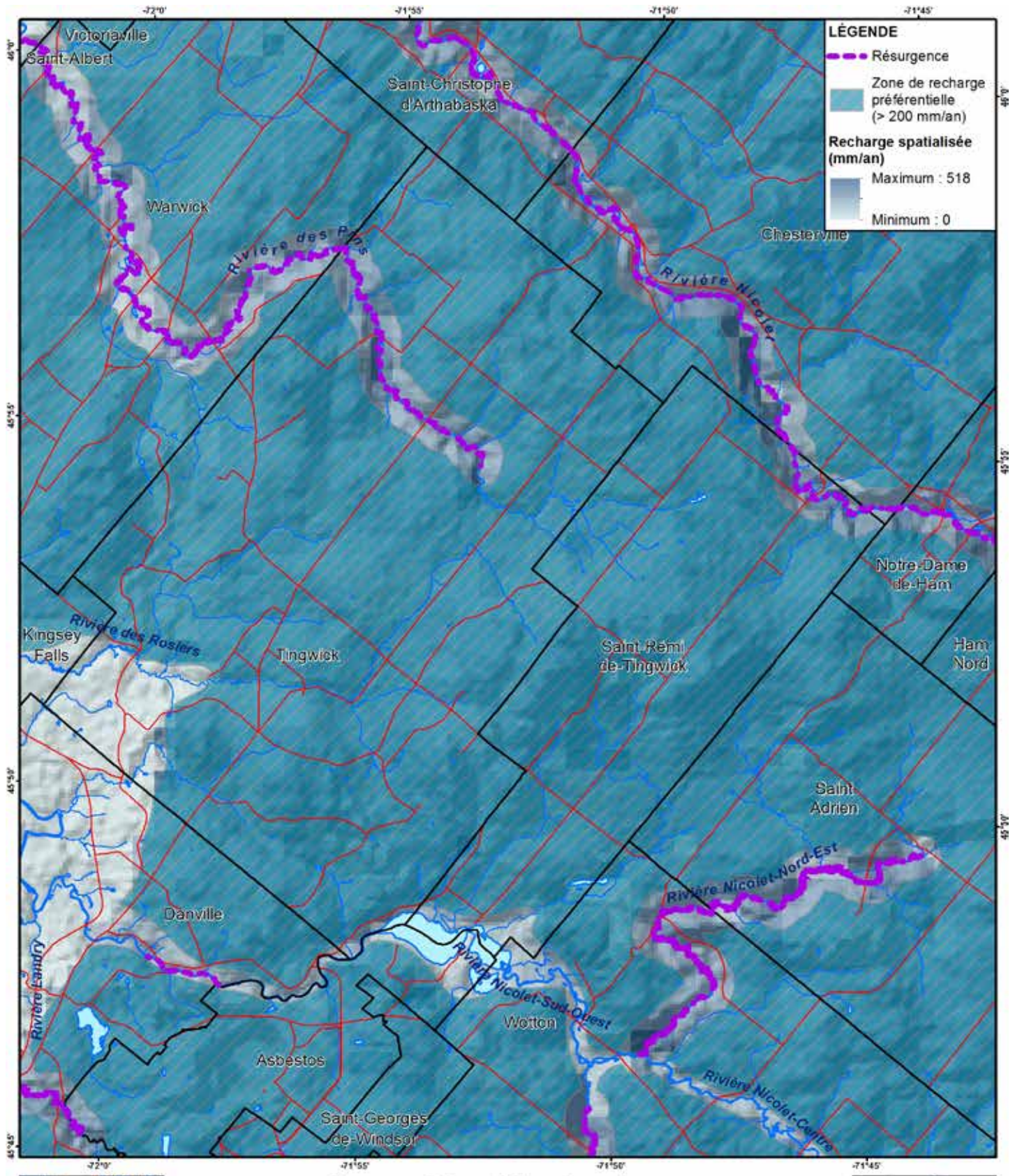
**F** Les sédiments granulaires accumulés dans les vallées sont responsables des taux de recharge plus faibles qu'on y retrouve.

Vrai  Faux

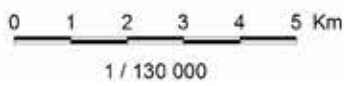
**F** Les cours d'eau principaux constituent généralement des zones de résurgence dans le secteur des Appalaches.

Vrai  Faux

**M** Pourquoi est-ce important de protéger en priorité les zones où la recharge de l'eau souterraine est plus élevée?



**Zones préférentielles de recharge et de résurgence**  
**Secteur des Appalaches**



# Vulnérabilité

## 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 propriétés hydrogéologiques de l'aquifère, intégrant ainsi les connaissances de la région en un indice pouvant servir d'outil pour la prise de décision en matière d'aménagement et de gestion du territoire en vue de prévenir une éventuelle contamination de l'eau souterraine par des activités anthropiques potentiellement polluantes.



**VULNÉRABILITÉ,  
DRASTIC** page 17

## Méthode utilisée

La vulnérabilité a été évaluée, sur des mailles de 250 m x 250 m, pour l'aquifère régional de roc fracturé à l'aide de 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 niveaux de vulnérabilité ont été définis 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.

## Interprétation pour le secteur des Appalaches

L'indice DRASTIC de l'aquifère rocheux varie de 24 à 185 sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François. Les niveaux de vulnérabilité «faible», «moyen» et «élevé» représentent respectivement 28%, 72% et moins de 1% du territoire.

Pour le secteur des Appalaches, la vulnérabilité DRASTIC est généralement élevée (indice de 126 à 150) à très élevée (indice supérieur à 150). Pour cette région, des points de l'indice DRASTIC sont majoritairement apportés grâce aux taux de recharge élevés (cote R). Des profondeurs de nappe (cote D) généralement faibles, c'est-à-dire près de la surface, viennent également ajouter beaucoup de points à l'indice DRASTIC. Des points pour les zones les plus vulnérables sont par ailleurs apportés par la cote A (milieu aquifère), pour les lithologies contrastées retrouvées au sein des Appalaches. La vallée de la rivière Nicolet, dans le secteur de Danville et d'Asbestos, est caractérisée par une vulnérabilité faible étant donné les conditions de nappe captive qui y prévalent. Cette situation est cependant circonscrite au fond de la vallée.



**F** Dans les Appalaches, on retrouve en majorité des zones à vulnérabilité « moyenne » selon le RPEP.

Vrai  Faux

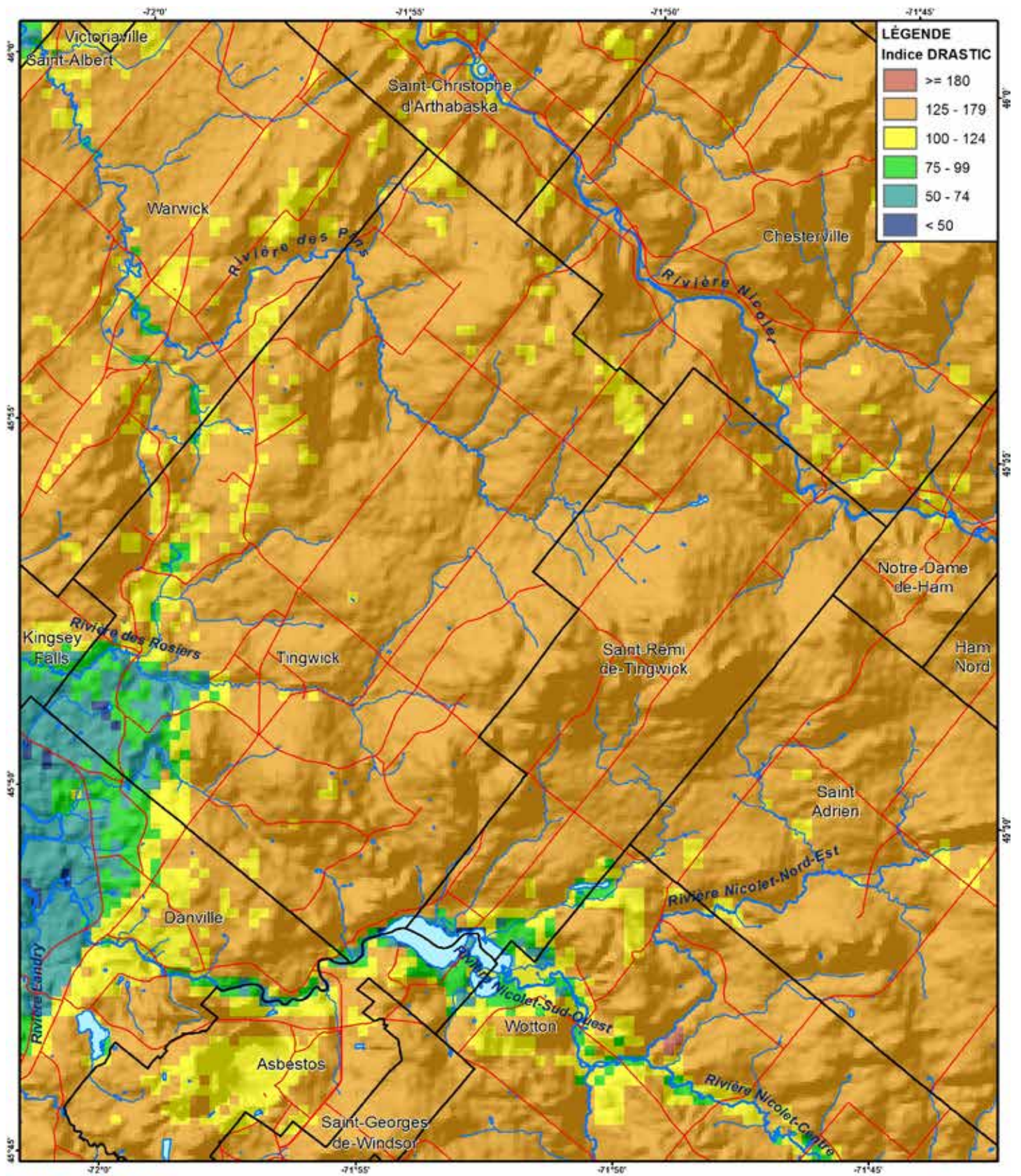
**F** La vallée de la rivière Nicolet, dans le secteur de Danville et d'Asbestos, est caractérisée par une vulnérabilité faible à cause des sédiments granulaires qu'on y retrouve.

Vrai  Faux

**M** Cette carte permet de déterminer la vulnérabilité de l'aire d'alimentation d'un puits.

Vrai  Faux

**D** Quels facteurs principaux font en sorte que les aquifères du secteur des Appalaches sont sensibles face à des contaminations potentielles depuis la surface?

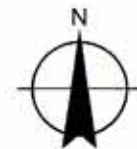


**Indice DRASTIC de l'aquifère au roc**

**Secteur des Appalaches**

0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000



# Qualité de l'eau – Critères pour l'eau potable

## Définition

Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES** (CMA) sont des normes bactériologiques et physicochimiques visant à éviter des risques pour la santé humaine.



**CONCENTRATIONS  
MAXIMALES  
ACCEPTABLES**  
page 18

## Méthode utilisée

Sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François, l'eau souterraine de 201 puits a été échantillonnée et analysée.

## Interprétation pour l'ensemble du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François

Les dépassements de CMA pour les paramètres physicochimiques suivants ont été relevés sur toute la zone d'étude du PACES :

Paramètre	Concentration maximale acceptable (CMA)	Nombre de dépassements de la CMA	Proportion des échantillons	Norme fondée sur :
Arsenic (As)	0,01 mg/L	13	6,5 %	Cancer (poumon, vessie, foie et peau); effets cutanés, vasculaires et neurologiques (engourdissement et picotement des extrémités)
Baryum (Ba)	1,0 mg/L	16	8,0 %	Maladies cardiovasculaires et augmentation de la pression artérielle
Fluorures (F)	1,5 mg/L	2	1,0 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Nitrites -Nitrates (NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub> )	10 mg N/L	1	0,5 %	Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu) et effets sur la fonction de la glande thyroïde chez les nourrissons alimentés au biberon
Plomb (Pb)	0,01 mg/L	2	1,0 %	Effets biochimiques et neurocomportementaux (développement intellectuel et comportement) chez les nourrissons et les jeunes enfants
Uranium (U)	0,02 mg/L	1	0,5 %	Effets sur les reins (différentes lésions)

Les dépassements en uranium et la grande partie de ceux en baryum, arsenic et fluor proviennent de puits qui captent l'aquifère de roc fracturé. Les dépassements en plomb ont été repérés dans l'aquifère au roc et dans l'aquifère granulaire, tandis que le dépassement en nitrate a eu lieu dans une pointe de surface installée dans un aquifère granulaire.

Les dépassements en fluor et en baryum sont observés dans l'aquifère au roc à nappe captive de la zone aval et seraient d'origine naturelle, par la dissolution de minéraux et de métaux présents naturellement dans le roc.

Les dépassements en arsenic se retrouvent dans la zone amont et seraient vraisemblablement d'origine naturelle, principalement par l'altération des minéraux contenant de l'arsenic.

Pour les nitrates, 15 % des échantillons présentaient des concentrations plus grandes que 1 mg/L, seuil à partir duquel la source est vraisemblablement d'origine anthropique.

Pour les paramètres bactériologiques, 78 des 173 puits échantillonnés (45%) ont présenté des dépassements de bactéries atypiques, coliformes totaux, Escherichia coli ou entérocoques fécaux. Les analyses bactériologiques indiquent entre autres choses l'état de l'entretien du puits plutôt que les conditions de l'aquifère à une échelle plus étendue.



**F** Les dépassements en arsenic seraient d'origine naturelle.

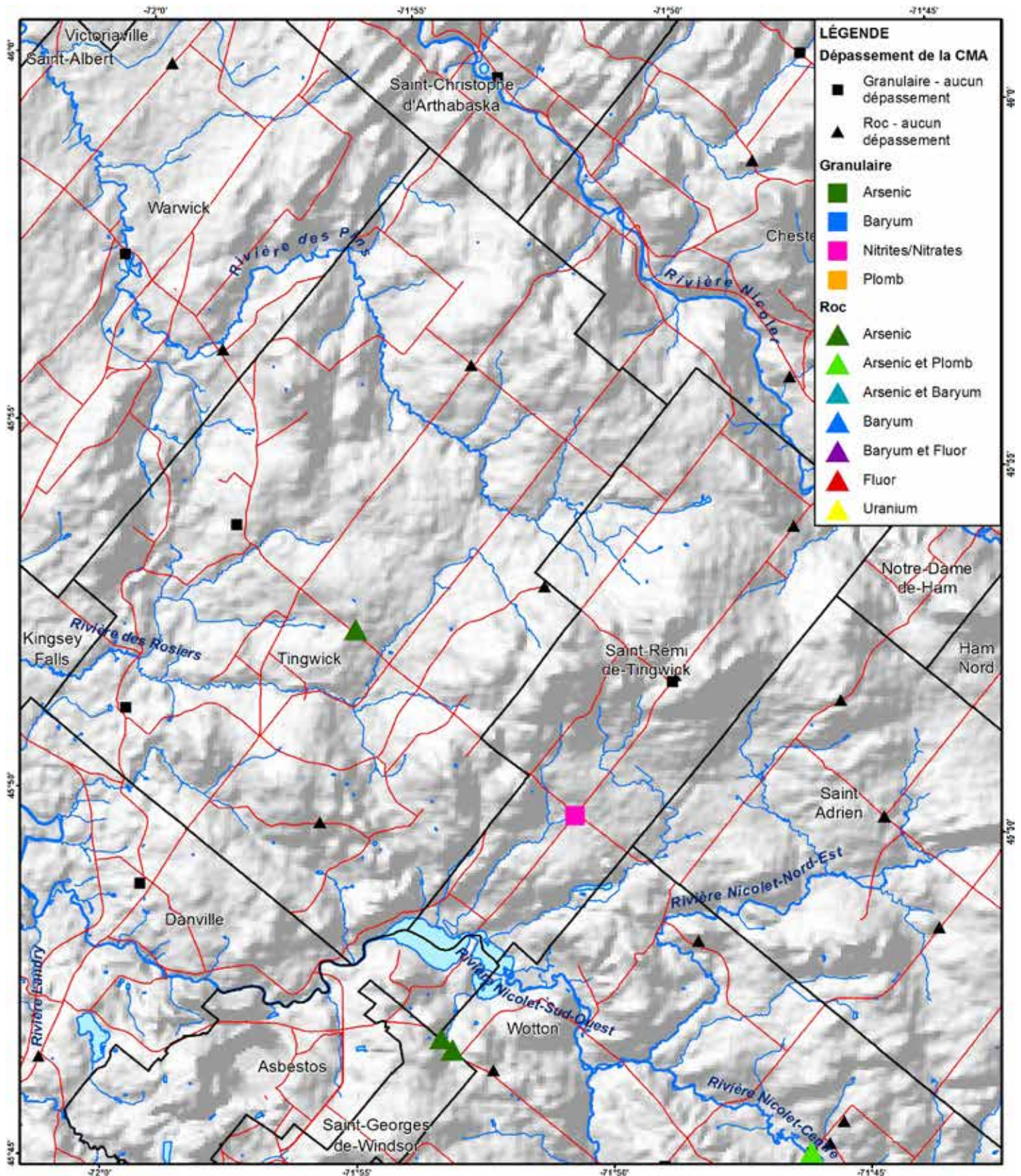
Vrai  Faux

**M** Les échantillons d'eau analysés dans le cadre de cette étude ont permis de confirmer qu'aucune problématique de contamination bactériologique n'existe sur le territoire.

Vrai  Faux

**M** Pourquoi les dépassements en nitrites-nitrates sont-ils problématiques?





**LÉGENDE**

**Dépassement de la CMA**

- Granulaire - aucun dépassement
- ▲ Roc - aucun dépassement

**Granulaire**

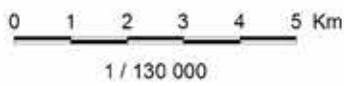
- Arsenic
- Baryum
- Nitrites/Nitrates
- Plomb

**Roc**

- ▲ Arsenic
- ▲ Arsenic et Plomb
- ▲ Arsenic et Baryum
- ▲ Baryum
- ▲ Baryum et Fluor
- ▲ Fluor
- ▲ Uranium



**Qualité de l'eau souterraine  
(critères de potabilité)  
Secteur des Appalaches**



# Qualité de l'eau - Critères esthétiques

## Définition

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



**OBJECTIFS ESTHÉTIQUES**

page 18

## Méthode utilisée

Sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François, l'eau souterraine de 201 puits a été échantillonnée et analysée.

## Interprétation pour l'ensemble du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François

Les dépassements d'OE pour les paramètres physicochimiques suivants ont été relevés sur toute la zone d'étude du PACES :

Paramètre	Objectif esthétique (OE)	Nombre de dépassements de l'OE	Proportion des échantillons	Recommandation fondée sur :
Aluminium (Al)	≤ 0,1 mg/L	7	3 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlorures (Cl)	≤ 250 mg/L	6	3 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté totale	≤ 200 CaCO <sub>3</sub> mg/L	61	32 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	≤ 0,3 mg/L	49	24 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	≤ 0,05 mg/L	94	47 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Matière dissoute totale	≤ 500 mg/L	46	24 %	Goût et entartrage
pH	entre 6,5 et 8,5	41	21 %	Influence sur la formation des sous-produits de la désinfection et l'efficacité du traitement
Sodium (Na)	≤ 200 mg/L	14	7 %	Goût
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	≤ 500 mg/L	1	0 %	Goût
Sulfure (S)	≤ 0,05 mg/L	7	3 %	Goût et odeur
Température	15 °C	6	3 %	Effets sur la désinfection, contrôle de la corrosion et formation de films biologiques dans le réseau de distribution

Un lien entre des concentrations élevées de manganèse et une diminution du quotient intellectuel chez les enfants en bas âge a récemment été découvert (Bouchard *et al.* 2011). Il est probable que ce paramètre devienne bientôt normé. L'occurrence du manganèse dans l'eau souterraine est vraisemblablement d'origine naturelle.

Les dépassements en sodium se retrouvent plus vers l'aval du bassin ou les conditions de confinement pour l'aquifère sont marquées, mais aucune tendance amont-aval n'est observable pour les autres dépassements du critère esthétique.



**F** L'eau souterraine présente rarement une odeur d'œufs pourris dans le secteur des Appalaches.

Vrai  Faux

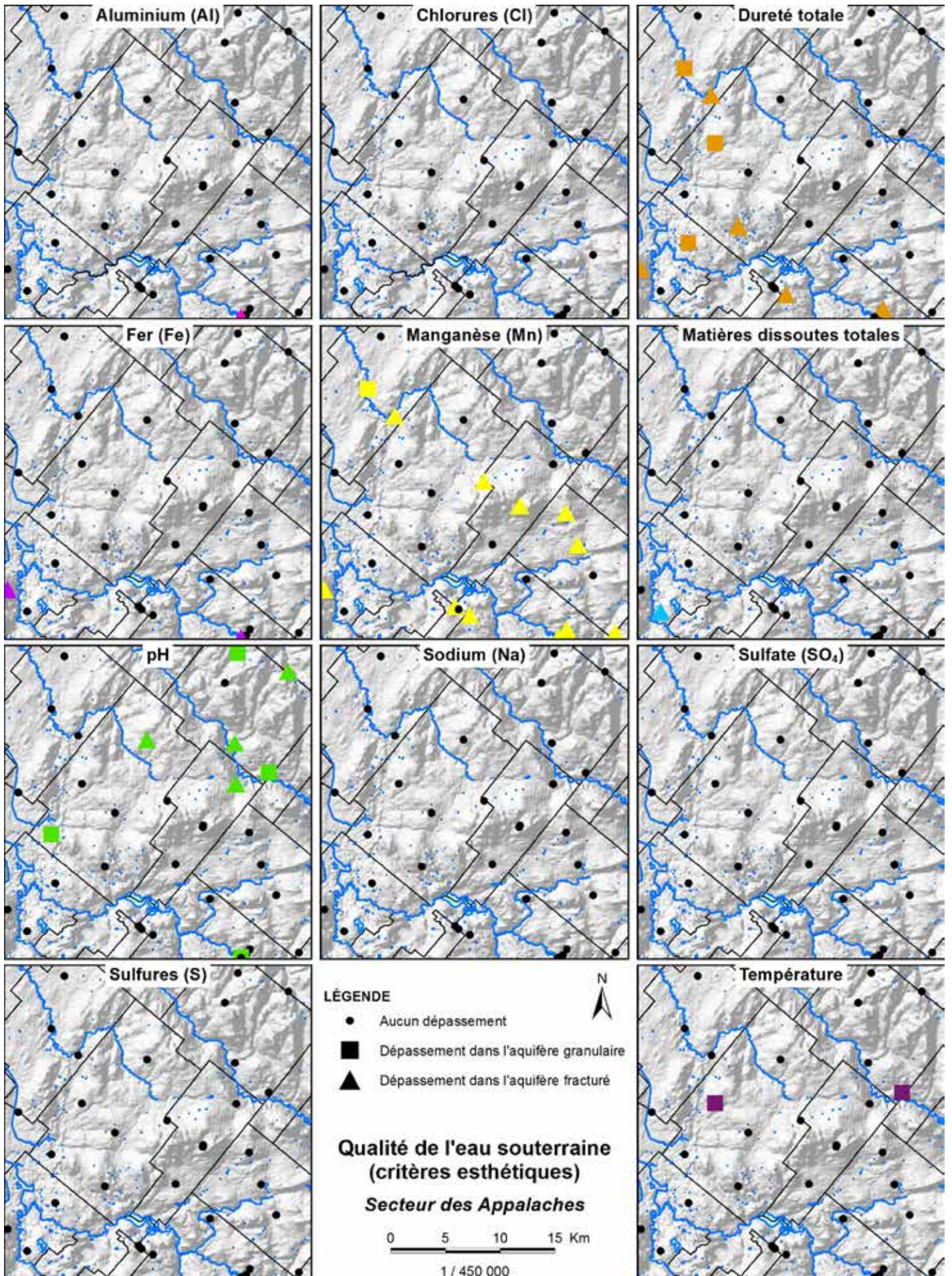
**F** Les problématiques de manganèse semblent affecter de manière plus fréquente les aquifères de dépôts meubles.

Vrai  Faux

**M** Puisque l'eau souterraine des Appalaches provient d'une recharge récente, elle est évoluée et minéralisée.

Vrai  Faux

**D** Près de la moitié des échantillons d'eau de la zone Nicolet-Bas-Saint-François présentent un dépassement en manganèse. Quel(s) problème(s) cela représente-t-il pour la consommation en eau potable?



# Coupe conceptuelle des contextes hydrogéologiques régionaux

## Définition

Une coupe stratigraphique montre la distribution spatiale des unités géologiques retrouvées en profondeur, afin d'en apprécier la continuité, l'étendue et l'épaisseur. L'intégration des données stratigraphiques, géochimiques et hydrogéologiques sous forme de coupes conceptuelles permet de mettre en lumière les caractéristiques hydrogéologiques du territoire à l'étude.

## Représentation

La coupe ci-contre permet d'illustrer le modèle conceptuel de l'hydrogéologie du territoire du PACES Nicolet-BasSaint-François. Elle s'étend du fleuve à la limite amont de la zone d'étude. Les flèches verticales bleues pointant vers le bas symbolisent la recharge selon trois classes (recharge faible, moyenne et élevée). Les flèches noires à trait continu symbolisent les directions de l'écoulement souterrain déduites de l'information hydrogéologique et géochimique. Les flèches noires à trait discontinu symbolisent l'écoulement souterrain supposé, mais que les données disponibles n'ont pas permis de confirmer. Les puits illustrés sur la coupe servent simplement à indiquer l'échelle de productivité des différentes unités hydrogéologiques (productivité faible, moyenne et élevée) et ne représentent pas des puits réels. Finalement, les flèches bleues pointant vers le haut indiquent les principales zones de résurgence.



## Interprétation de la stratigraphie du secteur des Appalaches

La partie amont est recouverte de till mince.

Dans la partie amont de la vallée de la rivière Nicolet sud-ouest, les déformations tectoniques forment une dépression de la surface du roc qui semble se poursuivre jusqu'en amont du secteur des Trois-Lacs. Cette dépression, bien qu'irrégulière, a été comblée par les dépôts argileux avec la présence de matériaux granulaires à la base (identifiés comme Quaternaire ancien). L'épaisseur totale de ces dépôts peut atteindre plus de 50 m.

Dans le secteur du piémont, des dépôts granulaires d'origine fluvioglaciaire sont présents sous l'argile, parfois en contact direct avec le roc. Ces dépôts constituent de bons aquifères, comme c'est le cas à Kingsey Falls. L'ésker Asbestos-Warwick est aussi composé des mêmes matériaux fluvioglaciaires, mais ces derniers sont généralement en condition de nappe libre (non montré sur la coupe). Les municipalités de Tingwick et de Warwick puisent l'eau souterraine de cette formation très productive.

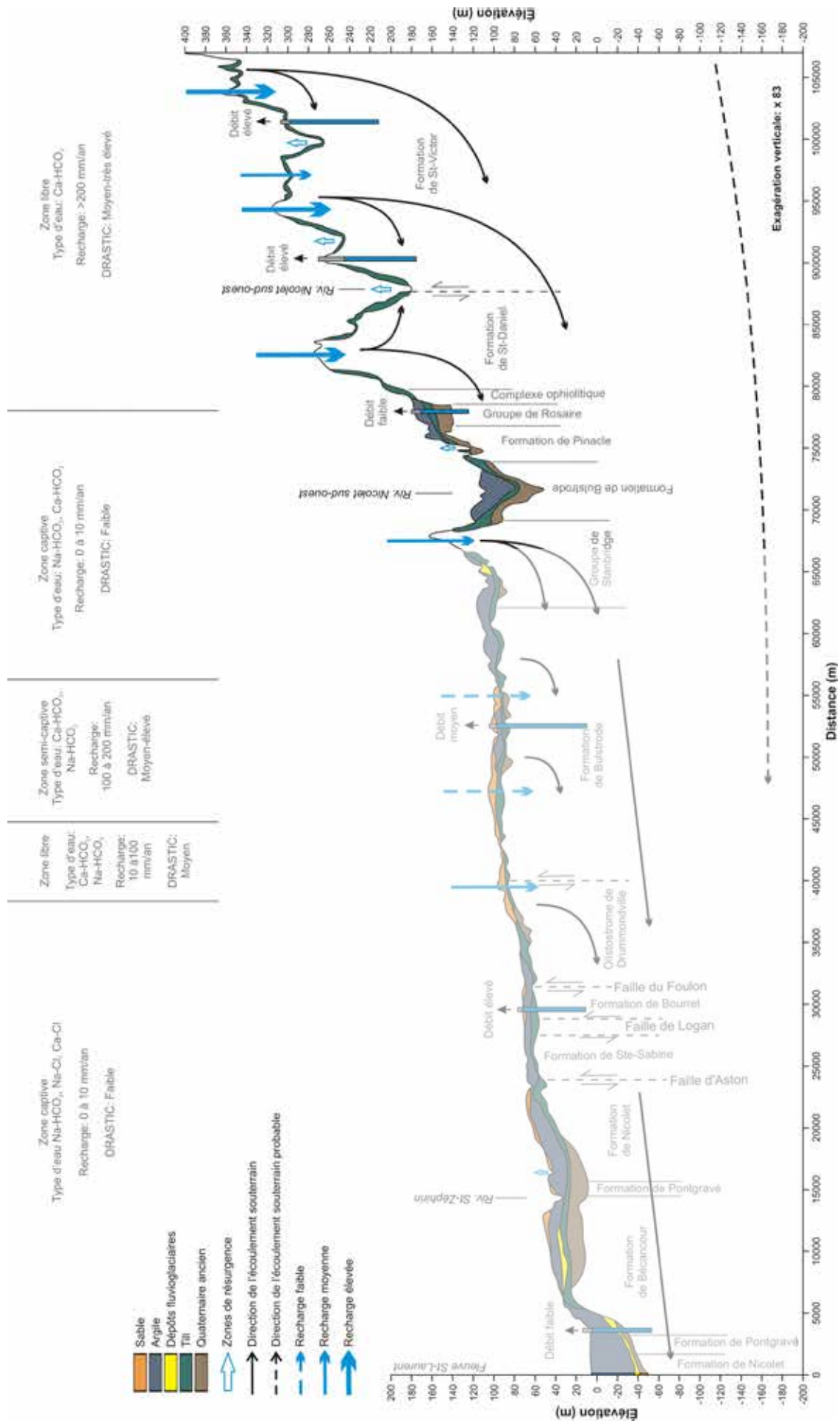
**?**

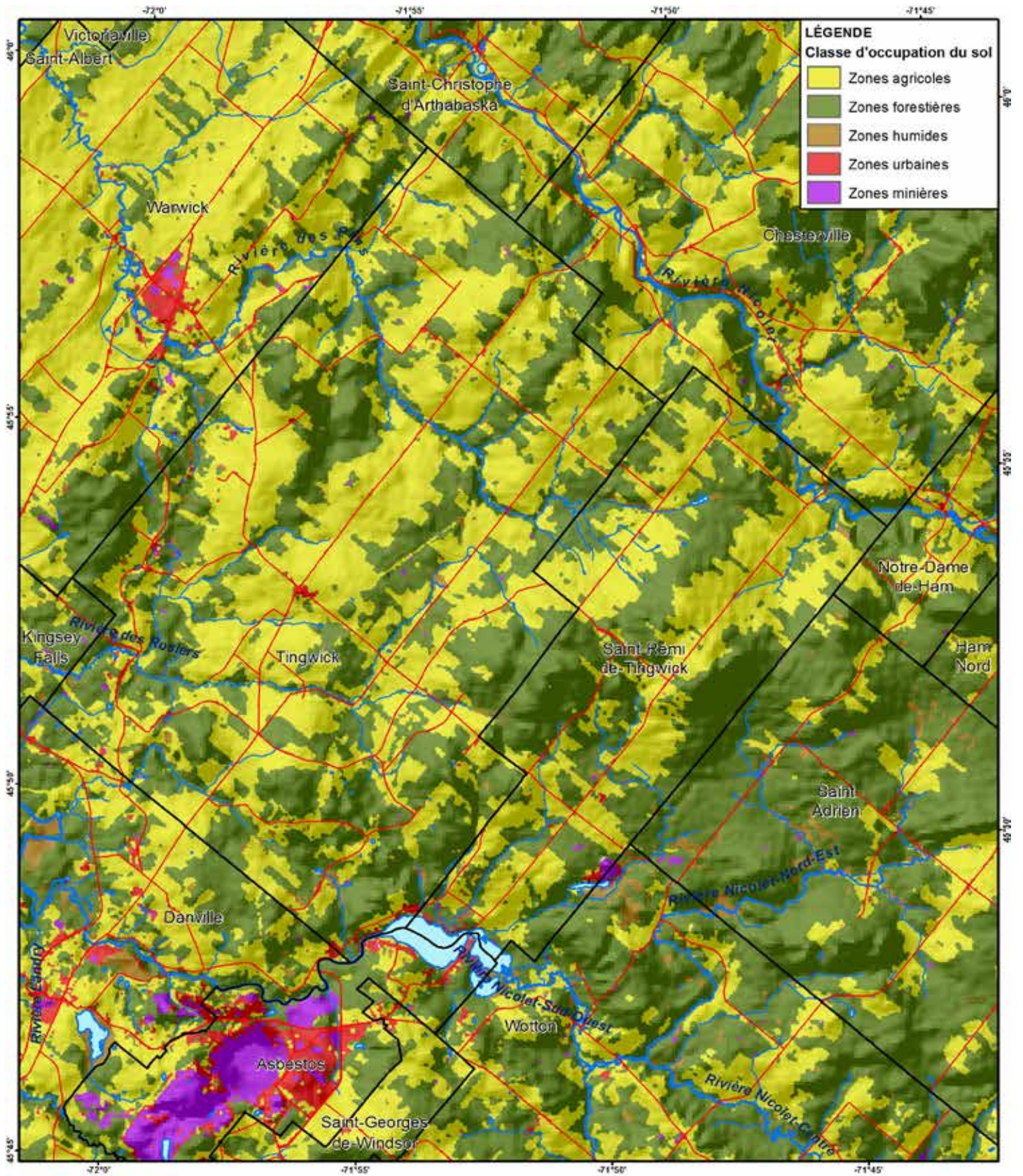
**F** Les dépôts meubles sont partout présents en surface dans les Appalaches.  Vrai  Faux

**F** On retrouve des sédiments argileux causant des conditions de nappe captive dans certaines vallées des Appalaches.  Vrai  Faux

**F** Quel est l'aquifère principal des Appalaches?

**F** Dans les Appalaches, l'eau souterraine s'écoule d'où et vers où?



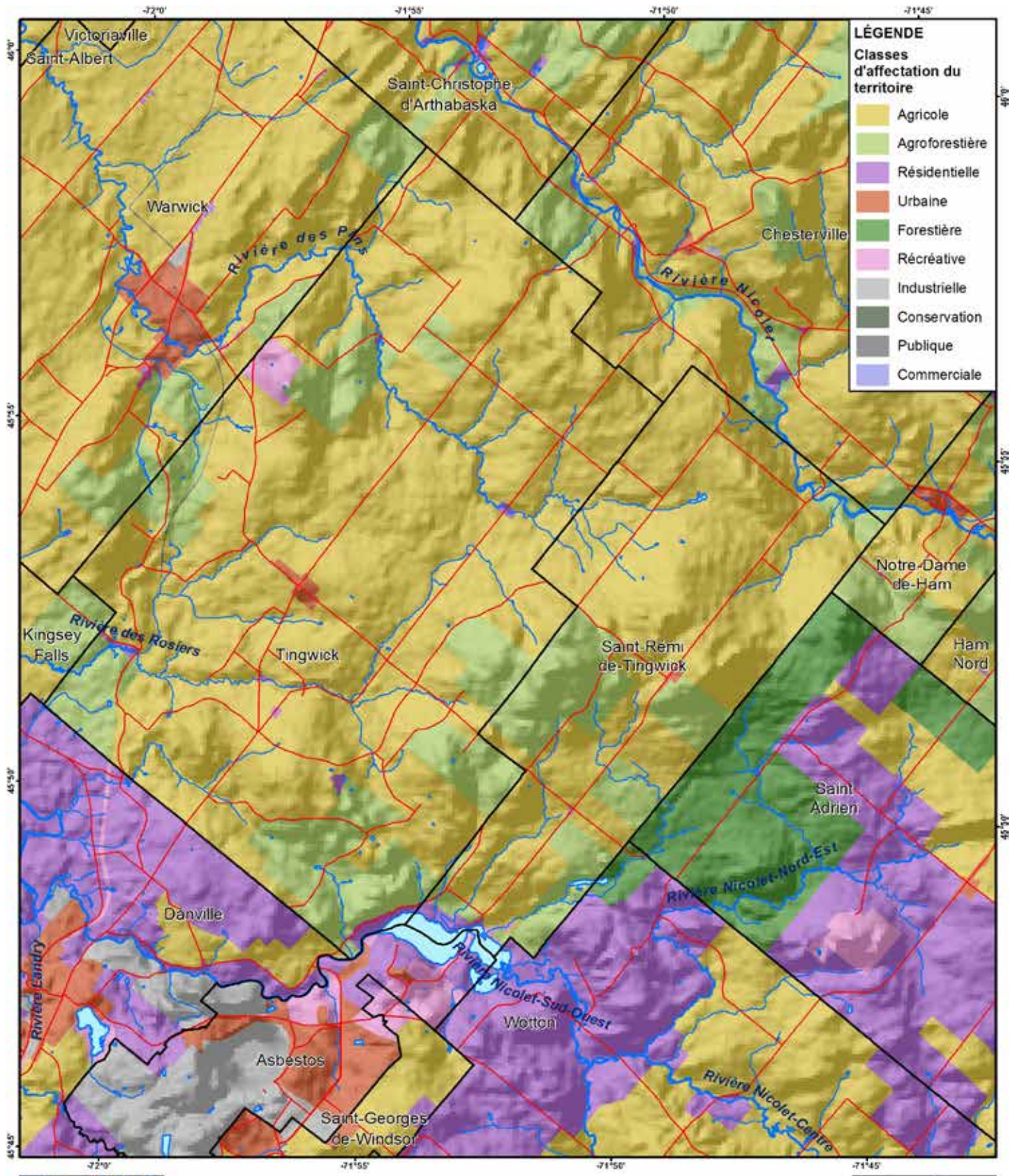


**Occupation du sol**  
**Secteur des Appalaches**

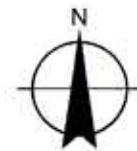
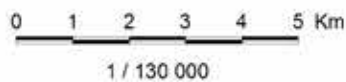
0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000





**Affectation du territoire**  
**Secteur des Appalaches**



Exercice de synthèse 1 : Si demain une municipalité du secteur des Appalaches devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelles zones seraient les plus propices?

---



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

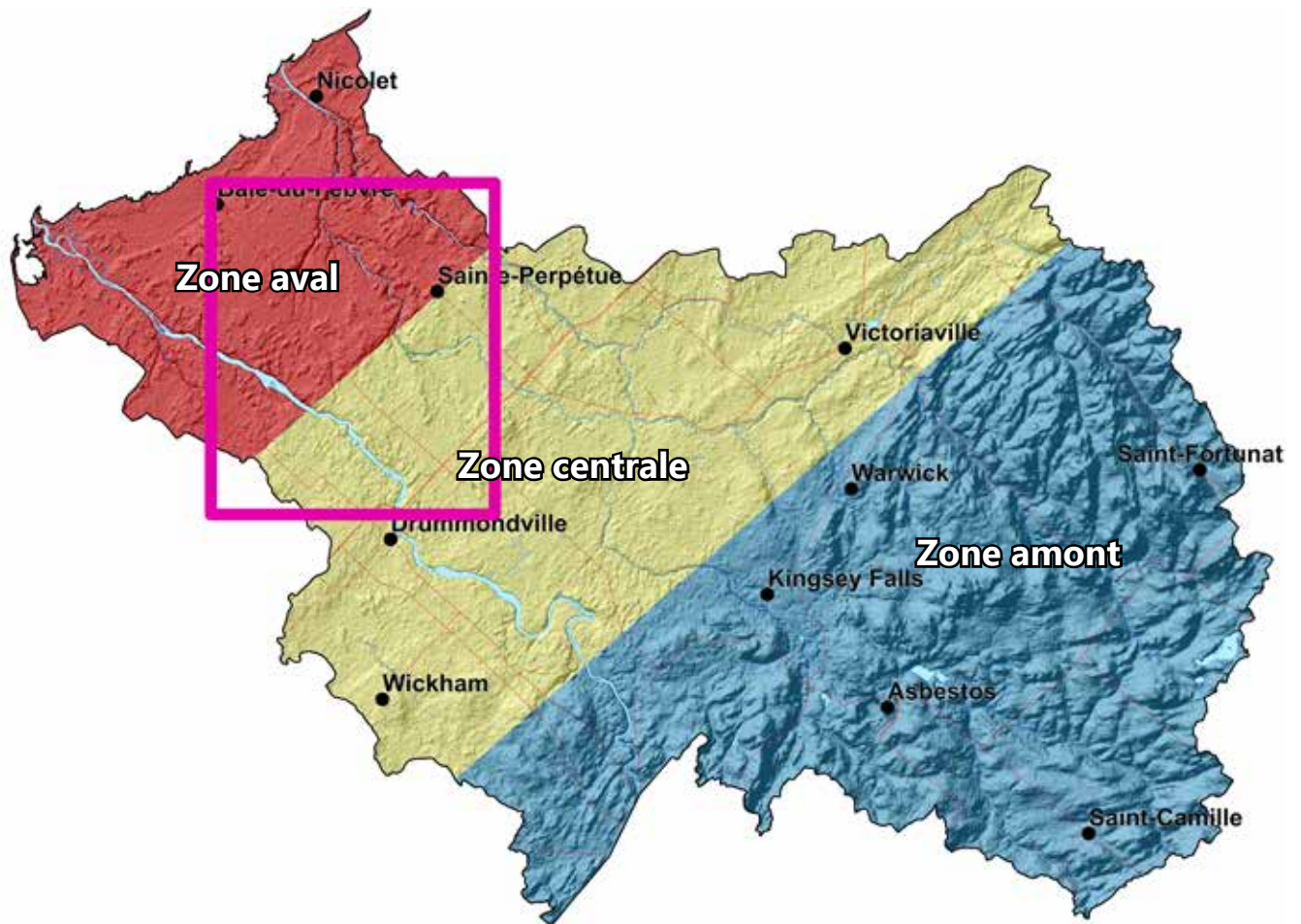
---

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

---

# 4

## Les contextes hydrogéologiques régionaux 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) et donc peu perméables et suffisamment épais, ils formeront plutôt un **AQUITARD**. Les informations sur l'épaisseur et la texture 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 12,  
**DÉPÔTS MEUBLES**, page 14

## Méthode utilisée

L'épaisseur totale des dépôts meubles a été estimée en interpolant, sur des mailles de 250 m x 250 m, les données colligées et validées dans le cadre du projet. Les descriptions détaillées des forages réalisés dans le cadre du projet, les données stratigraphiques issues de rapports de consultants, les données extraites de la base de données du MTQ ainsi que les levés géophysiques, constituent les données les plus fiables.

## Interprétation pour le secteur des Basses-Terres

La portion aval de la zone d'étude est l'endroit où l'épaisseur des dépôts meubles est la plus importante, plus précisément dans le secteur de la partie aval de la rivière Saint-François. À cet endroit, l'épaisseur des dépôts peut atteindre 80 m. Très peu de forages atteignent le roc dans cette région. Toutefois, des données provenant de la base de données du SIGPEG confirment que des profondeurs importantes de dépôts meubles sont réellement présentes dans ce secteur.

Des dépôts meubles épais sont aussi observés entre Saint-Léonard-d'Aston et Sainte-Brigitte-des-Saults. À Saint-Léonard-d'Aston, le roc s'enfonce à plus de 30 m sous la surface de la rivière Nicolet. L'étendue spatiale de cette déformation semble être limitée à la rivière elle-même. À Sainte-Brigitte-des-Saults, le roc s'enfonce vers l'ouest à partir du village de Sainte-Perpétue pour remonter ensuite quelques kilomètres à l'ouest de la rivière Nicolet. Des levés géophysiques et des sondages Geoprobe réalisés près de la rivière Nicolet sud-ouest, à Sainte-Brigitte-des-Saults, ont mis en évidence une profondeur du roc de plus de 30 m, validant ainsi les observations stratigraphiques du puits municipal de Sainte-Perpétue.



**F** Les dépôts meubles les plus importantes se retrouvent dans la zone centrale.

Vrai  Faux

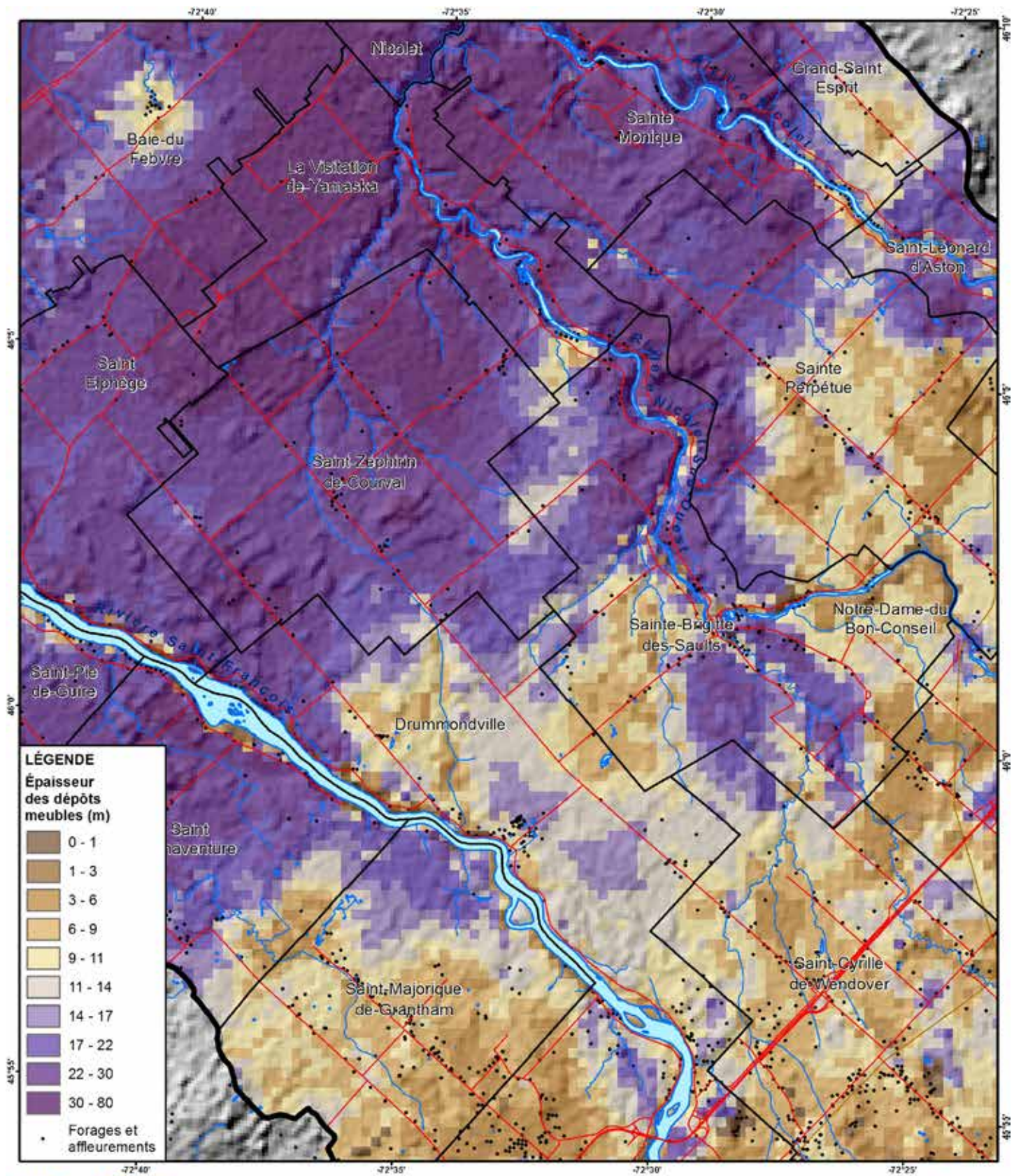
**M** L'estimation de l'épaisseur des dépôts meubles est moins fiable sur le territoire de la municipalité de La-Visitation-de-Yamaska comparativement à Saint-Cyrille-de-Wendover.

Vrai  Faux

**D** Plus l'épaisseur des dépôts meubles est importante, et plus il y a de chance que l'aquifère de dépôts meubles soit perméable.

Vrai  Faux

**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)?

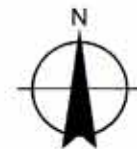


### Épaisseur des dépôts meubles

Secteur des Basses-Terres

0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000



# Contextes hydrogéologiques

## Définition

Les contextes hydrogéologiques sont définis sur la base des séquences d'empilement vertical des **DÉPÔTS MEUBLES** recouvrant le **ROC FRACTURÉ**. Ces séquences hydrostratigraphiques 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.



**DÉPÔTS MEUBLES,  
ROC FRACTURÉ**  
page 14

## Méthode utilisée

Un modèle simplifié, basé sur la description granulométrique et sur les propriétés hydrauliques des différentes unités, a été développé pour construire le modèle hydrostratigraphique de la zone d'étude. Ce dernier compte neuf unités hydrostratigraphiques, dont cinq unités aquifères (perméables) et quatre unités aquitard (imperméables). Les différentes couches d'information représentant l'épaisseur des unités hydrostratigraphiques ont été superposées afin d'identifier des regroupements de contextes hydrogéologiques. Tous les contextes hydrogéologiques des dépôts meubles reposent sur le roc fracturé.

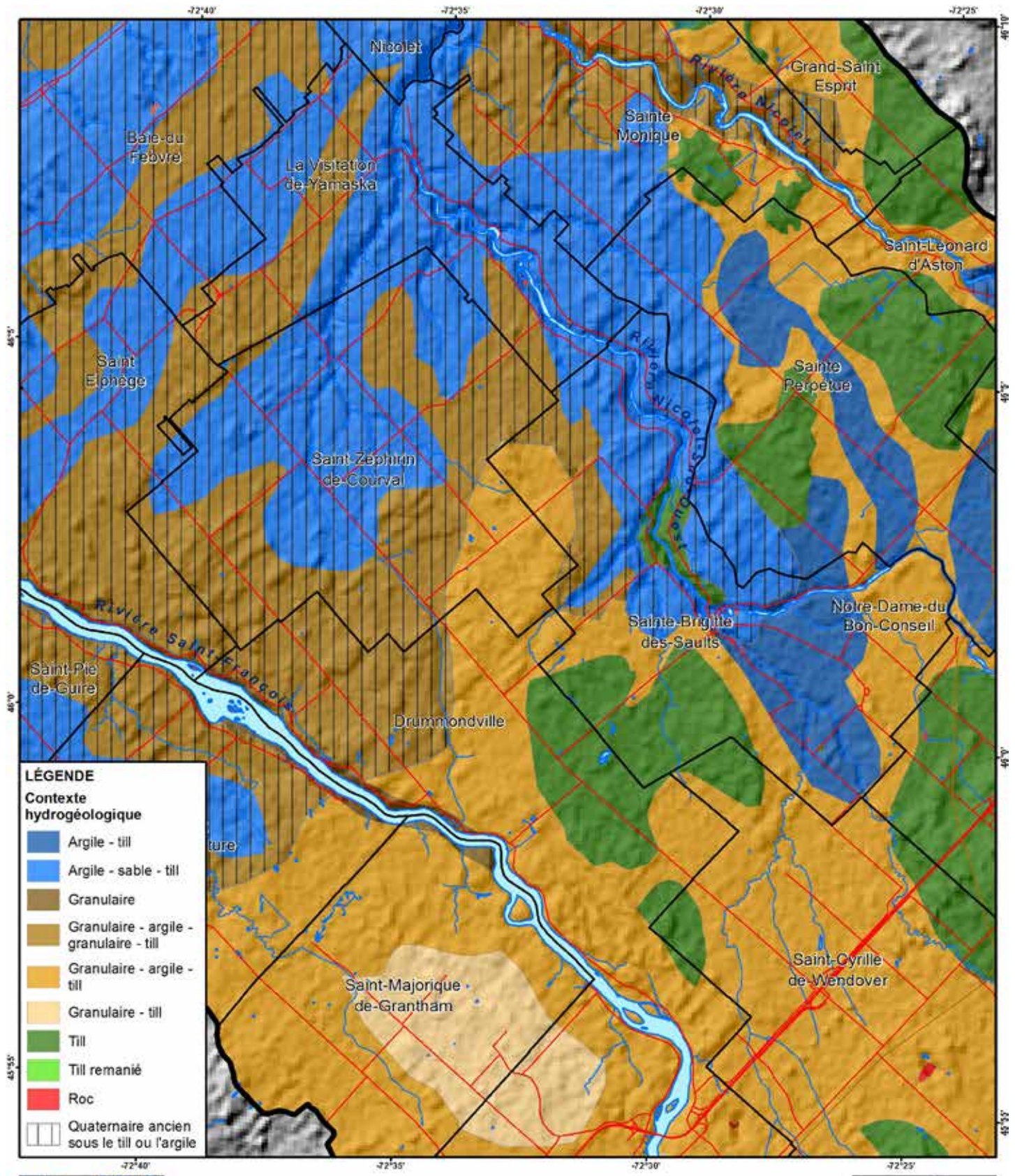
## Interprétation pour le secteur des Basses-Terres

Dans la partie centrale (entre le piémont et l'autoroute 20), les dépôts argileux gagnent en importance et leur épaisseur augmente, en général, vers la partie aval. L'argile affleure en surface à quelques endroits, mais elle est généralement recouverte par des dépôts sableux d'origine littorale ou éolienne. C'est dans ce contexte particulier, de sables éoliens et littoraux reposants sur une couche d'argile ou de till, que s'est développé la majorité des tourbières de la zone d'étude. Des dépôts granulaires sont aussi présents sous l'argile dans la zone comprise entre les rivières Nicolet et Nicolet sud-ouest. Les dépôts sableux superficiels de ce même secteur forment un potentiel aquifère, car leur épaisseur demeure supérieure à 5 m sur plusieurs kilomètres carrés, comme c'est le cas dans le secteur de Saint-Albert. Les contextes de till sur roc sont localisés sur les topographies plus hautes. À ces endroits, les dépôts argileux ont été érodés lors du retrait de la mer de Champlain. Un contexte particulier de dépôts granulaires d'origine fluvioglaciaire forme l'esker Asbestos-Tingwick. Ce cordon de sable et de gravier est orienté S-O/N-E. Ces dépôts de granulométrie grossière reposent en général directement sur le roc, bien qu'on puisse y retrouver un till. Leur épaisseur peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur ce qui en fait un aquifère important dans la région. Les argiles ont recouvert les flancs de l'esker ce qui pourrait créer des conditions de nappe semi-captive par endroit.

Dans la partie aval, les contextes argileux gagnent en importance et la stratigraphie est complexifiée par la présence, combinée ou non, de matériaux granulaires sous les argiles marines et sous le till. Sur la carte ci-contre, la zone hachurée indique qu'il y a potentiellement des sédiments quaternaires anciens sous le till. Les dépôts granulaires présents sous les argiles de la mer de Champlain peuvent constituer des aquifères, notamment dans le secteur de Sainte-Perpétue et de Saint-François-du-Lac. Près du fleuve, les données obtenues lors du forage NSF-R1 indiquent que le contexte «argile-granulaire-till» est dominant.



- F** On retrouve des sédiments argileux seulement dans la zone aval.  
Vrai  Faux
- M** Les sédiments quaternaires anciens sont toujours constitués de sédiments grossiers sableux et graveleux.  
Vrai  Faux
- M** Est-il préférable, pour une municipalité, de viser d'alimenter sa population en eau souterraine à partir d'aquifères de roc ou de dépôts meubles? Pourquoi?
- D** Pourquoi la présence d'un dépôt meuble perméable sur la carte n'assure-t-elle pas nécessairement la présence d'un aquifère ayant un bon potentiel d'exploitation?

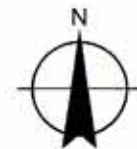


**Contextes hydrogéologiques**

**Secteur des Basses-Terres**

0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000



# Conditions de confinement

## Définition

Les conditions de confinement d'un aquifère sont liées à son recouvrement par une couche de matériaux peu perméables (aquitard) qui isole de la surface l'eau souterraine qu'il contient. La nature et l'épaisseur des dépôts meubles ou des unités géologiques déterminent le niveau de confinement des aquifères, qui va de non confiné (**NAPPE LIBRE**), à semi-confiné (**NAPPE SEMI-CAPTIVE**) et jusqu'à confiné (**NAPPE CAPTIVE**). Le confinement influence les divers processus dynamiques et chimiques de l'eau souterraine, en limitant ou favorisant la recharge de l'aquifère ou encore sa protection par rapport à une contamination provenant de la surface.



**NAPPE LIBRE,  
NAPPE CAPTIVE,  
NAPPE SEMI-  
CAPTIVE** page 15

## Méthode utilisée

Les conditions de confinement ont été définies, sur des mailles de 250 m x 250 m, selon les critères suivants:

- **Nappe captive** : plus de 3 m d'argile ou plus de 5 m de till compact;
- **Nappe semi-captive** : de 1 à 3 m d'argile ou de 3 à 5 m de till compact;
- **Nappe libre** : moins de 1 m d'argile et moins de 3 m de till compact.

Ce livrable ne montre pas l'indice de confinement des aquifères granulaires superficiels.

## Interprétation pour le secteur des Basses-Terres

Les zones d'aquifère de roc fracturé à nappe libre, à nappe semi-captive et à nappe captive représentent respectivement 55%, 18% et 27% de la superficie du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François.

Dans la vallée des rivières Nicolet et Nicolet-Centre, les données acquises durant le Projet ont permis de déterminer que l'aquifère du roc est en condition de nappe captive et ce vers l'amont, jusque dans le secteur de la ville de Wotton. Les zones de nappe captive sont principalement localisées aux endroits où la couverture argileuse est présente en surface, ce qui est caractéristique de la portion aval de la zone d'étude. La rivière Saint-François a érodé les dépôts meubles jusqu'au roc créant ainsi des conditions de nappe libre jusqu'à la hauteur de Saint-François-du-Lac. Les rivières Nicolet et Nicolet sud-ouest coulent en général sur des dépôts imperméables dans la zone aval. Une remontée du roc dans le sud de la ville de Baie-du-Febvre crée une petite zone en condition de nappe libre.



**F** Les conditions à nappe captive et semi-captive dominent dans les Basses-Terres.

Vrai  Faux

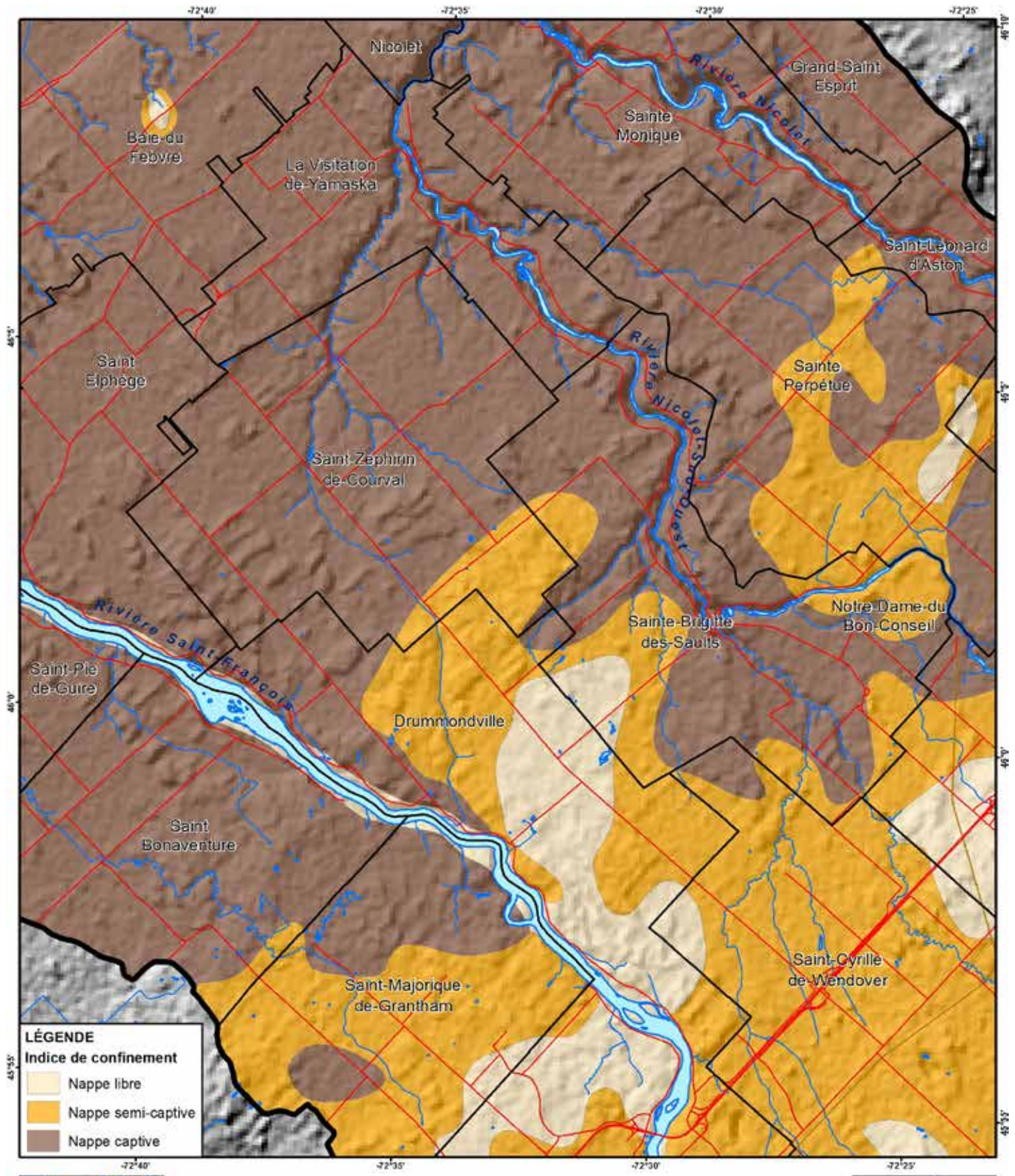
**M** Les rivières Saint-François, Nicolet-Sud-Ouest et Nicolet s'écoulent sur des sédiments argileux dans la zone aval.

Vrai  Faux

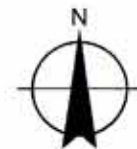
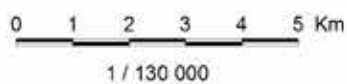
**D** Pourquoi retrouve-t-on une petite zone à nappe libre à Baie-du-Febvre?

**D** Est-il plus avantageux d'exploiter un aquifère en condition de nappe libre ou de nappe captive?





**Indice de confinement**  
**Secteur des Basses-Terres**



# Piézométrie

## 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** indique 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. On obtient ainsi une vue d'ensemble de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans l'aquifère.



**NAPPE** page 12,  
**PIÉZOMÉTRIE,**  
**NIVEAU**  
**PIÉZOMÉTRIQUE**  
page 16,

## Méthode utilisée

Les niveaux d'eau mesurés dans les puits ont été interpolés, sur des mailles de 250 m x 250 m, pour produire la carte piézométrique de l'aquifère de roc fracturé. Compte tenu du manque de données de niveaux d'eau disponibles dans les aquifères granulaires, ainsi que leur discontinuité spatiale, aucune carte piézométrique n'a été produite pour ceux-ci.

## Interprétation pour le secteur des Basses-Terres

Les niveaux piézométriques sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François varient d'un maximum de 670 m en zone amont à un minimum de 0 m en zone aval. La profondeur moyenne du niveau par rapport au sol est de 4,8 m. L'écoulement général dans l'aquifère fracturé se fait des Appalaches au fleuve Saint-Laurent, avec des variations locales causées principalement par la topographie et les rivières principales.

Dans la partie aval, le gradient hydraulique diminue significativement et atteint 0,0002 m/m.

Un dôme piézométrique est observé dans le secteur de Notre-Dame-du-Bon-Conseil. Dans cette zone, lorsque les rivières sont suffisamment encaissées dans les dépôts meubles pour atteindre le roc, elles sont alors en contact avec l'aquifère fracturé. Les courbes isopièzes sont ainsi déviées par les rivières Nicolet, Nicolet sud-ouest et Saint-François. À l'inverse, la rivière Saint-Zéphirin coule sur l'argile et n'est pas en contact avec l'aquifère, comme le montre les courbes isopièzes. L'aquifère demeure déconnecté de la surface dans les zones les plus en aval, car l'épaisseur d'argile tend à augmenter dans cette direction. Le puits NSF-R1, situé à 2 km du lac Saint-Pierre, montre une altitude piézométrique moyenne de 6,9 m alors que l'altitude de la surface du roc est de -35 m. L'élévation du lac Saint-Pierre étant de 5 m, il ne semble pas y avoir de lien hydraulique entre l'aquifère fracturé et ce dernier.

L'intervalle de 50 m des courbes piézométriques illustrées sur la carte ci-contre ne permet pas de mettre en évidence le contact aquifère-rivière dans la portion centrale de la zone d'étude. Cependant, la couche matricielle montrant la piézométrie en fond de carte indique, par un gradient de couleur, qu'il y a un écoulement de l'eau souterraine vers les rivières et donc émergence de l'aquifère fracturé à plusieurs endroits.



**F** L'écoulement souterrain régional s'effectue vers le fleuve Saint-Laurent.

Vrai  Faux

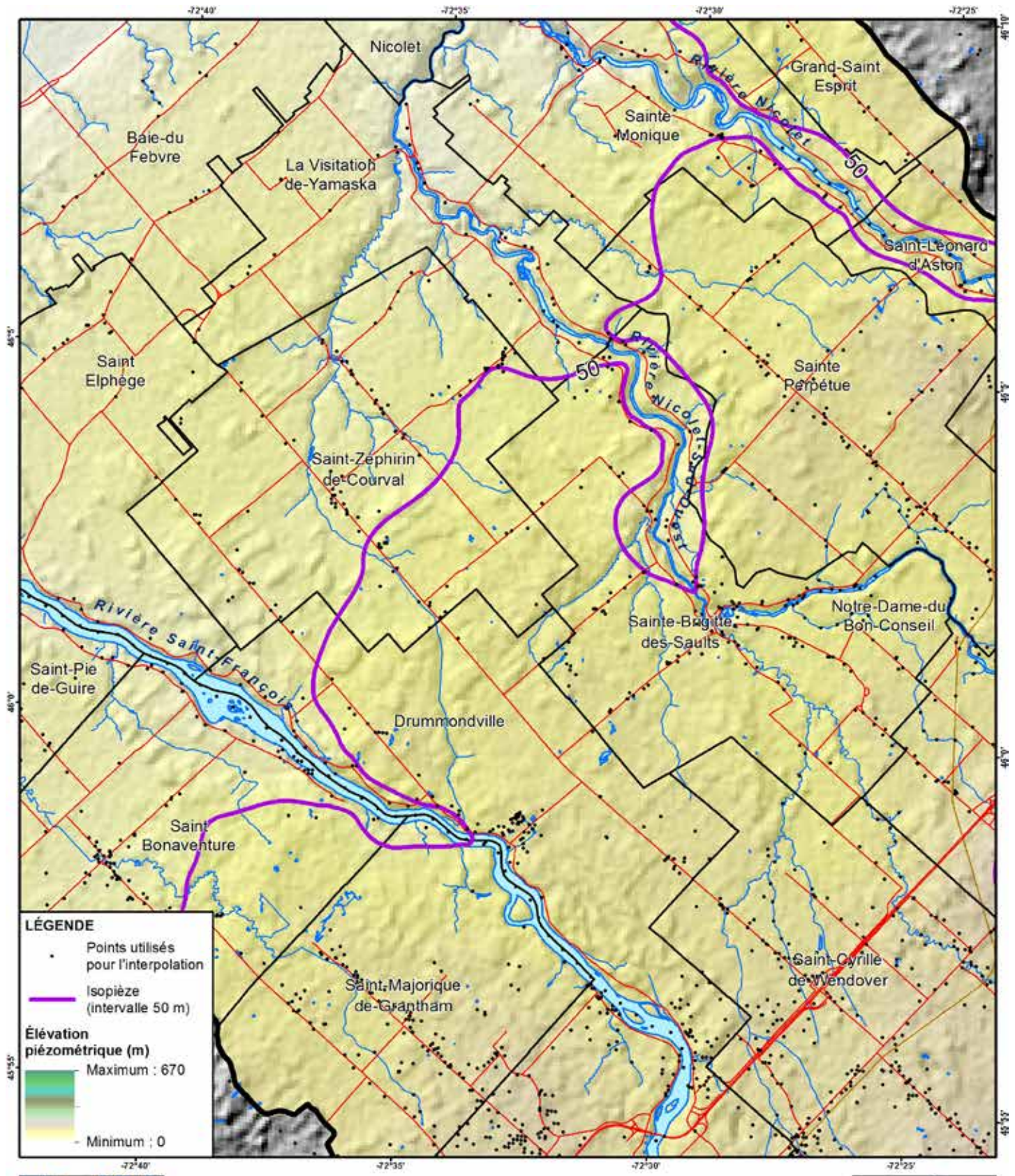
**F** L'estimation du niveau piézométrique est plus fiable le long des routes.

Vrai  Faux

**D** La surface piézométrique étant relativement plane dans les Basses-Terres, l'écoulement est probablement rapide et le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère est probablement court.

Vrai  Faux

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



**LÉGENDE**

- Points utilisés pour l'interpolation
- Isopièze (intervalle 50 m)

**Élévation piézométrique (m)**

Maximum : 670

Minimum : 0



**Piezométrie dans le roc**  
**Secteur des Basses-Terres**

0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000



# 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,  
RÉSURGENCE**  
page 16

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 (ou la pression) de la nappe d'un aquifère dépasse le niveau de la surface du sol.

## Méthode utilisée

La recharge potentielle à l'aquifère de roc fracturé a été calculée, sur des mailles de 550 m x 550 m, à l'aide du modèle de bilan hydrique spatialisé HydroBilan développé à l'UQAM. Les zones où la recharge est supérieure à 200 mm/an ont été identifiées comme zones de recharge préférentielle de l'aquifère au roc. Le seuil de 200 mm/an représente le 47<sup>e</sup> percentile des valeurs de recharge spatialisée calculées à l'aide du modèle HydroBilan.

Les zones de résurgences de l'eau souterraine sont principalement constituées par le réseau hydrographique lorsque ce dernier est en contact avec l'aquifère du roc. Les secteurs où le gradient hydraulique vers les cours d'eau est élevé constituent généralement des zones de résurgence potentielles de l'eau souterraine.

## Interprétation pour le secteur des Basses-Terres

À l'échelle du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François, la distribution de la recharge varie de 0 mm/an à 518 mm/an. La moyenne est de 153 mm/an.

Dans les Basses-Terres, les zones de recharge sont contrôlées par l'épaisseur des dépôts marins et du till. Le roc affleure à plusieurs endroits au sud de l'autoroute 20 créant des zones de recharge importantes à l'échelle locale. Dans le piémont appalachien et la partie centrale où l'aquifère rocheux est à nappe libre, les zones de recharge préférentielle sont présentes au milieu de zones de recharge plus faibles. Ces zones de recharge localisées ont été mises en évidence par la géochimie. Il n'y a pas de zone de recharge préférentielle dans la portion située en aval où les dépôts fins sont continus et épais. La recharge est considérée nulle dans ces zones à nappes captives. Dans ce secteur, la géochimie montre des eaux plus minéralisées et probablement plus anciennes, donc recevant peu de recharge.

Dans la partie centrale, la présence de dépôts argileux limite la décharge de l'eau souterraine provenant de l'aquifère fracturé de la zone centrale en isolant la rivière de l'aquifère. Seulement quelques portions sont en contact avec ce dernier. Plus en aval, la rivière Saint-François, ainsi qu'une partie des rivières Nicolet et Nicolet Sud-Ouest drainent l'eau de l'aquifère. Près du fleuve Saint-Laurent, l'épaisseur des dépôts argileux isole complètement l'aquifère du fleuve empêchant la décharge d'eau souterraine vers le fleuve.



**F** Les zones où la recharge est la plus faible correspondent aux zones à nappe captive.

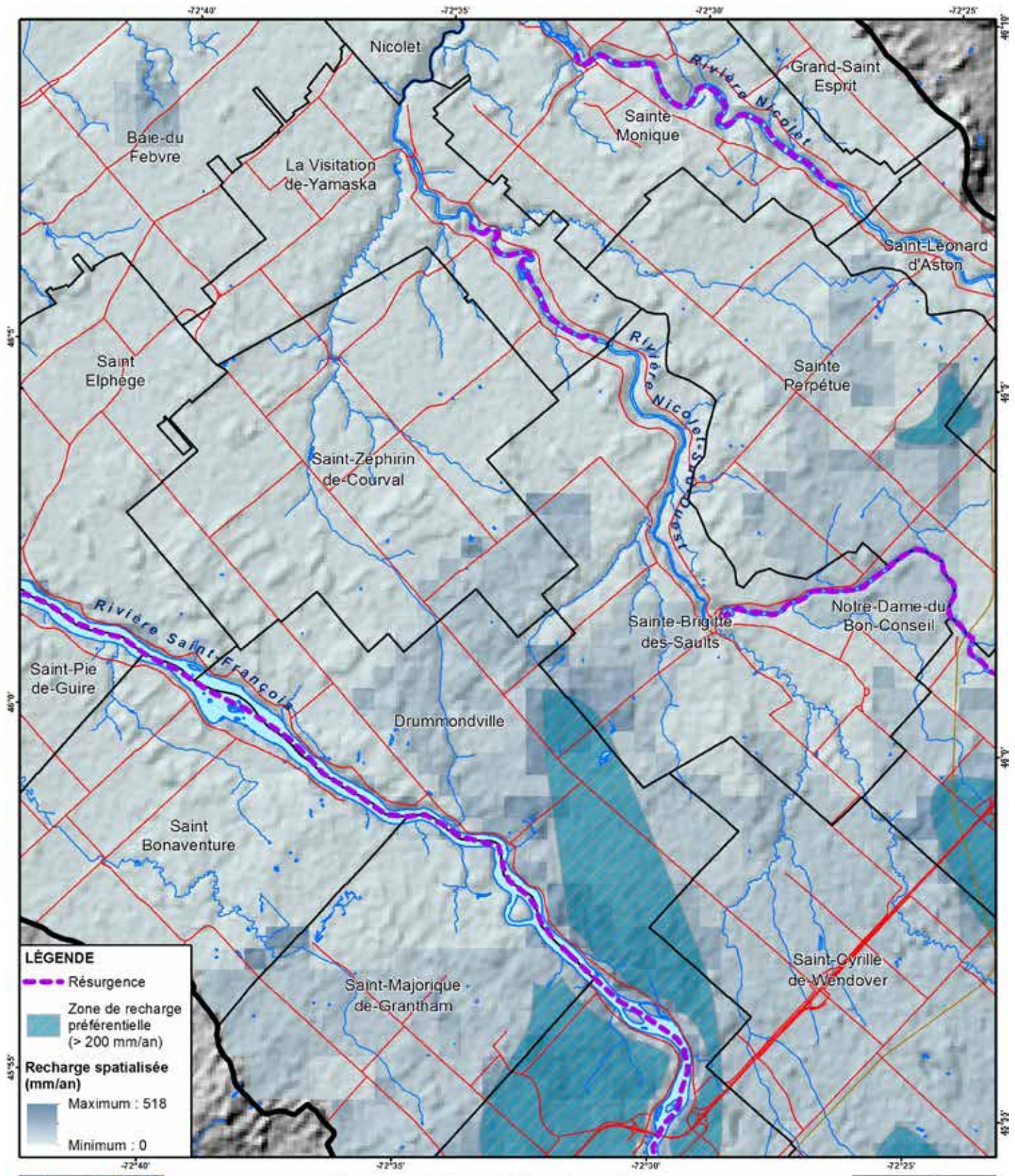
Vrai  Faux

**F** Les cours d'eau principaux constituent toujours des zones de résurgence dans le secteur des Basses-Terres.

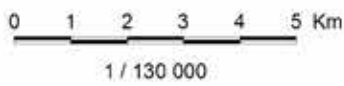
Vrai  Faux

**M** Comment les aquifères à nappe captive sont-ils alimentés en eau souterraine?

**D** Comment les eaux souterraines sont-elles en lien avec les milieux humides?



**Zones préférentielles de recharge et de résurgence**  
**Secteur des Basses-Terres**



# Vulnérabilité

## 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 propriétés hydrogéologiques de l'aquifère, intégrant ainsi les connaissances de la région en un indice pouvant servir d'outil pour la prise de décision en matière d'aménagement et de gestion du territoire en vue de prévenir une éventuelle contamination de l'eau souterraine par des activités anthropiques potentiellement polluantes.



**VULNÉRABILITÉ,  
DRASTIC** page 17

## Méthode utilisée

La vulnérabilité a été évaluée, sur des mailles de 250 m x 250 m, pour l'aquifère régional de roc fracturé à l'aide de 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 niveaux de vulnérabilité ont été définis 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.

## Interprétation pour le secteur des Basses-Terres

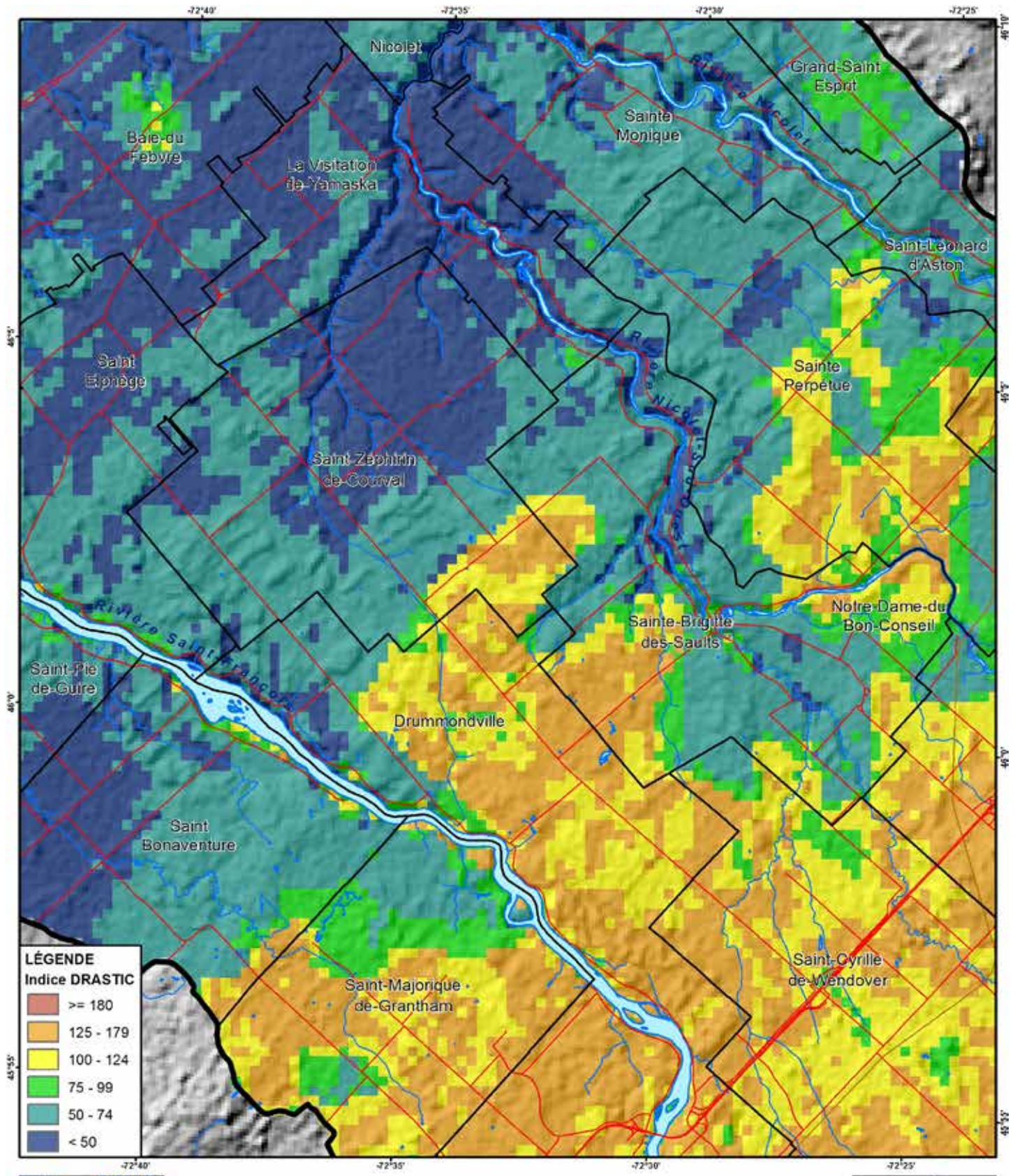
L'indice DRASTIC de l'aquifère rocheux varie de 24 à 185 sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François. Les niveaux de vulnérabilité «faible», «moyen» et «élevé» représentent respectivement 28%, 72% et moins de 1% du territoire.

En aval de la zone d'étude, la méthode DRASTIC indique une vulnérabilité faible à très faible (indice de 24 à 75) pour les secteurs où l'aquifère au roc est en conditions captives, soit de l'axe entre Sainte-Perpétue et Saint-Bonaventure jusqu'au fleuve. Ce secteur est associé à la présence de dépôts argileux qui fournissent généralement peu de points à la cote D (dans le cas d'un aquifère à nappe captive la profondeur de la nappe correspond à la base de l'argile), à la cote R (recharge nulle en présence d'argile), à la cote S (cote minimale quand l'argile se trouve à la surface du sol) et à la cote I (indice minimal pour la zone non saturée considérée comme inexistante en présence d'argile). Des nuances pour les zones les moins vulnérables sont apportées par la cote A (milieu aquifère), pour les différentes formations géologiques. La cote S apporte également quelques variations aux valeurs de DRASTIC, car bien que des dépôts d'argile recouvrent généralement la partie aval de la zone d'étude, des dépôts plus grossiers se superposent aux dépôts argileux par endroits. Il est à noter qu'un important affleurement rocheux dans le secteur de Baie-du-Febvre représente le seul contexte non confiné de la portion aval de la zone d'étude.

Dans la partie centrale de la zone d'étude et vers le piémont appalachien, la méthode DRASTIC indique une vulnérabilité contrastée avec présence simultanée de zones dont la vulnérabilité est faible à très élevée. Les zones les plus vulnérables sont associées à des cotes D, R et I apportant beaucoup de points, particulièrement dans le couloir central délimité par les villes de Warwick, Kingsey Falls, Saint-Cyrille-de-Wendover et Notre-Dame-du-Bon-Conseil, ainsi qu'à l'extrême ouest de la zone. Bien que la vulnérabilité de la partie centrale soit relativement élevée, des points sont cependant perdus pour la cote R, mais aussi pour les cotes I et S à l'emplacement de zones de confinement locales avec présence de sols plus fins. Ceci est le cas particulièrement pour un grand secteur dans l'axe des villes Danville-Drummondville où l'épaisseur de dépôts argileux est importante. Des dépôts organiques, généralement associés aux milieux humides (p. ex. tourbières) peuvent également faire diminuer la vulnérabilité DRASTIC, car ils sont associés à de faibles taux de recharge.



- F** La vulnérabilité des aquifères est peu contrastée dans la zone centrale. Vrai  Faux
- F** Il existe peu de corrélation entre la faible vulnérabilité et le confinement des aquifères. Vrai  Faux
- D** Quels sont les facteurs qui influencent le plus le résultat de DRASTIC dans les contextes des Basses-Terres?
- 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?

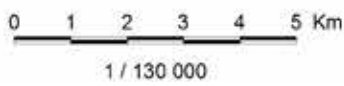


**LÉGENDE**  
Indice DRASTIC

Dark Red	≥ 180
Orange	125 - 179
Yellow	100 - 124
Light Green	75 - 99
Medium Green	50 - 74
Dark Blue	< 50



**Indice DRASTIC de l'aquifère au roc**  
*Secteur des Basses-Terres*



# Qualité de l'eau – Critères pour l'eau potable

## Définition

Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES** (CMA) sont des normes bactériologiques et physicochimiques visant à éviter des risques pour la santé humaine.



**CONCENTRATIONS  
MAXIMALES  
ACCEPTABLES**  
page 18

## Méthode utilisée

Sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François, l'eau souterraine de 201 puits a été échantillonnée et analysée.

## Interprétation pour l'ensemble du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François

Les dépassements de CMA pour les paramètres physicochimiques suivants ont été relevés sur toute la zone d'étude du PACES :

Paramètre	Concentration maximale acceptable (CMA)	Nombre de dépassements de la CMA	Proportion des échantillons	Norme fondée sur :
Arsenic (As)	0,01 mg/L	13	6,5 %	Cancer (poumon, vessie, foie et peau); effets cutanés, vasculaires et neurologiques (engourdissement et picotement des extrémités)
Baryum (Ba)	1,0 mg/L	16	8,0 %	Maladies cardiovasculaires et augmentation de la pression artérielle
Fluorures (F)	1,5 mg/L	2	1,0 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Nitrites -Nitrates (NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub> )	10 mg N/L	1	0,5 %	Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu) et effets sur la fonction de la glande thyroïde chez les nourrissons alimentés au biberon
Plomb (Pb)	0,01 mg/L	2	1,0 %	Effets biochimiques et neurocomportementaux (développement intellectuel et comportement) chez les nourrissons et les jeunes enfants
Uranium (U)	0,02 mg/L	1	0,5 %	Effets sur les reins (différentes lésions)

Les dépassements en uranium et la grande partie de ceux en baryum, arsenic et fluor proviennent de puits qui captent l'aquifère de roc fracturé. Les dépassements en plomb ont été repérés dans l'aquifère au roc et dans l'aquifère granulaire, tandis que le dépassement en nitrate a eu lieu dans une pointe de surface installée dans un aquifère granulaire.

Les dépassements en fluor et en baryum sont observés dans l'aquifère au roc à nappe captive de la zone aval et seraient d'origine naturelle, par la dissolution de minéraux et de métaux présents naturellement dans le roc.

Les dépassements en arsenic se retrouvent dans la zone amont et seraient vraisemblablement d'origine naturelle, principalement par l'altération des minéraux contenant de l'arsenic.

Pour les nitrates, 15 % des échantillons présentaient des concentrations plus grandes que 1 mg/L, seuil à partir duquel la source est vraisemblablement d'origine anthropique.

Pour les paramètres bactériologiques, 78 des 173 puits échantillonnés (45%) ont présenté des dépassements de bactéries atypiques, coliformes totaux, Escherichia coli ou entérocoques fécaux. Les analyses bactériologiques indiquent entre autres choses l'état de l'entretien du puits plutôt que les conditions de l'aquifère à une échelle plus étendue.



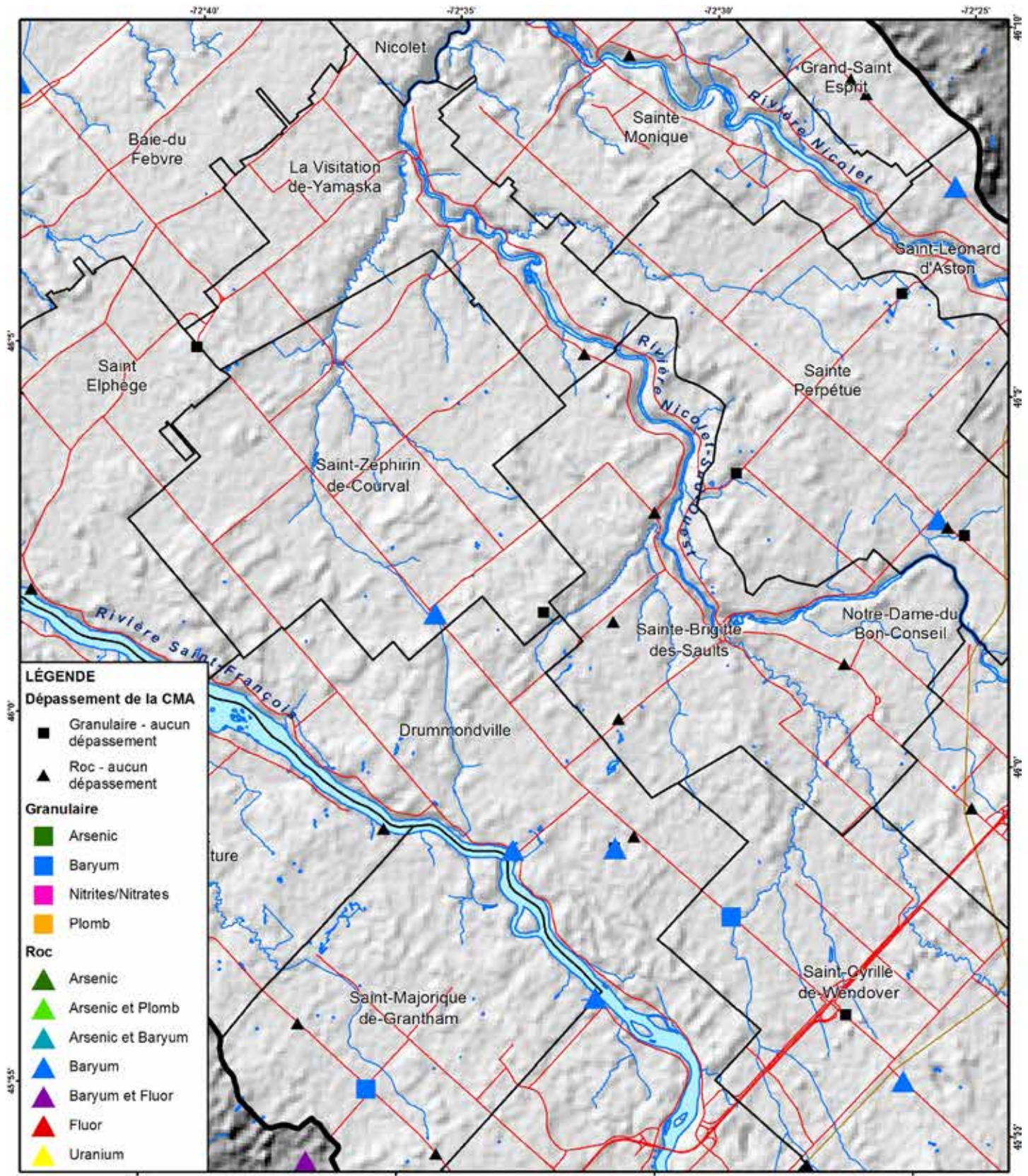
- M** Des concentrations en azote sous forme de nitrites et nitrates (NO<sub>2</sub>-NO<sub>3</sub>) d'origine anthropique, associée à l'agriculture ou aux traitements des eaux usées, ont été identifiées dans plusieurs puits.

Vrai  Faux

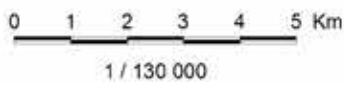
- M** D'où provient la contamination en baryum mesurée dans plusieurs puits?

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





**Qualité de l'eau souterraine  
(critères de potabilité)  
Secteur des Basses-Terres**



# Qualité de l'eau - Critères esthétiques

## Définition

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



**OBJECTIFS ESTHÉTIQUES**  
page 18

## Méthode utilisée

Sur le territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François, l'eau souterraine de 201 puits a été échantillonnée et analysée.

## Interprétation pour l'ensemble du territoire du PACES Nicolet-Bas-Saint-François

Les dépassements d'OE pour les paramètres physicochimiques suivants ont été relevés sur toute la zone d'étude du PACES :

Paramètre	Objectif esthétique (OE)	Nombre de dépassements de l'OE	Proportion des échantillons	Recommandation fondée sur :
Aluminium (Al)	≤ 0,1 mg/L	7	3 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlorures (Cl)	≤ 250 mg/L	6	3 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté totale	≤ 200 CaCO <sub>3</sub> mg/L	61	32 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	≤ 0,3 mg/L	49	24 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	≤ 0,05 mg/L	94	47 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Matière dissoute totale	≤ 500 mg/L	46	24 %	Goût et entartrage
pH	entre 6,5 et 8,5	41	21 %	Influence sur la formation des sous-produits de la désinfection et l'efficacité du traitement
Sodium (Na)	≤ 200 mg/L	14	7 %	Goût
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	≤ 500 mg/L	1	0 %	Goût
Sulfure (S)	≤ 0,05 mg/L	7	3 %	Goût et odeur
Température	15 °C	6	3 %	Effets sur la désinfection, contrôle de la corrosion et formation de films biologiques dans le réseau de distribution

Un lien entre des concentrations élevées de manganèse et une diminution du quotient intellectuel chez les enfants en bas âge a récemment été découvert (Bouchard *et al.* 2011). Il est probable que ce paramètre devienne bientôt normé. L'occurrence du manganèse dans l'eau souterraine est vraisemblablement d'origine naturelle.

Les dépassements en sodium se retrouvent plus vers l'aval du bassin ou les conditions de confinement pour l'aquifère sont marquées, mais aucune tendance amont-aval n'est observable pour les autres dépassements du critère esthétique.



**F** Pas plus d'un dépassement d'OE n'a été observé par puits.

Vrai  Faux

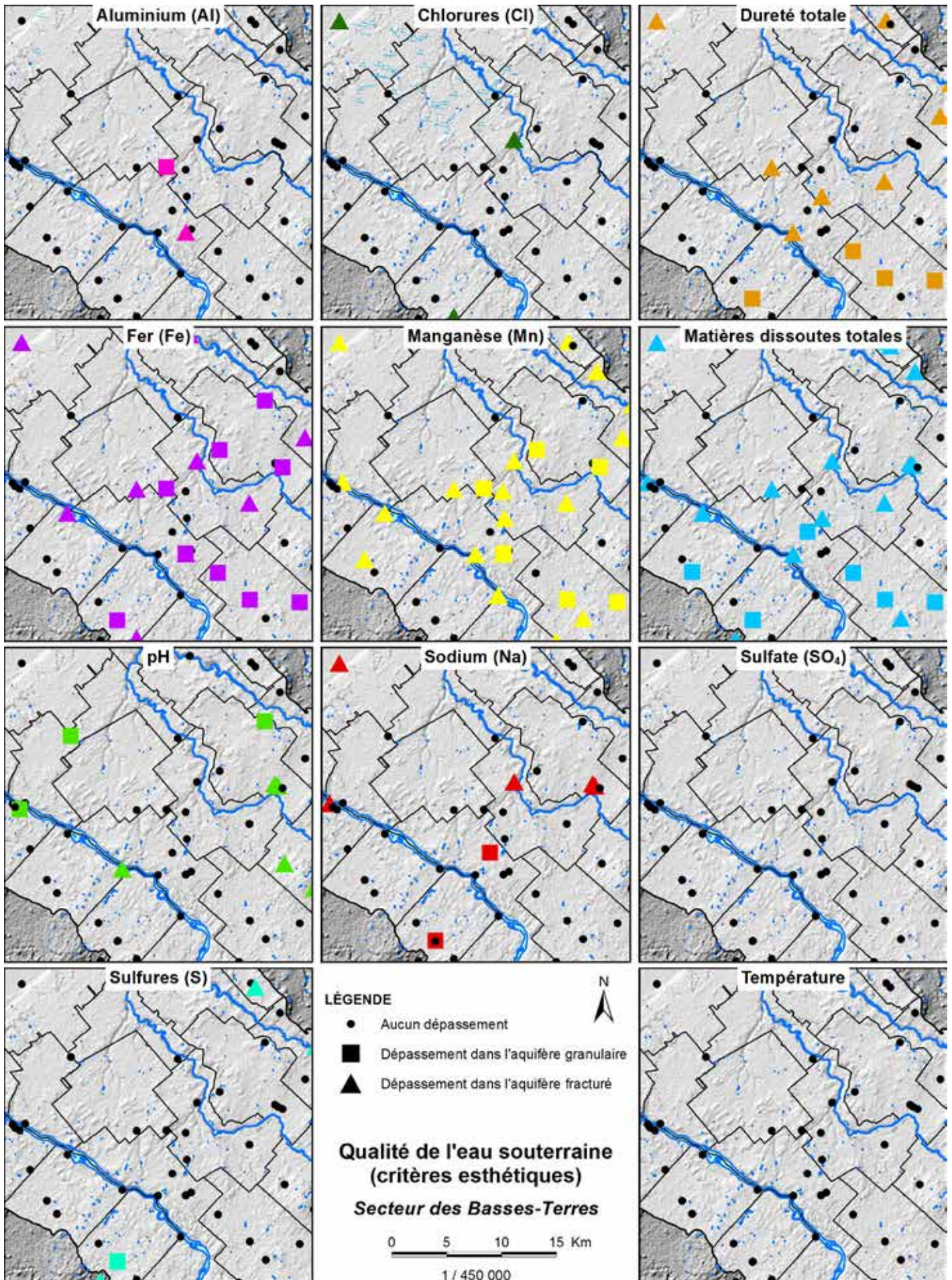
**F** Les conditions de nappe captive dans les Basses-Terres sont en partie responsables du long temps de résidence de l'eau souterraine dans les aquifères, et ainsi de la moins bonne qualité de l'eau comparativement aux Appalaches.

Vrai  Faux

**D** Des vestiges de l'eau salée de la mer de Champlain pourraient être responsables des dépassements en sodium, en chlorures et en matières dissoutes totales.

Vrai  Faux

**M** Pourquoi les dépassements en pH sont-ils problématiques?



# Coupe conceptuelle des contextes hydrogéologiques régionaux

## Définition

Une coupe stratigraphique montre la distribution spatiale des unités géologiques retrouvées en profondeur, afin d'en apprécier la continuité, l'étendue et l'épaisseur. L'intégration des données stratigraphiques, géochimiques et hydrogéologiques sous forme de coupes conceptuelles permet de mettre en lumière les caractéristiques hydrogéologiques du territoire à l'étude.

## Représentation

La coupe ci-contre permet d'illustrer le modèle conceptuel de l'hydrogéologie du territoire du PACES Nicolet-BasSaint-François. Elle s'étend du fleuve à la limite amont de la zone d'étude. Les flèches verticales bleues pointant vers le bas symbolisent la recharge selon trois classes (recharge faible, moyenne et élevée). Les flèches noires à trait continu symbolisent les directions de l'écoulement souterrain déduites de l'information hydrogéologique et géochimique. Les flèches noires à trait discontinu symbolisent l'écoulement souterrain supposé, mais que les données disponibles n'ont pas permis de confirmer. Les puits illustrés sur la coupe servent simplement à indiquer l'échelle de productivité des différentes unités hydrogéologiques (productivité faible, moyenne et élevée) et ne représentent pas des puits réels. Finalement, les flèches bleues pointant vers le haut indiquent les principales zones de résurgence.



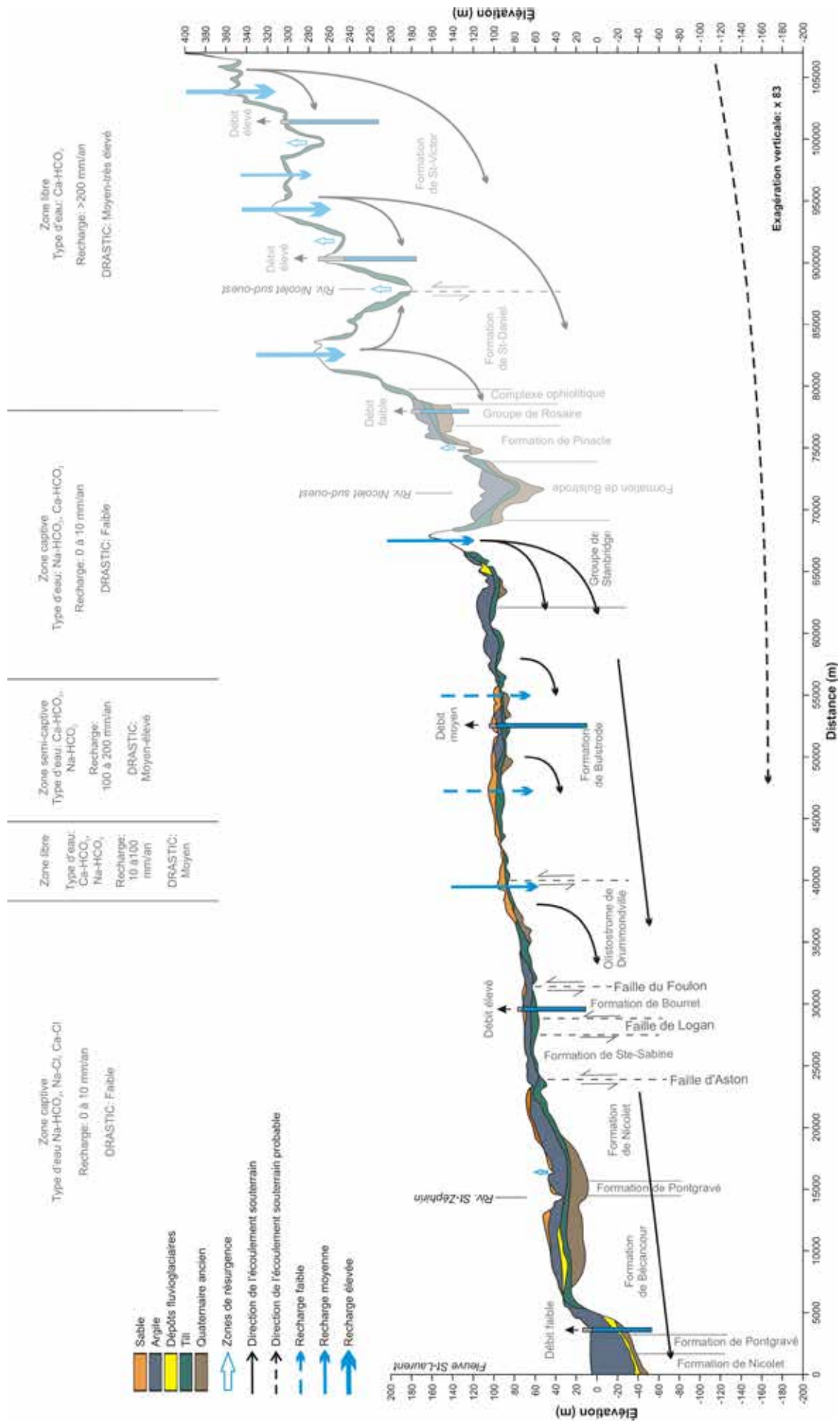
## Interprétation de la stratigraphie du secteur des Bases-Terres

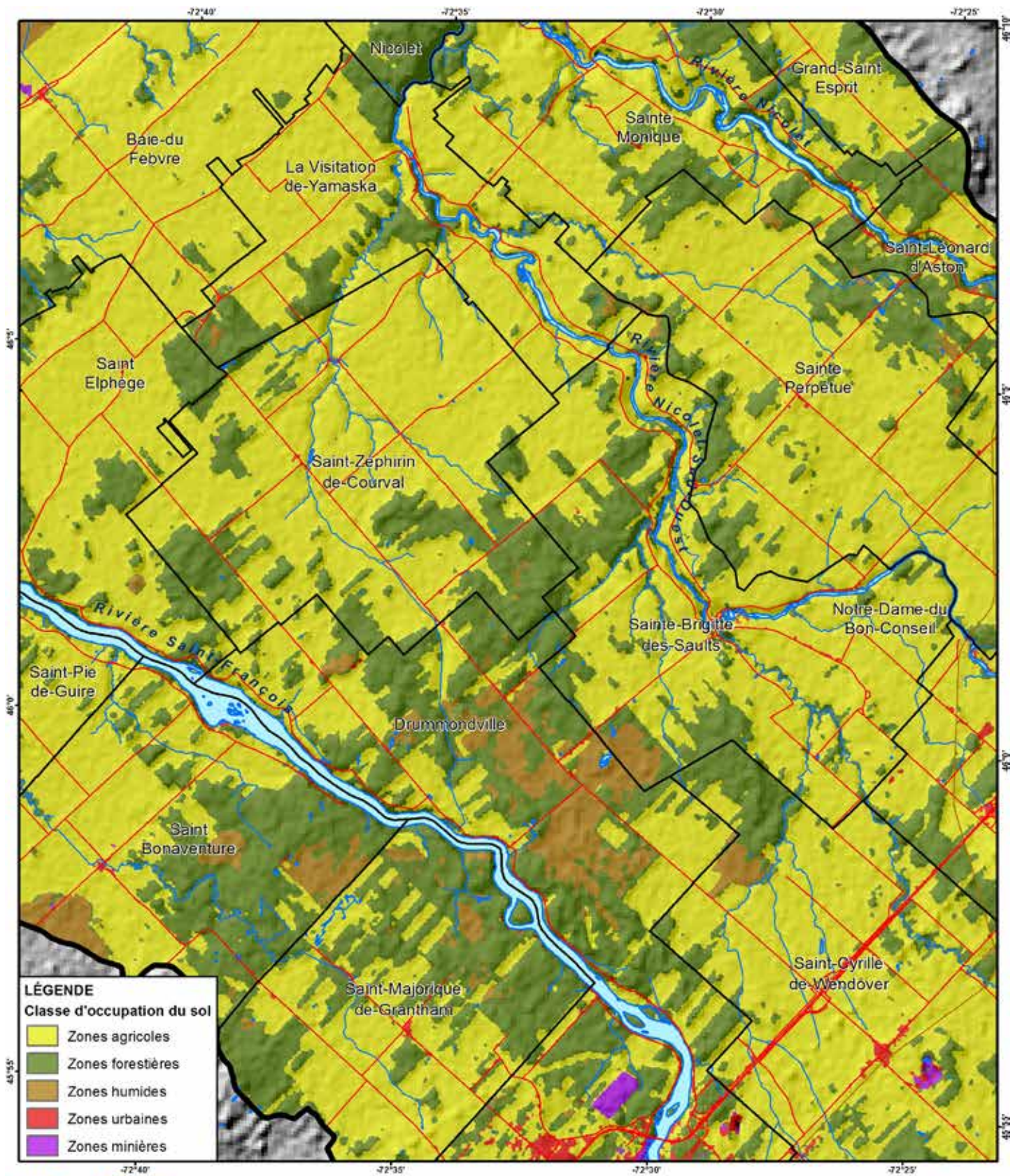
La zone centrale est principalement recouverte d'une séquence de dépôts sableux, de dépôts silteux et de till compact avec à certains endroits des dépôts granulaires superposés au till. Les dépôts organiques sont situés soit directement sur le till compact ou encaissés dans les dépôts granulaires.

En aval, la stratigraphie devient plus complexe avec la présence de dépôts quaternaires anciens qui se retrouve sous le till et en contact avec le roc.



- F** La surface du roc des Bases-Terres enfouie sous les sédiments est plane. Vrai  Faux
- F** Sur cette coupe, où retrouve-t-on les dépôts meubles les plus épais et quelle est cette épaisseur? **F**
- F** L'argile se retrouve partout sous la limite d'invasion marine de la mer de Champlain (165 à 175 m). Vrai  Faux
- D** Quelle est la séquence la plus complète d'empilement vertical des unités géologiques et où la retrouve-t-on sur la coupe? Quel est le caractère aquifère ou aquitard de chacune des couches? **D**



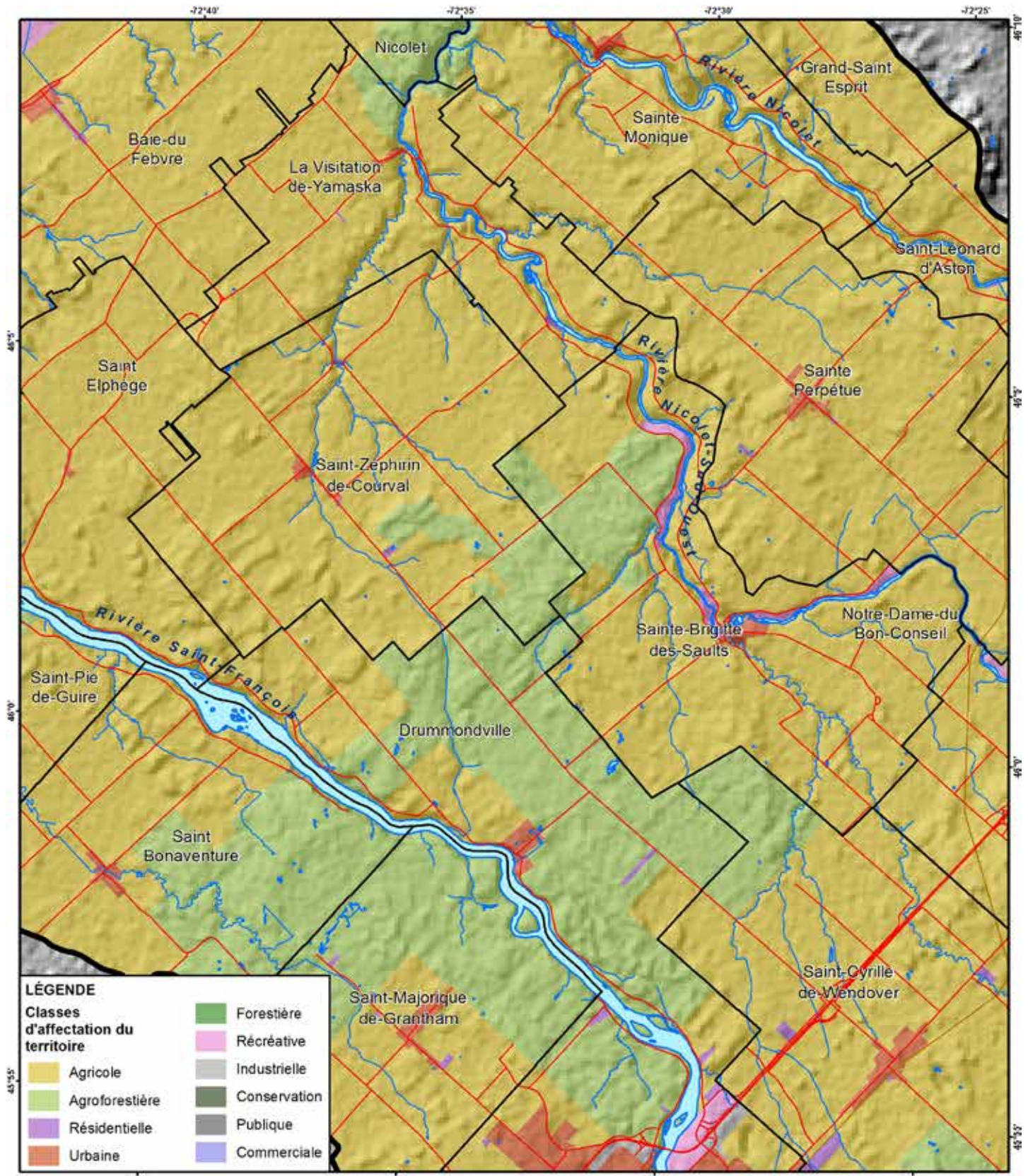


**Occupation du sol**  
**Secteur des Basses-Terres**

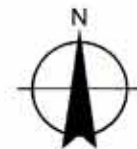
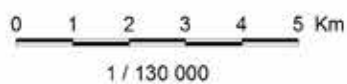
0 1 2 3 4 5 Km

1 / 130 000





**Affectation du territoire**  
**Secteur des Basses-Terres**



Exercice de synthèse 1 : Si demain une municipalité du secteur des Basses-Terres devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelles zones seraient les plus propices?

---



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

---

- Bouchard, M.F., Sauvé, S., Barbeau, B., Legrand, M., Brodeur, M. E., Bouffard, T., Limoges, E., Bellinger, D. C. et Mergler, D. 2011. Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 119(1):138-43.
- Buffin-Bélanger, T., Chaillou, G., Cloutier, C-A., Touchette, M., Hétu, B. et McCormack, R. 2015. Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines du nord-est du Bas-Saint-Laurent (PACES-NEBSL) : Rapport final. 199p. [En ligne], ([http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/rapport3\\_PACES-NEBSL.pdf](http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/rapport3_PACES-NEBSL.pdf)). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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. [En ligne], ([http://pcdt.uqac.ca/pcdt/rapport\\_sc/Rap\\_scienti\\_SLSJ\\_VF\\_20130719.pdf](http://pcdt.uqac.ca/pcdt/rapport_sc/Rap_scienti_SLSJ_VF_20130719.pdf)). Page consultée le 11 mai 2017.
- CERM-PACES, 2015. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de Charlevoix, Charlevoix-Est et La Haute-Côte-Nord. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi. [En ligne], ([http://pcdt.uqac.ca/pcdtchcn/rapport\\_scientifique/CHCN\\_Rapport\\_Scientifique.pdf](http://pcdt.uqac.ca/pcdtchcn/rapport_scientifique/CHCN_Rapport_Scientifique.pdf)). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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). [En ligne], ([http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/PACES-AT1\\_Rapport\\_Final\\_GRES-UQAT.pdf](http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/PACES-AT1_Rapport_Final_GRES-UQAT.pdf)). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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.ca/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/HYDROGEOLOGIE\\_notions\\_et\\_figures\\_oct2014.pdf](http://rqes.ca/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/HYDROGEOLOGIE_notions_et_figures_oct2014.pdf)). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2040/>). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035.2/>). Page consultée le 11 mai 2017.
- Larocque, M., Gagné, S., Tremblay, L. et Meyzonnat, 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. [En ligne], ([http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/Rapport\\_final\\_PACES\\_Becancour\\_2013.pdf](http://rqes.ca/rqes/wp-content/uploads/sites/72/2016/08/Rapport_final_PACES_Becancour_2013.pdf)). Page consultée le 11 mai 2017
- Larocque, M., Gagné, S., Barnette, D., Meyzonnat, G., Graveline, M. H. et Ouellet, M. A. 2015. Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François - Rapport final. Rapport déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 258 p. [En ligne], (<http://rqes.ca/paces-nicolet-bas-saint-francois/>). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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). [En ligne], ([https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/docs/GSC1456/F1542720878\\_Rapport\\_final\\_05juin.pdf](https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/docs/GSC1456/F1542720878_Rapport_final_05juin.pdf)). Page consultée le 11 mai 2017.
- 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](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/index-fra.php)). Page consultée le 11 mai 2017.
- Siim Sepp (2005). Wikipédia – Argile. Argilite en Estonie. [En ligne], (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Argile>). Page consultée le 11 mai 2017.

# Mes notes personnelles

---



## **Les partenaires du Projet de connaissances sur les eaux souterraines de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François :**

Organisme de bassin versant COGESAF  
Organisme de bassin versant COPERNIC  
Agence de géomatique du centre du Québec  
Conférence régionale des élus du Centre-du-Québec  
Conférence régionale des élus de l'Estrie  
Conférence régionale des élus des Appalaches  
MRC d'Acton  
MRC des Appalaches  
MRC d'Arthabaska  
MRC de Bécancour  
MRC de Drummond  
MRC du Haut-Saint-François  
MRC de L'Érable  
MRC de Nicolet-Yamaska  
MRC de Pierre-de-Saurel  
MRC des Sources  
MRC du Val-Saint-François

## **Les partenaires du projet de transfert des connaissances sur les eaux souterraines :**

