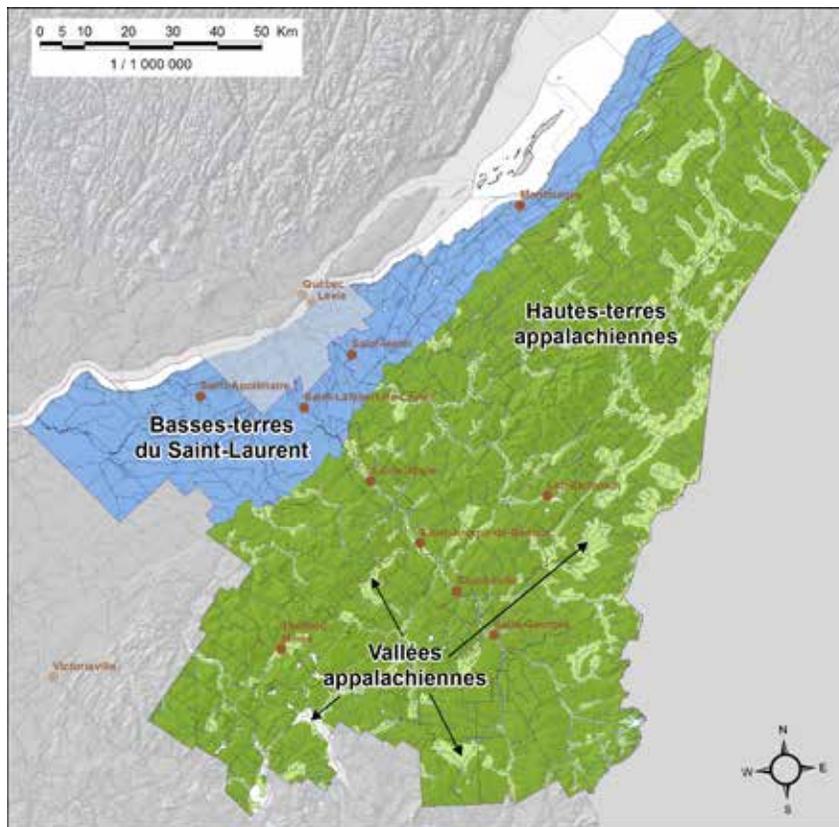


ATELIER A

Familiarisation avec les connaissances hydrogéologiques

Chaudière-Appalaches



CAHIER DU PARTICIPANT

Janvier 2017

Cet atelier de transfert des connaissances issues du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) en Chaudière-Appalaches 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'Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement (INRS-ETE) et la Chaire de recherche Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) en écologie du paysage et aménagement :

- René Lefebvre, professeur en hydrogéologie, INRS-ETE, coordonnateur du PACES en Chaudière-Appalaches
- Jean-Marc Ballard, professionnel de recherche en hydrogéologie, INRS-ETE, équipe de recherche du PACES en Chaudière-Appalaches
- John Molson, professeur en hydrogéologie, Université Laval, équipe de recherche du PACES en Chaudière-Appalaches
- Anne-Marie Decelles, agente de transfert du RQES
- Miryane Ferlatte, cordonnatrice scientifique du RQES
- Yohann Tremblay, agent de transfert du RQES, préparation de l'atelier de transfert
- Julie Ruiz, professeure et titulaire de la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement, conception de l'atelier de transfert

Références à citer

L'ensemble des informations hydrogéologiques provient du rapport final du PACES en Chaudière-Appalaches et des cartes associées. Ces documents doivent être cités comme suit :

Lefebvre, R., Ballard, J.-M., Carrier, M.-A., Vigneault, H., Beaudry, C., Berthot, L., Légaré-Couture, G., Parent, M., Laurencelle, M., Malet, X., Therrien, A., Michaud, A., Desjardins, J., Drouin, A., Cloutier, M.H., Grenier, J., Bourgault, M.-A., Larocque, M., Pellerin, S., Graveline, M.-H., Janos, D. et Molson, J. (2015) Portrait des ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches, Québec, Canada. Projet réalisé conjointement par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) et le Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES), Rapport final INRS R-1580, soumis au MDDELCC en mars 2015.

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 en Chaudière-Appalaches :

Tremblay, Y., Ruiz, J., Lefebvre, R., Ballard, J.-M. 2017. Atelier A - Familiarisation avec les connaissances sur les eaux souterraines en Chaudière-Appalaches, cahier du participant. Document préparé par le RQES, avec la contribution de l'INRS-ETE 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

Le RQES a pour mission de consolider et d'étendre les collaborations entre les équipes de recherche universitaires 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

Le Centre Eau Terre Environnement de l'INRS

En 1969, le gouvernement du Québec a créé l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), une des composantes du réseau de l'Université du Québec (UQ). L'INRS est composé de quatre centres de recherche et compte 150 professeurs. L'INRS est une université non conventionnelle dédiée à la recherche scientifique grâce à ses programmes de formation concentrés aux 2e et 3e cycles (maîtrise et doctorat). Les 36 professeurs du Centre Eau Terre Environnement (INRS-ETE), situé à Québec, contribuent à l'avancement des connaissances en vue d'améliorer la protection, la conservation et la mise en valeur des ressources naturelles. Les chercheurs du Centre concentrent leurs activités dans quatre domaines de recherche : hydrologie, assainissement et valorisation, biogéochimie aquatique et terrestre, ainsi que géosciences.

Pour en savoir plus : www.ete.inrs.ca

Table des matières

Index des notions clés	7
Guide de lecture du cahier des participants	8
Votre équipe de formation	9
1. Les notions hydrogéologiques fondamentales	11
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
2. Les caractéristiques régionales de l'eau souterraine	19
Résumé du PACES en Chaudière-Appalaches	20
Les limites générales de l'étude	21
Utilisation de l'eau souterraine en Chaudière-Appalaches	21
Trois contextes hydrogéologiques en Chaudière-Appalaches	22
3. Le contexte hydrogéologique des basses-terres du St-Laurent	25
Épaisseur des dépôts meubles	26
Contextes hydrogéologiques	28
Coupes stratigraphiques	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
Exercice de synthèse 1	46
Exercice de synthèse 2	47
Exercice de synthèse 3	48

4. Les contextes hydrogéologiques des Appalaches	49
Épaisseur des dépôts meubles	50
Contextes hydrogéologiques	52
Coupes stratigraphiques	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
Exercice de synthèse 1	70
Exercice de synthèse 2	71
Exercice de synthèse 3	72
Bibliographie	73
Mes notes personnelles	74

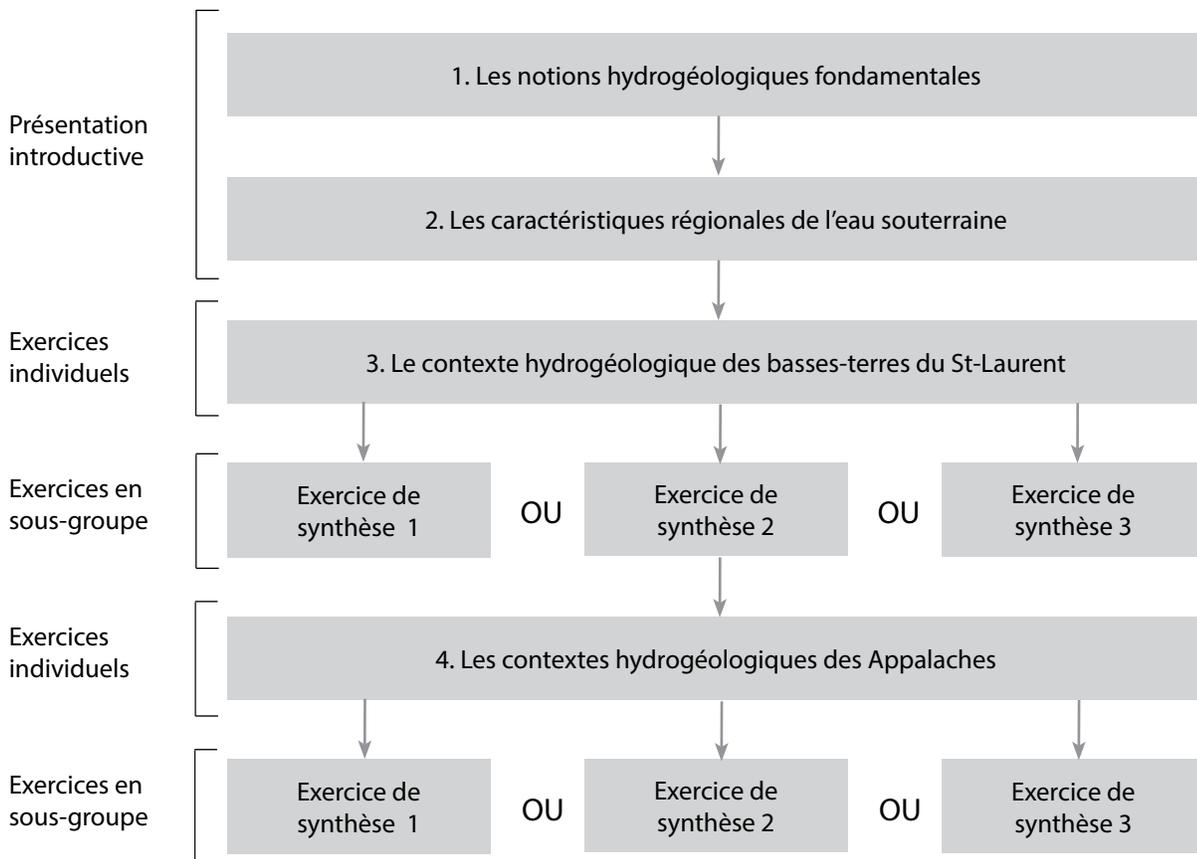
La plupart des figures et photographies reproduites dans ce document appartiennent à l'équipe de réalisation du PACES en Chaudière-Appalaches ou au Réseau québécois sur les eaux souterraines. Lorsque ce n'est pas le cas, le crédit photographique (source) est indiqué sous l'image.

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
Risque de dégradation de la qualité de l'eau souterraine	17
Roc fracturé	13
Sédiments alluviaux	14
Sédiments éoliens	14
Sédiments fluvioglaciers	14
Sédiments glaciaires	14
Sédiments marins	14
Sédiments organiques	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



Jean-Marc Ballard
M.Sc. Hydrogéologie
Professionnel de recherche
INRS-ETE
490 rue de la Couronne
Québec (Qc) G1K 9A9
418-654-2654
Jean-Marc.Ballard@ete.inrs.ca



René Lefebvre
Ph.D. Hydrogéologie
Professeur
INRS-ETE
490 rue de la Couronne
Québec (Qc) G1K 9A9
418-654-2651
Rene.Lefebvre@ete.inrs.ca



John Molson
Ing., Ph.D. Hydrogéologie
Professeur
Département de géologie et de
génie géologique, Université Laval
1065 av. de la Médecine
Québec (Qc) G1K 7P4
418-656-2131 poste 5713
John.Molson@ggl.ulaval.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

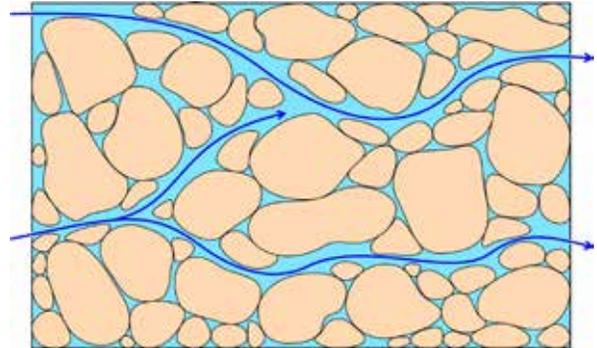
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

- 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.

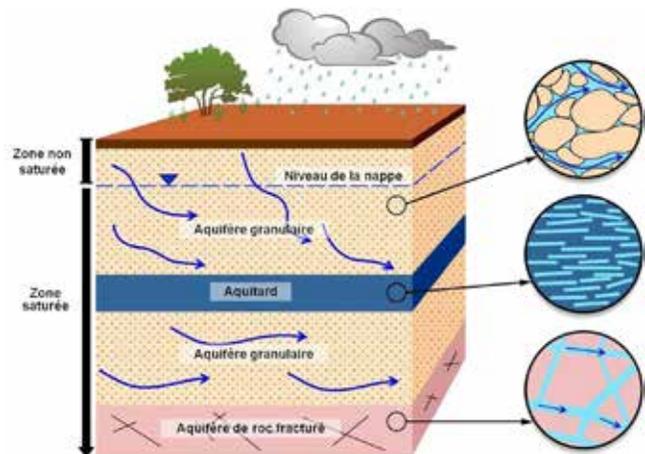
- C'est le **contenu**.

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 :

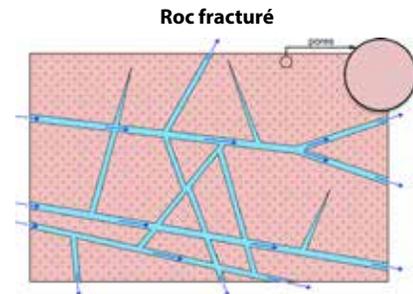
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

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.

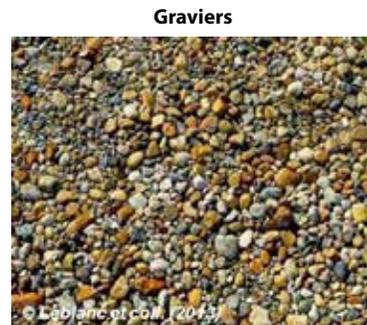
En forant un puits dans ce type d'aquifère, on cherche à rencontrer le plus de fractures possible.



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 GLACIAIRES (TILL)

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

- Composé de grains de toutes tailles dans une matrice fine — **ni aquifère ni aquitard.**

Till



SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

Mis en place par les eaux de fonte, pendant la déglaciation.

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

Sédiments fluvioglaciaires



SÉDIMENTS GLACIOMARINS ET GLACIOLACUSTRES

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, près du littoral ou dans des deltas : composés de sable et gravier — **aquifère.**

Argiles lacustres



Sédiments littoraux



SÉDIMENTS ALLUVIAUX

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

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

Sédiments alluviaux



SÉDIMENTS ÉOLIENS

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

- Composés sable — **aquifère.**

Sédiments éoliens



SÉDIMENTS ORGANIQUES

Constituent les milieux humides.

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

Tourbe



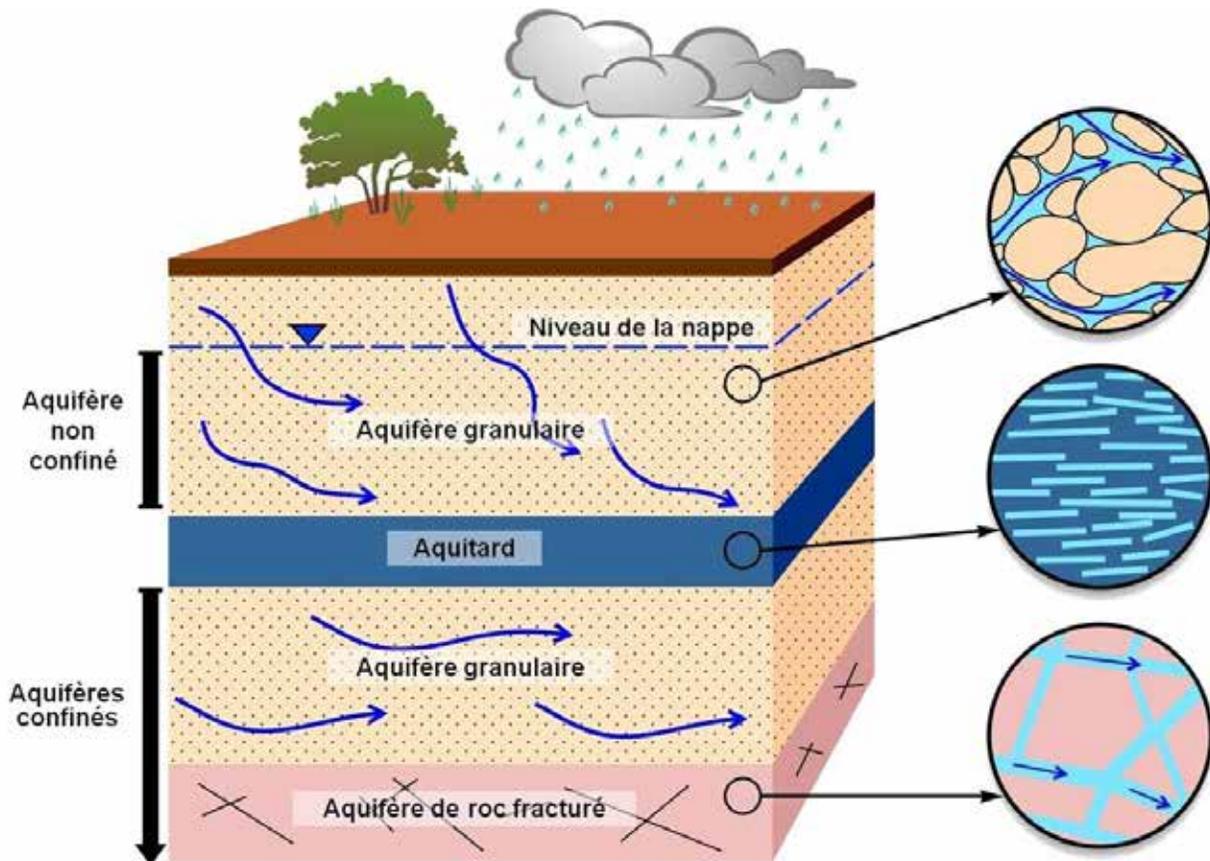


CONDITIONS DE CONFINEMENT

Un aquifère 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 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 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.

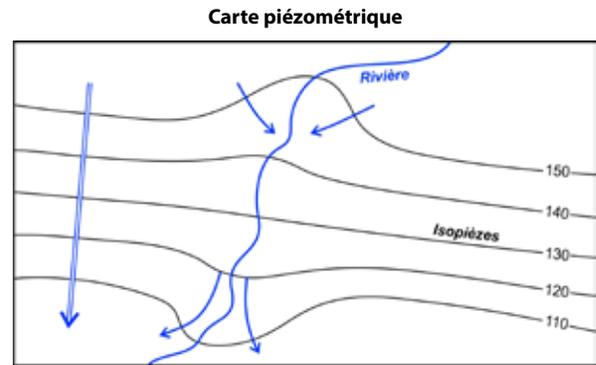




PIÉZOMÉTRIE

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.

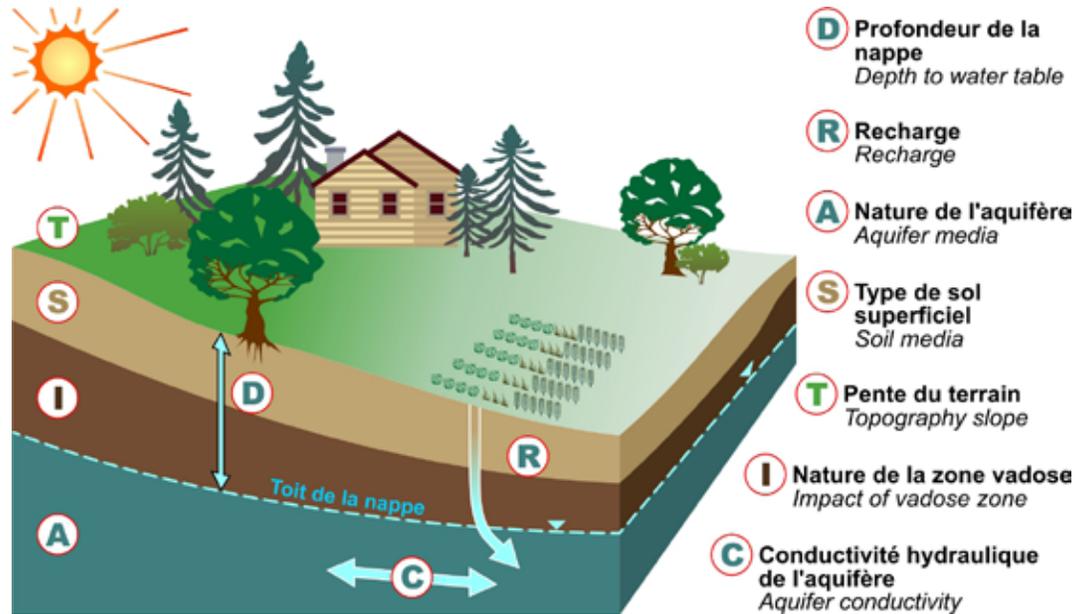


VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

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 :

- **Eau de recharge** (type Ca-HCO_3) : eau récente, peu minéralisée, signature géochimique se rapprochant de l'eau douce de recharge ;
- **Eau évoluée** (type Na-HCO_3 et Na-Cl) : eau plus ancienne, minéralisée, signature géochimique montrant une salinité plus élevée ;
- **Eau anthropique** (type Ca-HCO_3 enrichi avec Cl et SO_4) : eau présentant des évidences de dégradation par les activités anthropiques.

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 en Chaudière-Appalaches

Le portrait régional de la ressource en eaux souterraines a été réalisé pour le territoire municipalisé de la région de Chaudière-Appalaches (14 600 km²), excluant toutefois Lévis qui a été couvert par le projet PACES de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ). Huit (8) des neuf (9) municipalités régionales de comté (MRC) et la Conférence régionale des élus (CRÉ) de la Chaudière-Appalaches sont partenaires du projet. Ce territoire couvre, en tout ou en partie, les territoires de six (6) organismes de bassins versants (OBV) qui sont aussi partenaires du projet.

Le principal objectif du projet est de regrouper les informations nécessaires pour servir de base à la gestion durable des ressources en eaux souterraines en Chaudière-Appalaches. Une meilleure compréhension de la dynamique du système aquifère, obtenue par l'intégration et l'interprétation des données existantes ainsi que celles qui ont été générées par le projet, devrait aider à l'exploitation durable des ressources en eau souterraine et à la protection à long terme de celles-ci. Le développement d'une base de données regroupant l'information et la rendant disponible, de même que des outils cartographiques permettront de supporter le choix d'actions prioritaires à réaliser pour le développement durable des ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches.

La réalisation de ce projet s'est étalée sur une période de 3 ans, soit d'avril 2012 à mars 2015, et a compris trois grandes phases :

1. Collecte des données existantes (2012-2013),
2. Travaux de terrain ciblés complémentaires (2013-2014),
3. Synthèse et transfert de l'information (2014-2015).

La compilation des données existantes a permis d'extraire de l'information sur près de 30 000 puits à partir du Système d'information hydrogéologie (SIH) du MDDELCC. Des données ont aussi été extraites de plus de 350 rapports obtenus des municipalités et des agences gouvernementales. Les données existantes ont été complétées par des levés de terrain ciblés. La foreuse de l'INRS a permis de faire 11 sondages au piézocône et 24 sondages par rotoperçusion ainsi que l'installation de 19 puits d'observation de petit diamètre (2.5 cm) dans les dépôts meubles. De plus, une foreuse conventionnelle a été utilisée pour installer neuf (9) puits de 150 mm (6 po) de diamètre ouverts au roc qui complètent les 20 puits déjà existants du réseau de suivi du MDDELCC dans la région d'étude. Des essais hydrauliques ont été réalisés dans les nouveaux puits d'observation. Une campagne d'échantillonnage d'eau souterraine a permis de récolter 125 échantillons provenant principalement de puits résidentiels. Ces échantillons ont été analysés principalement pour les ions majeurs et mineurs, ainsi que les gaz dissous (méthane) et plusieurs isotopes (²H, ¹⁸O, ³He, ¹⁴C) pour un sous-groupe représentatif. Plus de 260 autres analyses chimiques ont été obtenues d'études antérieures ou en voie de réalisation dans la région d'étude.

En plus des livrables prévus par le PACES, des travaux spécifiques ont été réalisés par des étudiants de 2e et 3e cycles sur des thèmes d'intérêt pour les ressources en eau souterraine de la région. Ces travaux comprennent la cartographie des sédiments superficiels et la définition des événements géologiques au Quaternaire, l'étude des milieux humides présents dans la zone du Chêne et de leur interaction avec les eaux souterraines, la modélisation de l'écoulement régional et de l'évolution géochimique de l'eau souterraine, et la modélisation hydrologique de l'écoulement de l'eau de surface ainsi que de la recharge des nappes.

Limites générales de l'étude

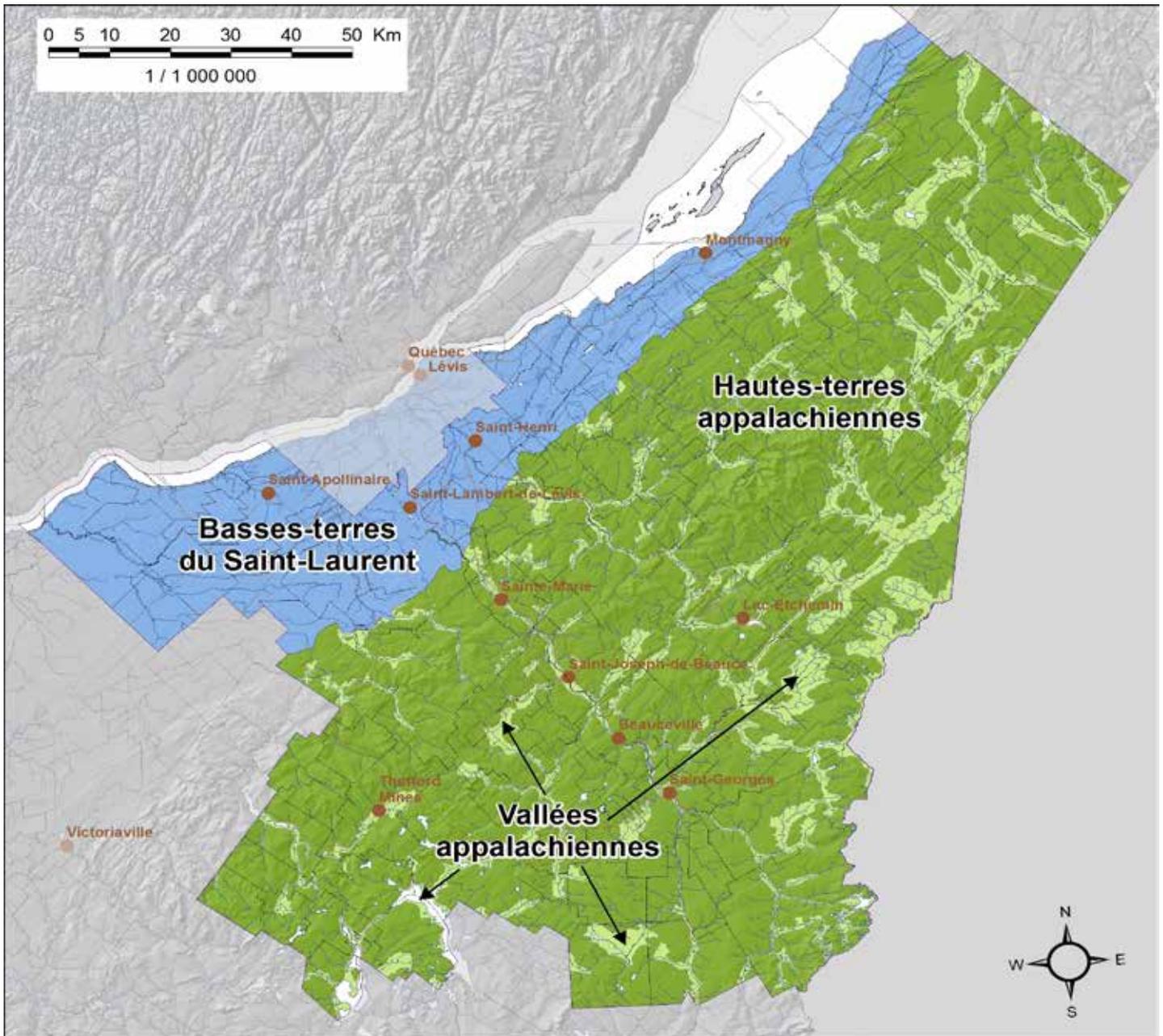
Les cartes réalisées dans le cadre du PACES en Chaudière-Appalaches ont été préparées pour représenter des conditions régionales à l'échelle 1/100 000, telles que pouvant être définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional en découlant pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser les travaux d'analyse et d'interprétation des données ainsi que la production des cartes, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, les résultats du projet présentés dans le rapport et les cartes associées 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 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).

Utilisation de l'eau souterraine en Chaudière-Appalaches

L'usage total annuel de l'eau dans la région d'étude a été évalué à 109 millions de m³, dont 42% provenaient de l'eau souterraine. Globalement, les usages résidentiel (38%), agricole (32%) et industriel-commercial-institutionnel (30%) sont équilibrés, mais il y a des variations importantes entre les MRC. En tout, 36% de la population totale de la région d'étude, qui s'élève à 278 180 personnes (sans Lévis), s'alimente en eau à partir d'un puits privé, alors que le reste de la population est desservi par un réseau d'aqueduc municipal ou privé (20 personnes et plus). 60% des réseaux municipaux sont approvisionnés par de l'eau souterraine grâce à plus de 300 puits d'approvisionnement en eau. La quantité d'eau souterraine exploitée est généralement inférieure à 15% de la recharge, à l'exception de six (6) municipalités.

Trois contextes hydrogéologiques en Chaudière-Appalaches



• Les basses-terres du St-Laurent :

Ce contexte couvre une bande de 10 à 30 km de largeur en bordure du fleuve St-Laurent (~ 4 061 km²). On y retrouve une topographie de bas plateau, aux pentes en général faibles, ayant une altitude variant entre 10 m par rapport au niveau moyen de la mer (NMM) en bordure du fleuve et 90 m NMM à la limite des Appalaches. Les basses-terres ont été recouvertes par la mer de Champlain jusqu'à une élévation variant autour de 180 m NMM, ce qui fait qu'on y retrouve d'épaisses accumulations de sédiments à grains fins (plus de 10 m). Ces conditions impliquent que la recharge ne se fait que localement, notamment le long de crêtes rocheuses orientées SO-NE. Le potentiel aquifère est pratiquement restreint au roc fracturé. Le très faible gradient hydraulique horizontal fait en sorte que l'écoulement de l'eau souterraine est lent et généralement dirigé vers le fleuve Saint-Laurent, sauf aux bordures des rivières Boyer et du Sud. De cette situation découle la présence d'eaux évoluées ou très évoluées, montrant encore par endroit une signature marine. La qualité de l'eau souterraine est acceptable pour les eaux de type recharge, mais les eaux évoluées ont une qualité acceptable à passable, parfois même non potable localement à cause d'effets anthropiques. Dans ce contexte, on retrouve assez fréquemment des dépassements des critères de potabilité pour le fluor (F) et le baryum (Ba), tandis que plusieurs critères esthétiques ont des dépassements (Cl, Na, MDT, dureté, Al, Mn, et pH alcalin). On y retrouve les plus grandes étendues de vulnérabilité relative faible, mais aussi tout de même des vulnérabilités relatives plus élevées dans plusieurs secteurs où les conditions sont libres et la recharge plus importante. L'approvisionnement en eau dans ce contexte se fait surtout à partir de l'eau souterraine dans les MRC de Lotbinière et de L'Islet, alors que c'est l'inverse pour les MRC de Bellechasse et de Montmagny. La consommation d'eau souterraine est partagée entre les différents usages, sauf dans la MRC de Montmagny où l'usage industriel-commercial-institutionnel est faible.

• Les vallées appalachiennes :

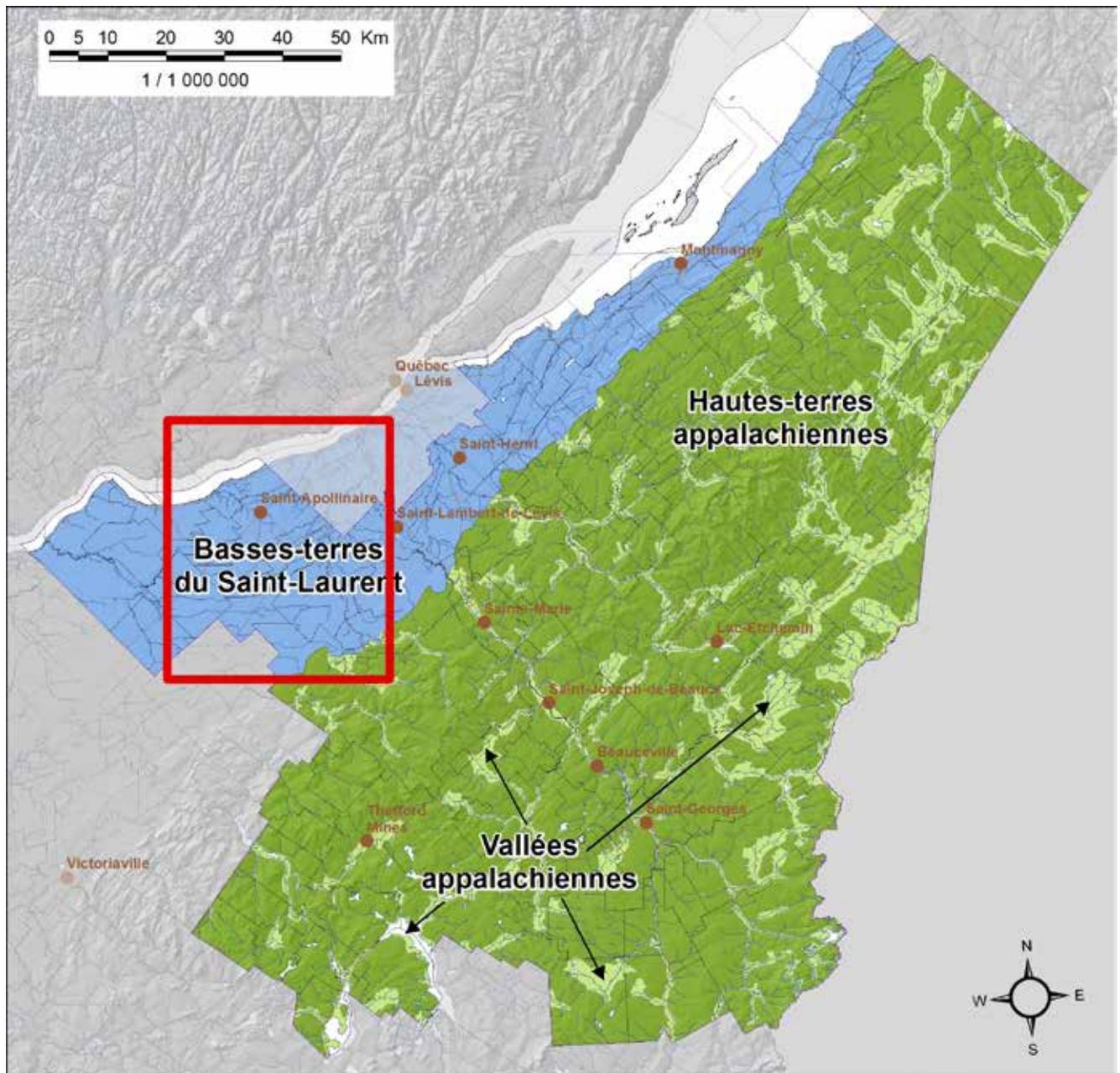
Au sud des basses-terres, on retrouve une topographie de collines, montagnes et vallées. Les vallées appalachiennes (~ 2 293 km²), orientées principalement nord-ouest/sud-est, incisent les reliefs montagneux et se trouvent à des élévations généralement inférieures à 350 m NMM. Elles peuvent être comblées d'épaisseurs importantes de sédiments (plus de 15 m), mais ces sédiments sont généralement fins. Toutefois, on retrouve par endroits des sédiments fluvioglaciers, mis en place principalement lors du retrait des glaces, qui peuvent avoir un potentiel aquifère local. C'est l'aquifère rocheux fracturé qui présente un potentiel aquifère dans l'ensemble de ce contexte. La recharge y est importante, sauf où il y a des accumulations de sédiments fins. Les gradients hydrauliques sont forts en bordure des vallées et l'écoulement se dirige vers les cours d'eau. On retrouve des eaux généralement jeunes et de type recharge dans ce contexte, mais ces eaux montrent des évidences de dégradation de qualité par les activités anthropiques. Cette dégradation n'implique toutefois pas de dépassements de critères de potabilité et il y a aussi peu de dépassements de critères esthétiques (Mn et pH acide). C'est dans ce contexte qu'on trouve proportionnellement le plus de zones à vulnérabilité élevée, bien qu'elle peut être plutôt moyenne, ou même faible, là où on retrouve de plus grandes épaisseurs de sédiments fins. Il y a une utilisation importante de l'eau souterraine dans ce contexte où se trouvent plusieurs des principales municipalités de la région. Toutefois, c'est l'approvisionnement par de l'eau de surface qui domine l'approvisionnement, surtout à cause des réseaux des principales municipalités le long de la rivière Chaudière. La proportion de l'usage industriel-commercial-institutionnel de l'eau souterraine est dominante pour les MRC de la Nouvelle-Beauce et Robert-Cliche.

• Les hautes-terres appalachiennes :

Les hautes-terres appalachiennes occupent la majorité des Appalaches (~ 9 744 km²) où elles montrent des topographies aux pentes généralement fortes constituées de collines ou de montagnes, pouvant atteindre une élévation de 900m NMM dans leur partie centrale. De grandes zones de till mince ou d'affleurements rocheux sont observées sur les sommets topographiques, mais le till peut atteindre jusqu'à 5 m d'épaisseur où la topographie est moins accidentée. Le till est relativement perméable, ce qui fait des hautes-terres une vaste zone de recharge préférentielle de l'aquifère régional. Une grande ligne de partage des eaux souterraines est associée aux sommets topographiques de la partie centrale des Appalaches. L'écoulement diverge à partir de cette ligne avec une orientation générale NO-SE. Toutefois, l'écoulement est affecté par la topographie locale irrégulière et l'émergence dans les cours d'eau dont le réseau est dense. On y retrouve en majorité des zones à vulnérabilité moyenne, mais aussi des vulnérabilités faibles sur les hauts topographiques et de plus fortes vulnérabilités en marge des plus hauts sommets, dans les secteurs de plateaux ou en bordure des vallées. La meilleure qualité d'eau souterraine de la Chaudière-Appalaches est présente dans ce contexte. La consommation d'eau provient d'un approvisionnement en eau souterraine et l'usage dominant de l'eau souterraine est résidentiel.

3

Le contexte hydrogéologique des basses-terres du St-Laurent



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 13

Méthode utilisée

Les informations sur l'épaisseur et le type de dépôts meubles proviennent majoritairement des données de forage. 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, incluant les forages, les affleurements rocheux (qui indiquent une épaisseur nulle de dépôts), les données géophysiques interprétées (ex. sismique réflexion) et, de manière indirecte, les données sur la distribution des sédiments du Quaternaire.

Interprétation pour le secteur des basses-terres du St-Laurent

C'est dans ce secteur que sont recoupées les épaisseurs les plus importantes de dépôts meubles, bien que celles-ci soit très variables, allant de 0 à 30 m (moyenne de 4.7 m). L'épaisseur est particulièrement importante dans la partie nord-ouest des basses-terres, entre Sainte-Croix et Lévis. D'épaisses accumulations de sédiments sont aussi associées aux rivières Boyer et du Sud.

Les accumulations importantes des sédiments fins ne se retrouvent que dans les basses-terres où ces sédiments ont des épaisseurs entre 5 et 10 m, mais peuvent localement excéder 15 m. C'est encore une fois dans la partie nord-ouest des basses-terres qu'on retrouve des épaisseurs importantes et continues de sédiments fins.

Des sédiments plus grossiers se trouvent de façon continue, en dessous ou par-dessus les sédiments fins, surtout dans la partie ouest du secteur, associées aux vallées des rivières Chaudière et Etchemin.



F On retrouve les dépôts meubles les plus épais dans la municipalité de St-Agapit.

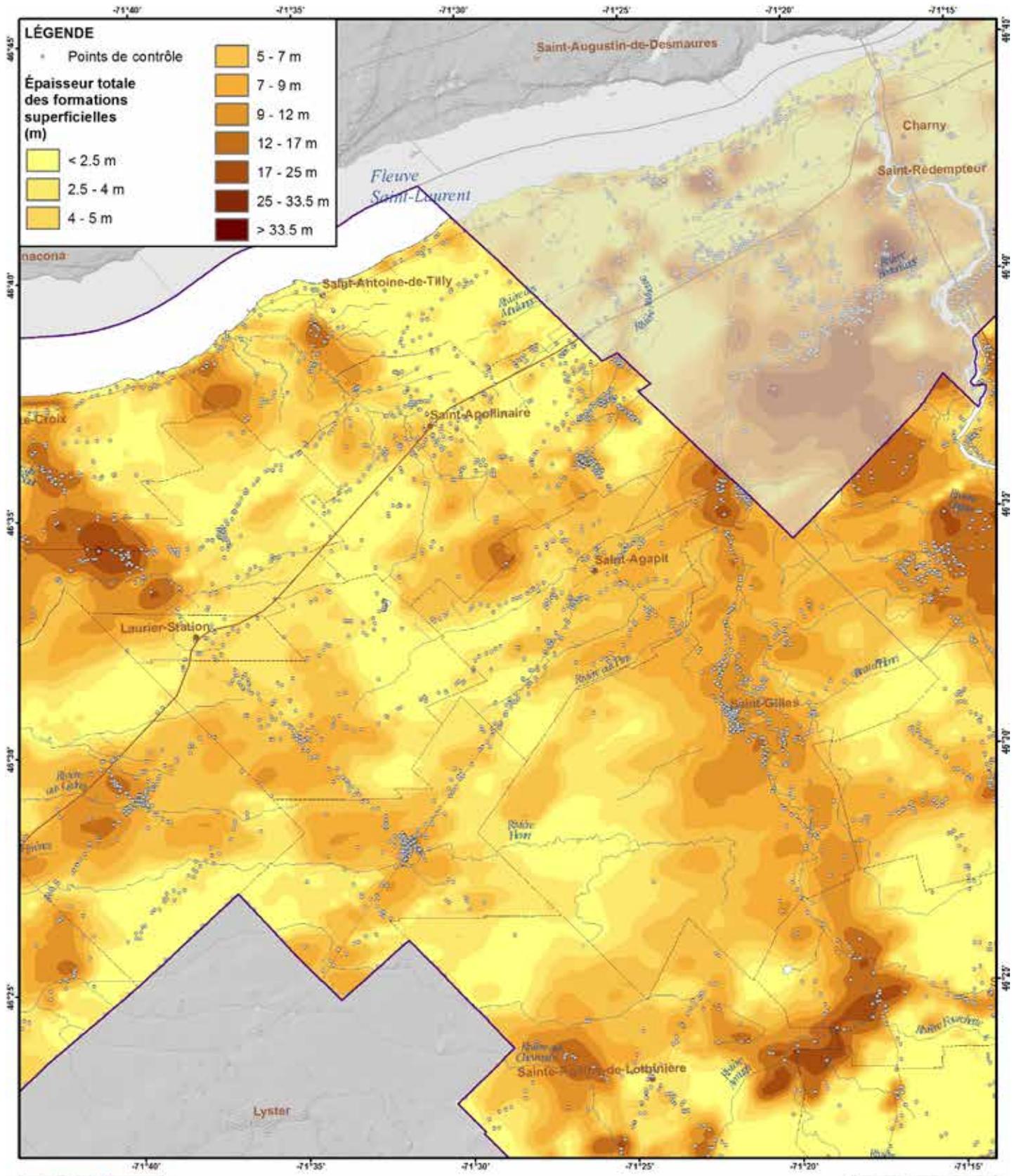
Vrai Faux

M L'estimation de l'épaisseur des dépôts est peu fiable dans le secteur ouest de la municipalité de St-Gilles.

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)?

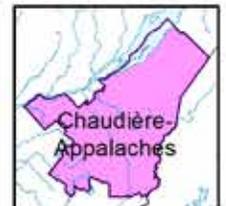
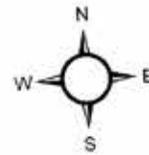
D Est-ce que la topographie de surface influence de manière importante l'épaisseur des dépôts meubles dans le contexte des basses-terres du St-Laurent (expliquez votre raisonnement)?



Épaisseur des dépôts meubles
Chaudière-Appalaches - Basses-terres

0 1 2 4 6 8 10 Km

1 / 200 000



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.



TYPE DE DÉPÔTS MEUBLES page 14,
ROC FRACTURÉ page 13

Méthode utilisée

Les séquences d'empilement vertical des dépôts meubles recouvrant le roc fracturé peuvent être générés sur la base des données de forages, de la géologie du Quaternaire, de la géologie du roc, des épaisseurs de sédiments et des levés géophysiques. Ces séquences de sédiments, de même que des critères géomorphologiques, distinguent les grands contextes hydrogéologiques.

Interprétation pour le secteur des basses-terres du St-Laurent

Dans le contexte des basses-terres du St-Laurent, l'épaisseur totale de sédiments va de nulle jusqu'à plus de 30 m. De la surface au roc, ces sédiments forment une séquence typique de sable mince (parfois absent) sur de l'argile, parfois épaisse (10-15 m), reposant sur du till ou directement sur le roc.



- F** On retrouve des sédiments fins sur la majeure partie du territoire du contexte hydrogéologique des basses-terres.

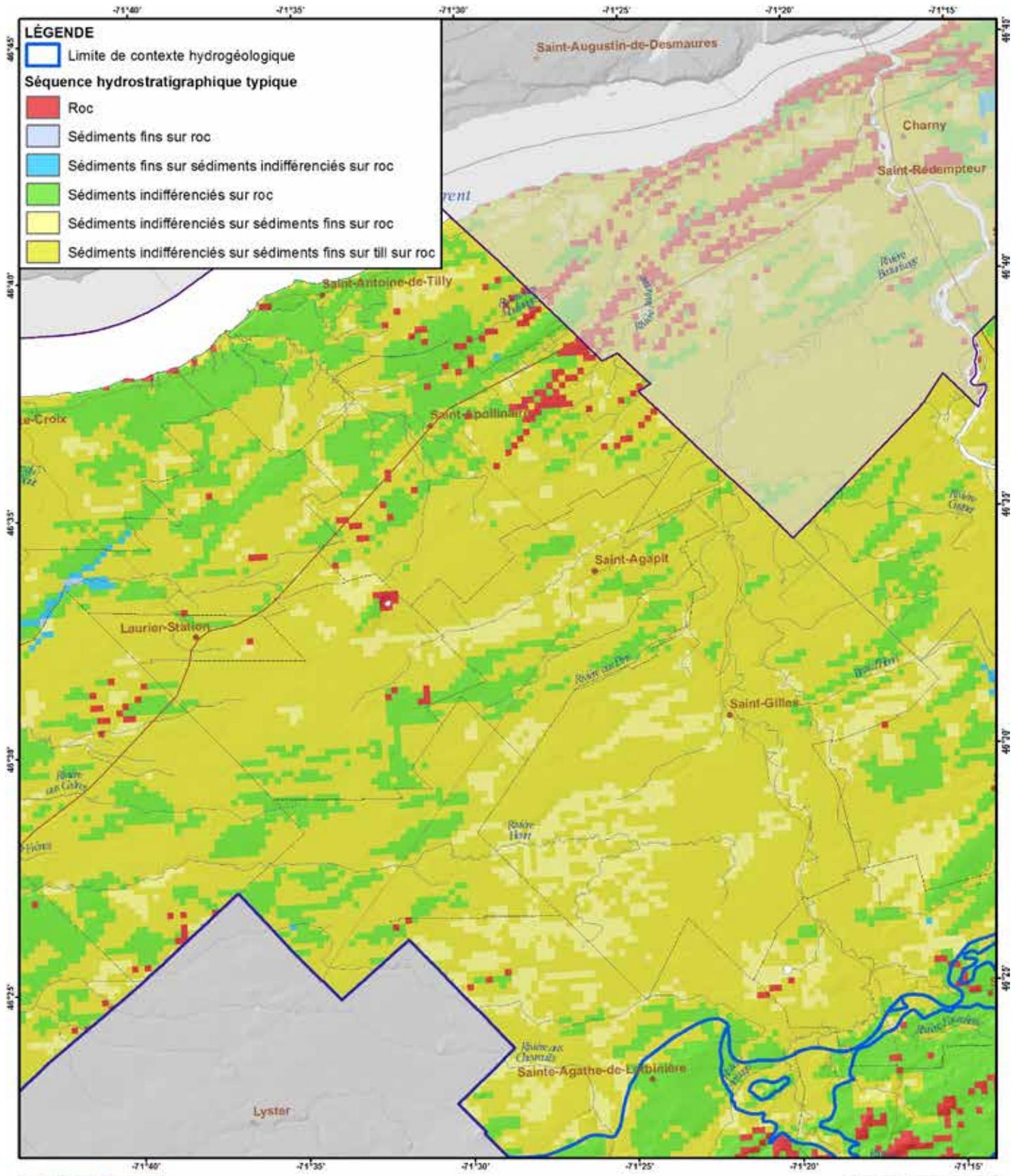
Vrai Faux

- F** Sous le centre-ville de Saint-Gilles, les sédiments indifférenciés reposent directement sur le roc.

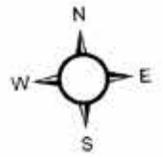
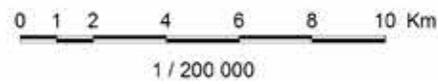
Vrai Faux

- M** Comment peut-on reconnaître si un dépôt meuble est perméable à partir de la carte des contextes hydrogéologiques?

- 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 ?



Contextes hydrogéologiques
Chaudière-Appalaches - Basses-terres



Coupes stratigraphiques

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. Les coupes permettent de déduire les conditions hydrogéologiques régionales qui prévalent dans la région d'étude.

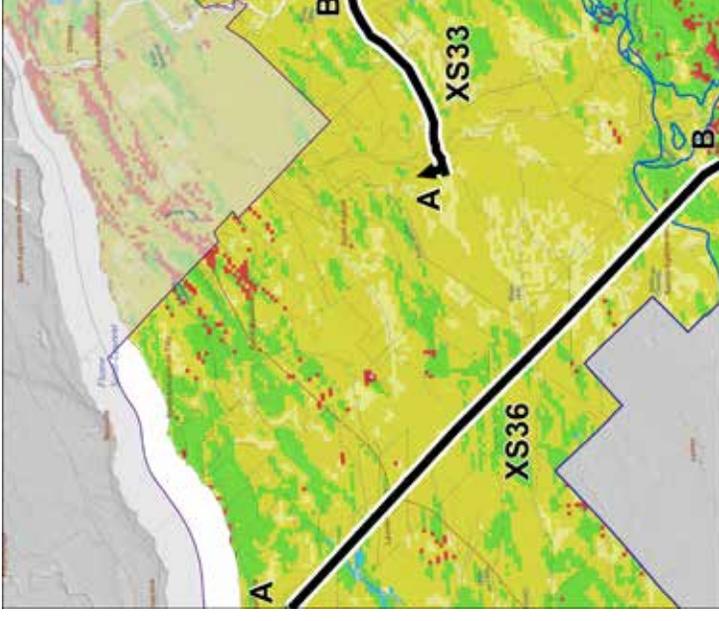
Méthode utilisée

En Chaudière-Appalaches, une dizaine de coupes stratigraphiques simplifiées ont été préparées afin d'illustrer l'architecture des dépôts dans des contextes typiques. Ces coupes ont été élaborées à partir des données de forages colligées et validées dans le cadre du projet, mais également à partir de la géologie du Quaternaire, des données sur les affleurements et des données géophysiques interprétées (sismique réflexion).

Interprétation des coupes XS33 et XS36

La coupe XS33 suit un axe approximativement SO-NE, et donc parallèle au fleuve Saint-Laurent, mais à environ 30 km à l'intérieur des terres. Des environs de Saint-Agapit au SO, en passant par Saint-Lambert-de-Lévis, elle traverse une zone principalement caractérisée par la présence de deltas mis en place en milieu marin. Ces deltas sont généralement déposés directement sur le socle rocheux ou sur une mince couche de till, mais peuvent parfois surmonter des sédiments fins sur lesquels le delta a progressé. Les dépressions du socle rocheux sont très locales et les bassins ainsi créés sont généralement comblés de sédiments glaciaires ou fluvioglaciers.

La coupe XS36 traverse le secteur des basses-terres du St-Laurent dans sa portion la plus large, pour s'arrêter dans la remontée du socle rocheux du piémont. Sur cet axe, l'épaisseur de dépôts meubles est moins importante que dans la coupe XS33. Étant donné la proximité du socle rocheux, on retrouve davantage de sédiments marins littoraux que de sédiments d'eau profonde. La portion NO de la coupe montre une stratigraphie simple, où une mince couche de till montrant des signes de remaniement recouvre le roc. L'épaisseur des dépôts meubles devient plus importante à la hauteur de Laurier-Station, où plus de 20 m de sédiments marins littoraux et pré-littoraux typiquement composés de silt sableux sont recouverts. Au SE, entre Saint-Flavien et Dosquet, l'épaisseur du till augmente considérablement (plus de 10 m par endroits), avant que le roc ne remonte par paliers. Des sédiments organiques sont présents dans les secteurs moins bien drainés et des deltas marins de faible ampleur sont croisés à la rivière du Chêne, où un peu moins de 10 m de dépôts sableux sont recouverts.



F La surface du roc enfouie sous les sédiments est plane.

Vrai Faux

F L'aquifère de roc fracturé est partout confiné par les argiles marine.

Vrai Faux

F On retrouve par endroit des amas de dépôts fluvioglaciers de sable et gravier enfouis.

Vrai Faux

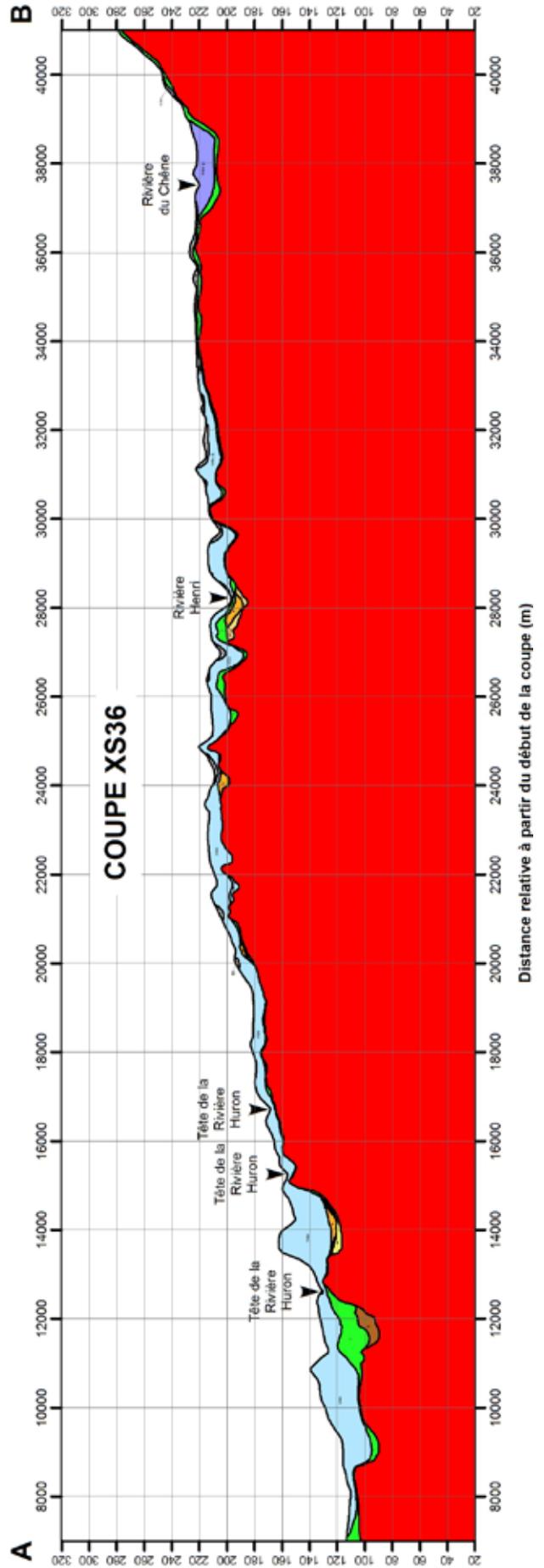
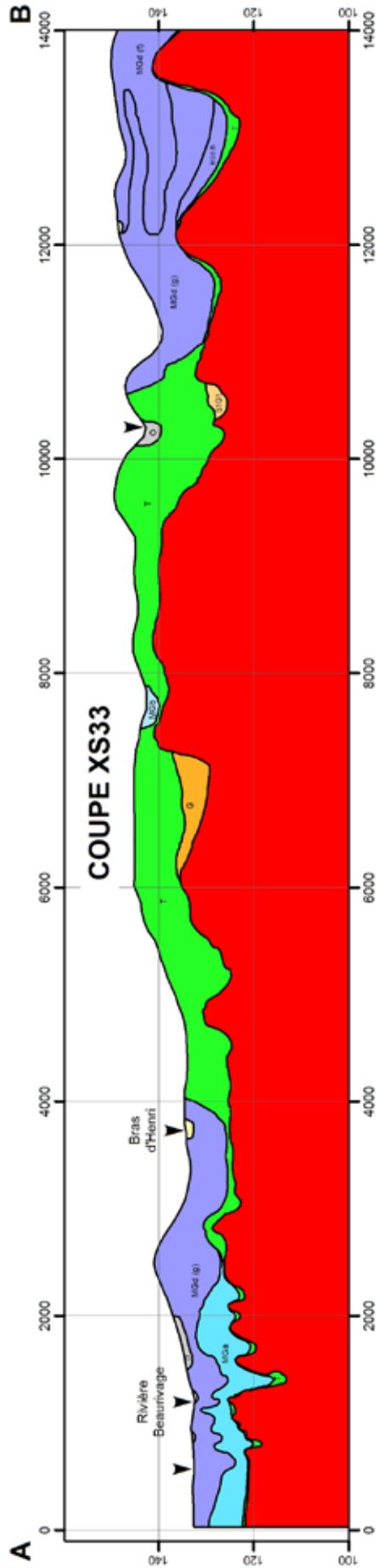
M Quelles sont les unités géologiques pouvant constituer des aquifères potentiellement exploitables sur cette coupe?



LÉGENDE

SÉDIMENTS ALLUVIAUX	SÉDIMENTS GLACIOLACUSTRES	SÉDIMENTS GLACIOMARINS	SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES	AUTRES
Ap Alluvions actuelles	LGd Sédiments deltaïques et prodeltaïques*	MGd Sédiments deltaïques*	G Sédiments proglaciaires et fluvioglaciaires	Ed Sédiments éoliens
Al Alluvions des terrasses fluviales	LGb Sédiments littoraux*	MGb Sédiments littoraux*	T Till non différencié	O Sédiments organiques
	LGa Sédiments fins d'eau profonde	MGa Sédiments fins d'eau profonde		Q Formations quaternaires anciennes
				S1 Sable non différencié
				S1G1 Sable et gravier non différencié
				R Socle rocheux

* Pour certaines unités, des faciès fins (f) ou grossiers (g) ont été différenciés. S'il y a lieu, l'étiquette (gf) ou (g) est visible directement sur la coupe.



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

En Chaudière-Appalaches, les conditions de confinement ont été définies à partir des épaisseurs de sédiments fins estimées pour l'aquifère rocheux régional. Trois catégories de conditions semi-captives distinguent les différentes séquences de sédiments reliées à ce type de condition.

- **Nappe captive** : plus de 5 m de sédiments argileux
- **Nappe semi-captive** : entre 1 et 5 m de sédiments argileux ou plus de 3 m de sédiments indifférenciés
- **Nappe libre** : moins de 1 m de sédiments argileux et moins de 3 m de sédiments indifférenciés.

Interprétation pour le secteur des basses-terres du St-Laurent

Les conditions captives couvrent des étendues très restreintes de la région d'étude (603 km² ; 3.8%), principalement dans la partie nord-ouest des basses-terres du St-Laurent, ainsi que dans les portions aval des rivières Boyer et du Sud.

La distribution spatiale des conditions semi-captives est assez semblable à celle des conditions captives, mais les conditions semi-captives couvrent une plus grande étendue au nord-ouest.

Les conditions libres dominent la partie est des basses-terres du St-Laurent, entre Lévis et St-Jean-Port-Joli, où les accumulations de sédiments sont restreintes, particulièrement les sédiments fins. On retrouve même localement des conditions libres dans la partie nord-ouest de la zone d'étude où les conditions semi-captives et captives dominent généralement.



F Le contexte hydrogéologique des basses-terres est dominé par des conditions à nappe libre.

Vrai Faux

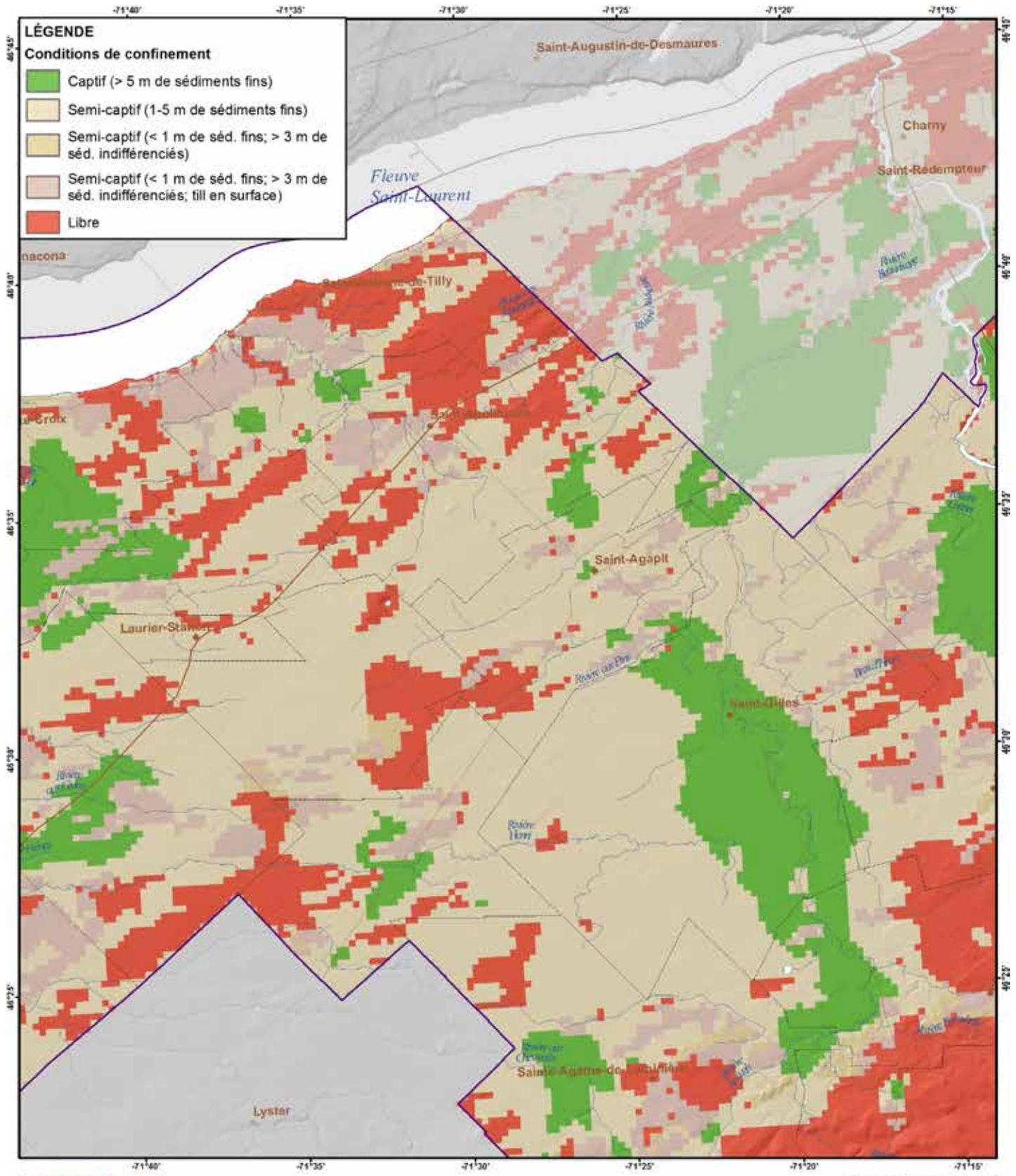
F Le centre-ville de Saint-Antoine-de-Tilly repose sur une nappe captive.

Vrai Faux

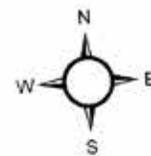
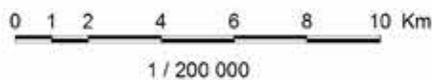
M Une nappe libre est alimentée par l'eau des précipitations qui provient directement de la surface.

Vrai Faux

M Y a-t-il forcément présence d'argile lorsque les conditions de confinement sont à nappe captive? Et lorsqu'elles sont à nappe semi-captive?



Conditions de confinement
Chaudière-Appalaches - 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

Une carte piézométrique a été produite pour l'aquifère régional de roc fracturé seulement à partir des données de niveaux d'eau mesurés dans les puits installés dans le roc. L'interpolation des niveaux d'eau entre ces puits a été réalisée, sur des mailles de 250 m x 250 m, en tenant compte des conditions distinctes rencontrées dans la Plate-forme du Saint-Laurent par rapport à celles des Appalaches.

En Chaudière-Appalaches, les aquifères granulaires ont une extension limitée et ne sont pas d'envergure régionale. Il n'a donc pas été possible de produire une carte piézométrique pour les aquifères granulaires.

Interprétation pour le secteur des basses-terres du St-Laurent

Dans les basses-terres, les très faibles changements des niveaux d'eau indiquent que l'écoulement y est généralement faible et se fait généralement vers le fleuve Saint-Laurent, sauf en bordure des rivières Boyer et du Sud.



- F** Dans les basses-terres, l'écoulement souterrain régional s'effectue de manière générale vers le fleuve St-Laurent.

Vrai Faux

- F** L'estimation du niveau piézométrique est plus fiable le long des routes et des cours d'eau.

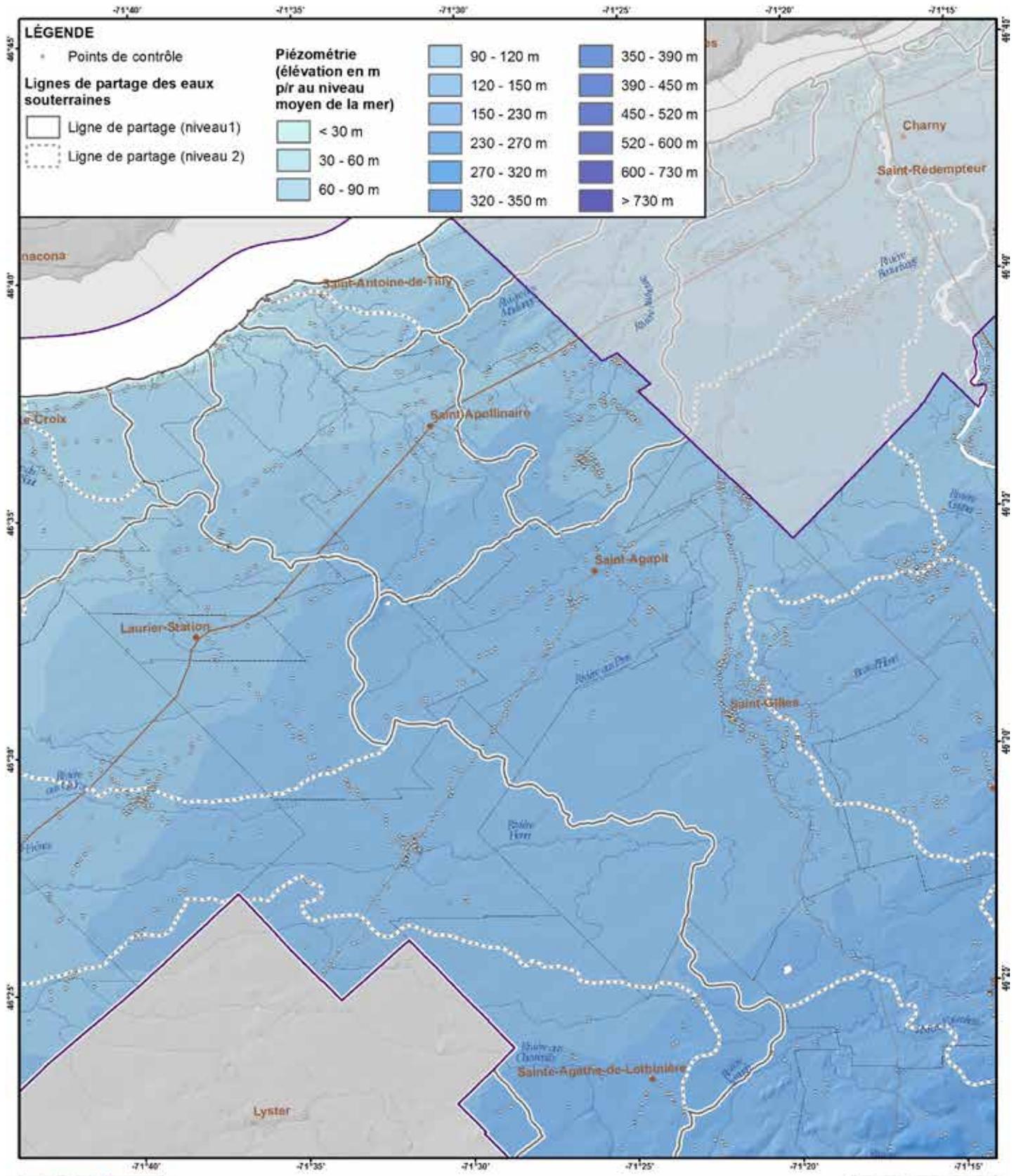
Vrai Faux

- 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

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

- M** Pourquoi y a-t-il un écoulement général de l'eau souterraine du sud vers le nord?



LÉGENDE

• Points de contrôle

Lignes de partage des eaux souterraines

□ Ligne de partage (niveau 1)

□ Ligne de partage (niveau 2)

Piézométrie (élévation en m p/r au niveau moyen de la mer)

- < 30 m
- 30 - 60 m
- 60 - 90 m

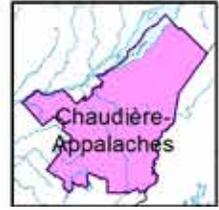
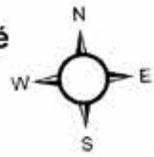
- 90 - 120 m
- 120 - 150 m
- 150 - 230 m
- 230 - 270 m
- 270 - 320 m
- 320 - 350 m

- 350 - 390 m
- 390 - 450 m
- 450 - 520 m
- 520 - 600 m
- 600 - 730 m
- > 730 m

**Piézométrie de l'aquifère de roc fracturé
Chaudière-Appalaches - Basses-terres**

0 1 2 4 6 8 10 Km

1 / 200 000



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 distribuée a été estimée, sur des mailles de 250 m x 250 m, pour l'aquifère régional de roc fracturé seulement, avec le logiciel HELP (*Hydrological Evaluation of Landfill Performance*) en intégrant plusieurs données sur le climat, la végétation, l'occupation du territoire, ainsi que sur les propriétés des sols, des dépôts meubles et du roc.

Les zones préférentielles de recharge ont été définies selon deux types de critères : une recharge importante au-dessus de 250 mm/an et la présence d'un dôme piézométrique hors des zones captives. À l'inverse, les zones de résurgence préférentielles ont été identifiées dans les dépressions de la surface piézométrique et les zones de nappe affleurante hors des zones captives avec une recharge faible de moins de 50 mm/an. Ces dépressions correspondent souvent à la présence de cours d'eau. La carte montre aussi la nature du lien entre l'aquifère rocheux et les cours d'eau qui a été définie sur la base des conditions de confinement et de l'épaisseur de la couche argileuse.

Interprétation pour le secteur des basses-terres du St-Laurent

Globalement, avec 166 mm/an pour l'ensemble de la Chaudière-Appalaches, la recharge de l'aquifère rocheux régional peut être considérée relativement importante. Avec une recharge moyenne de 85 mm/an, la recharge est significativement plus faible dans les basses-terres que dans le reste de la région. De grandes étendues ont une recharge très faible (< 15 mm/an), correspondant généralement aux endroits avec des accumulations épaisses de sédiments fins et des conditions captives. On retrouve tout de même des zones locales de recharge associées à des affleurements du roc où les conditions sont libres. Il y a un contraste marqué entre les parties ouest et est des basses-terres, de part et d'autre de Lévis : à l'ouest, il y a peu de recharge, très peu de zones de résurgence et les liens entre l'aquifère rocheux régional et les cours d'eau sont souvent diffus ou inexistants; à l'est, on observe une grande proportion du territoire avec des valeurs de recharge modérées ou élevées et les cours d'eau sont souvent en lien direct avec l'aquifère et représentent des exutoires de l'eau souterraine.



F En général, les basses-terres reçoivent relativement beaucoup de recharge.

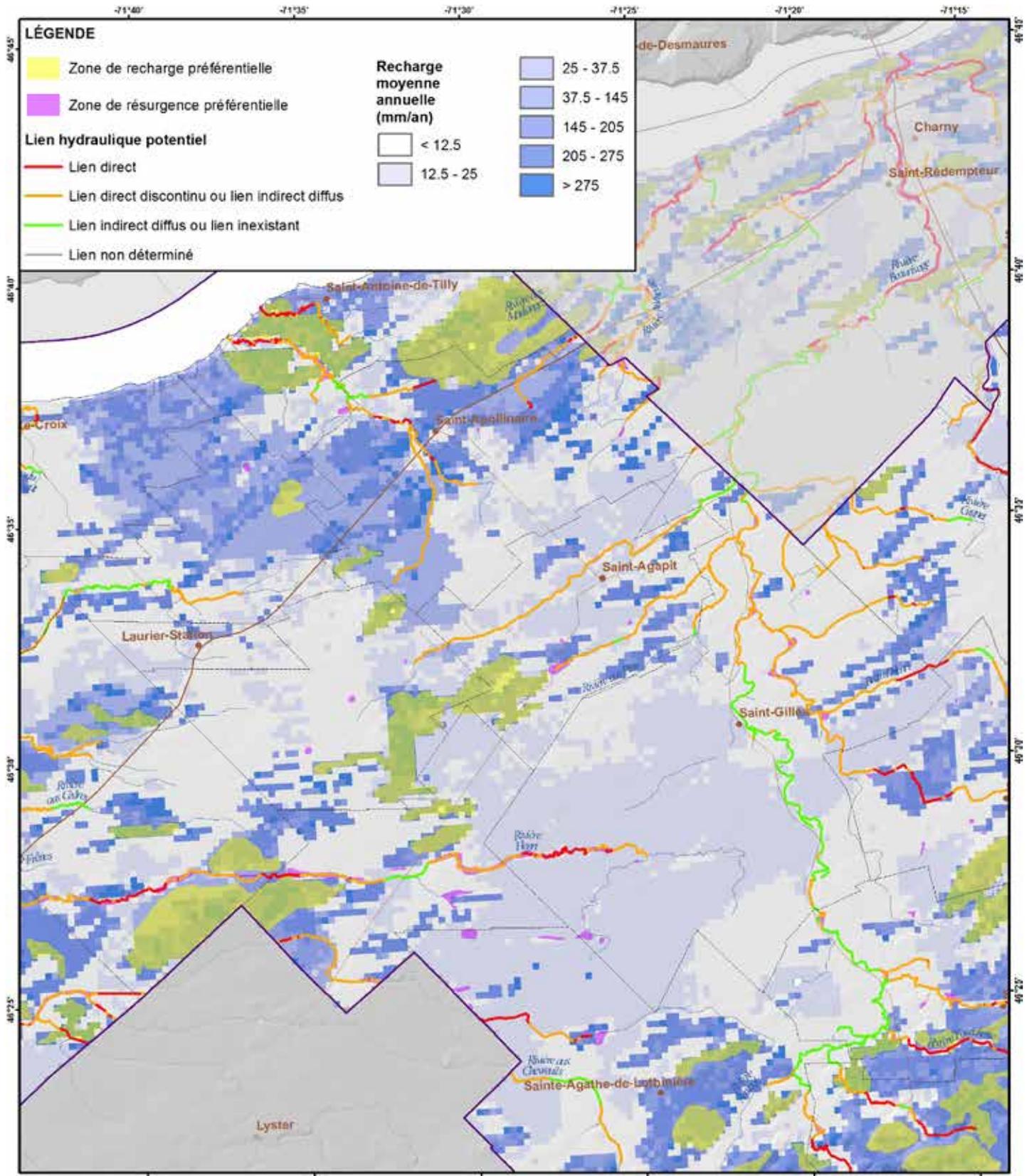
Vrai Faux

F Les zones de recharge préférentielle correspondent aux secteurs à nappe libre.

Vrai Faux

M De nombreux facteurs influencent la recharge, dont le climat, la végétation, l'occupation du territoire et les propriétés des sols, des dépôts et du roc. Outre les précipitations, quel est le facteur ayant généralement le plus d'influence?

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



LÉGENDE

- Zone de recharge préférentielle
- Zone de résurgence préférentielle

Lien hydraulique potentiel

- Lien direct
- Lien direct discontinu ou lien indirect diffus
- Lien indirect diffus ou lien inexistant
- Lien non déterminé

Recharge moyenne annuelle (mm/an)

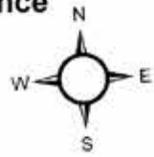
- < 12.5
- 12.5 - 25
- 25 - 37.5
- 37.5 - 145
- 145 - 205
- 205 - 275
- > 275

Zones potentielles de recharge et résurgence de l'aquifère de roc fracturé

Chaudière-Appalaches - Basses-terres



1 / 200 000



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 seulement, 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 classes de degrés de vulnérabilité ont été définies dans le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (Gouvernement du Québec, 2015b) :

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

En Chaudière-Appalaches, la vulnérabilité a été évaluée uniquement pour l'aquifère rocheux régional puisque les aquifères granulaires n'y sont pas assez étendus pour être cartographiés à l'échelle régionale.

Interprétation pour le secteur des basses-terres du St-Laurent

Les basses-terres du St-Laurent ont les plus grandes étendues (60%) de vulnérabilité relative faible ou même très faible. La vulnérabilité est particulièrement faible sur de grandes étendues à l'ouest de Lévis où il y a des sédiments fins épais. On trouve tout de même des vulnérabilités relatives élevées dans plusieurs secteurs où les conditions sont libres et la recharge importante. Dans la partie des basses-terres à l'est de Lévis, la proportion des zones à vulnérabilité faible et élevée est partagée.



- F** Le centre-ville de Laurier-Station repose sur un aquifère dont la vulnérabilité est considérée comme « faible » selon le RPEP.

Vrai Faux

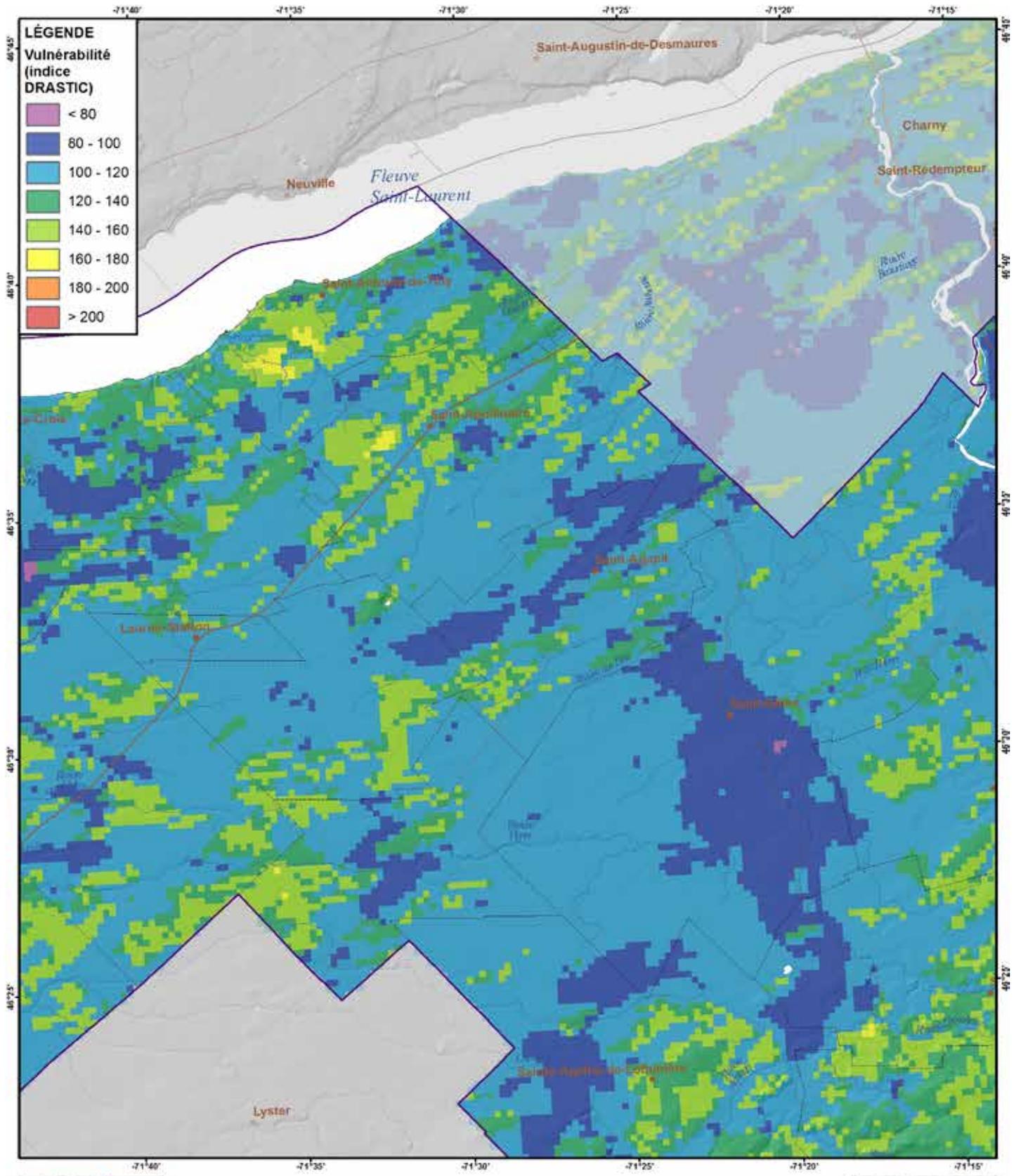
- F** Il existe peu de corrélation entre la faible vulnérabilité et le confinement des aquifères.

Vrai Faux

- F** Les zones où la vulnérabilité est plus élevée correspondent à des secteurs où les conditions de confinement sont libres et la recharge importante.

Vrai Faux

- 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?

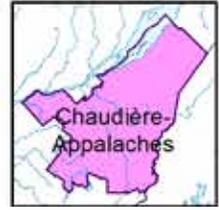
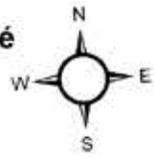
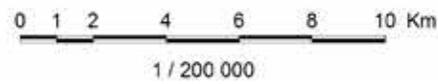


LÉGENDE
Vulnérabilité (indice DRASTIC)

	< 80
	80 - 100
	100 - 120
	120 - 140
	140 - 160
	160 - 180
	180 - 200
	> 200



Vulnérabilité de l'aquifère de roc fracturé
Chaudière-Appalaches - Basses-terres



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

Définition

La qualité de l'eau potable s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. 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

En Chaudière-Appalaches, une campagne d'échantillonnage d'eau souterraine réalisée à l'été 2013 a permis de récolter 387 échantillons provenant principalement de puits résidentiels, dont 297 puits au roc, 86 dans les dépôts meubles et 4 dans des aquifères indéterminés.

Interprétation pour l'ensemble du territoire de Chaudière-Appalaches

Les dépassements de CMA pour les six paramètres suivants ont été relevés pour l'ensemble de la zone à l'étude (pas seulement pour les basses-terres du St-Laurent) :

Paramètre	Concentration maximale acceptable (CMA)	Nombre de dépassements de la CMA	Proportion des échantillons	Norme fondée sur :
Antimoine (Sb)	0,006 mg/L	2	0,6 %	Changements microscopiques au niveau des organes et des tissus (thymus, reins, foie, rate, thyroïde)
Arsenic (As)	0,01 mg/L	12	3,4 %	Cancer (poumon, vessie, foie et peau); effets cutanés, vasculaires et neurologiques (engourdissement et picotement des extrémités)
Baryum (Ba)	1,0 mg/L	5	1,4 %	Maladies cardiovasculaires et augmentation de la pression artérielle
Fluorures (F)	1,5 mg/L	12	3,6 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Nitrites -Nitrates (NO ₂ -NO ₃)	10 mg N/L	1	0,3 %	Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu) et effets sur la fonction de la glande thyroïde chez les nourrissons alimentés au biberon; probablement cancérogène lorsqu'ingéré dans des conditions qui entraînent une nitrosation endogène
Plomb (Pb)	0,01 mg/L	2	0,6 %	Effets biochimiques et neurocomportementaux (développement intellectuel et comportement) chez les nourrissons et les jeunes enfants

Il n'y a pas de problème significatif de qualité relié aux métaux puisque seulement deux dépassements en Sb et en Pb ont été répertoriés.

Les dépassements pour l'arsenic (As) sont d'origine naturelle, sont en majorité associés aux aquifères rocheux et sont localisés dans les Appalaches.

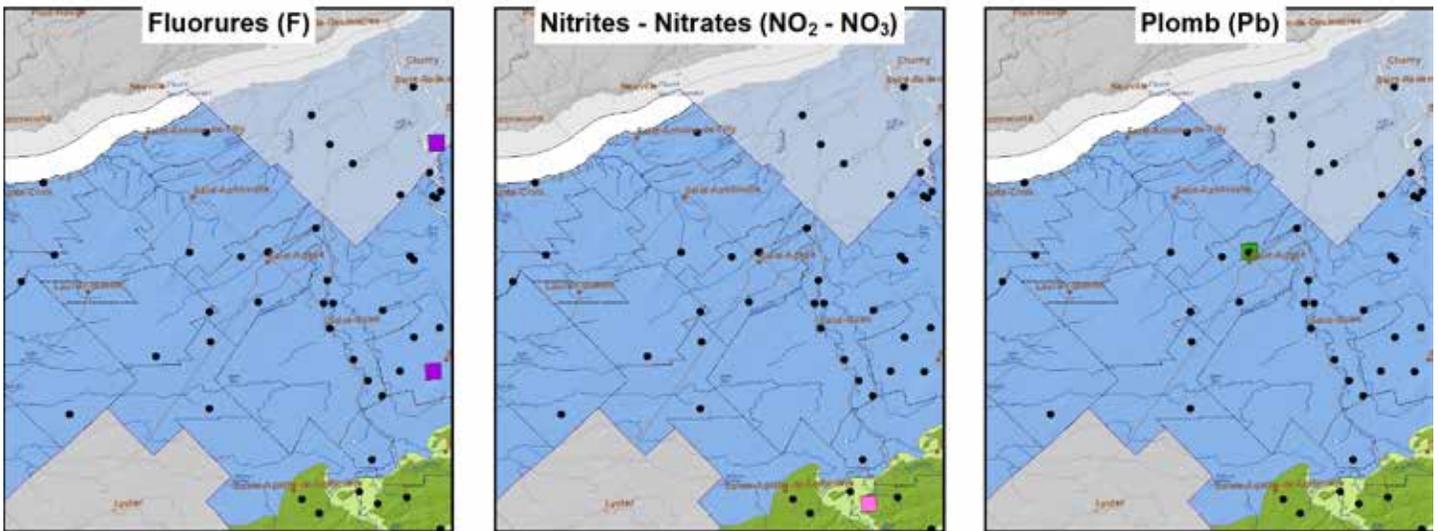
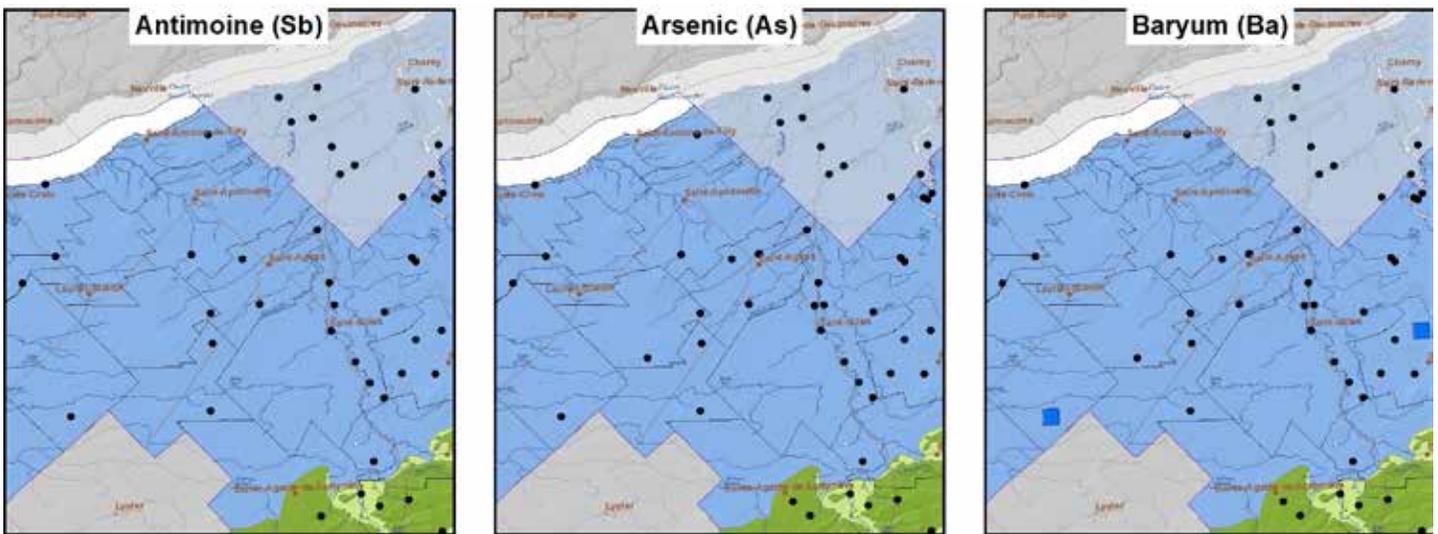
Les dépassements en fluorures (F-) et baryum (Ba) sont d'origine naturelle et sont aussi associés majoritairement aux aquifères au roc, situés sous la limite marine de la mer de Champlain, particulièrement près du fleuve Saint-Laurent.

La présence de fortes concentrations en nitrite-nitrates est généralement associée à l'agriculture, mais malgré l'importance de cette activité en Chaudière-Appalaches, un seul échantillon a présenté des concentrations excédant le critère de potabilité et les concentrations en nitrite-nitrates atteignent rarement des niveaux importants.

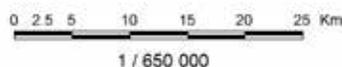
Dans les basses-terres, spécifiquement, la géochimie de l'eau souterraine montre des eaux évoluées, présentant encore par endroit une signature marine de la mer de Champlain.



- F** Globalement, la qualité régionale de l'eau souterraine dans le contexte des basses-terres présente peu de risque pour la santé humaine.
Vrai Faux
- F** Aucun dépassement en plomb n'a été observé dans les basses-terres.
Vrai Faux
- M** D'où provient la contamination en fluorures mesurée dans certains puits?
- D** Lorsqu'aucun dépassement de CMA n'est observé dans un puits échantillonné dans le cadre du PACES, est-ce que l'eau peut être consommée sans traitement (expliquez votre raisonnement)?



**Qualité de l'eau souterraine
(critères pour l'eau potable)
Chaudière-Appalaches - Basses-terres**



LÉGENDE

- Basses-terres du Saint-Laurent
- Vallées appalchiennes
- Hautes terres appalchiennes

- Concentration maximale acceptable (CMA)**
- Pas de dépassement
 - Dépassement

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

La méthode est la même que pour les critères pour l'eau potable.

Interprétation pour l'ensemble du territoire de Chaudière-Appalaches

Les dépassements d'OE pour les dix paramètres suivants ont été relevés pour l'ensemble de la zone à l'étude (pas seulement pour les basses-terres du St-Laurent) :

Paramètre	Objectif esthétique (OE)	Nombre de dépassements de l'OE	Proportion des échantillons	Recommandation fondée sur :
Aluminium (Al)	≤ 0,1 mg/L	4	1,3 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlorures (Cl)	≤ 250 mg/L	14	3,9 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté	≤ 200 CaCO ₃ mg/L	74	22,2 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	≤ 0,3 mg/L	48	13,0 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	≤ 0,05 mg/L	187	50,3 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Matière dissoute totale	≤ 500 mg/L	74	21,4 %	Goût et entartrage
Sodium (Na)	≤ 200 mg/L	21	5,8 %	Goût
Sulfures (S ²⁻)	≤ 0,05 mg/L	39	11,9 %	Goût et odeur
pH	entre 6,5 et 8,5	53	15,7 %	Influence sur la formation des sous-produits de la désinfection et l'efficacité du traitement

La moitié des puits analysés présente une trop grande concentration en manganèse (Mn).

Le pH est soit trop acide ou trop alcalin pour 15% des puits. Les pH trop élevés sont surtout associés à l'aquifère rocheux, surtout dans les eaux évoluées retrouvées en bordure du fleuve Saint-Laurent.

Les chlorures et le sodium ont quelques dépassements, surtout en bordure du fleuve.

L'eau est souvent dure contient trop de matière dissoute totale ou trop de sulfures, particulièrement en bordure du fleuve et dans le bassin de la rivière Chaudière.

Au nord-ouest de la région à l'intérieur de la zone prospective pour le gaz de shale, 59% des 74 échantillons d'eau analysés ont montré des concentrations en méthane quantifiables, dont 15% à des valeurs excédant le seuil d'alerte de 7mg/L. Le méthane n'a pas d'incidence sur la santé. Ce méthane est d'origine biogénique prédominante, c'est-à-dire qu'il a été formé en place à faible profondeur.



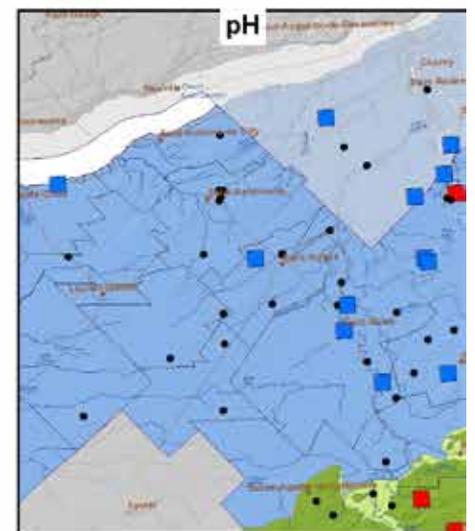
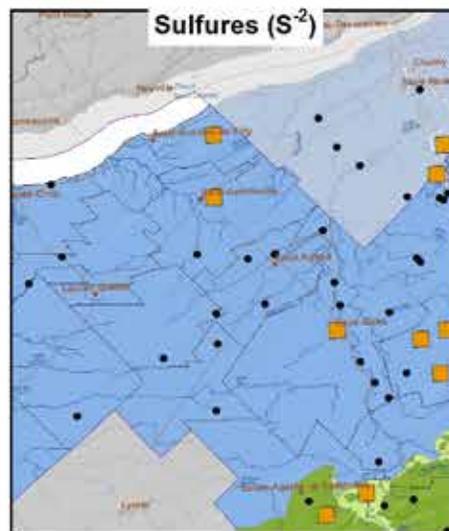
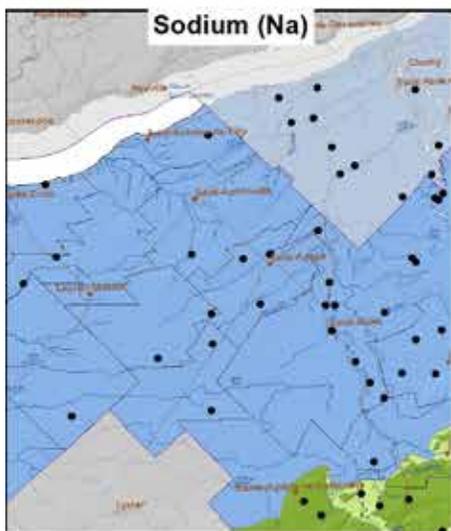
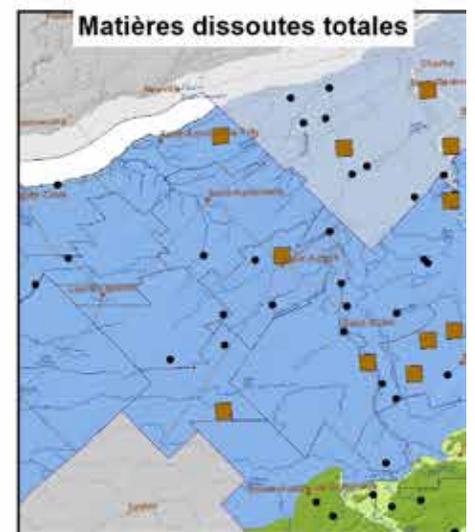
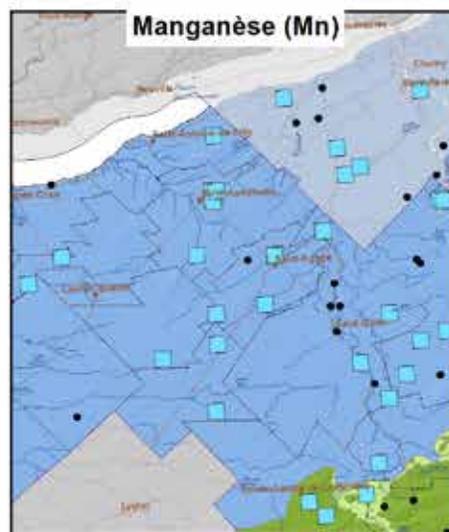
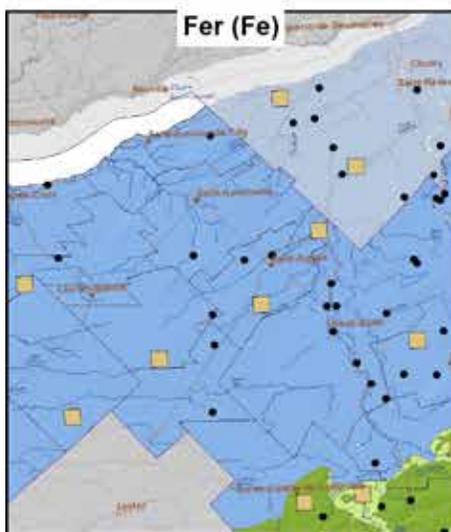
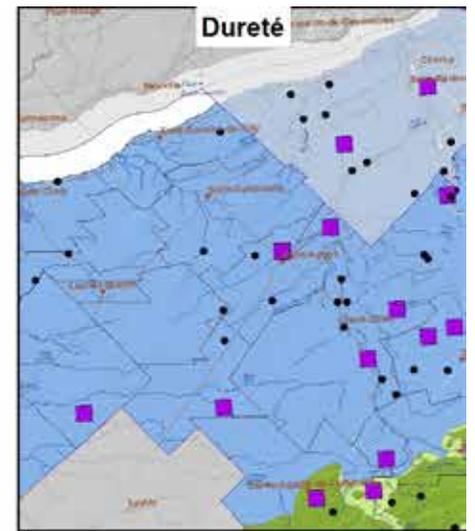
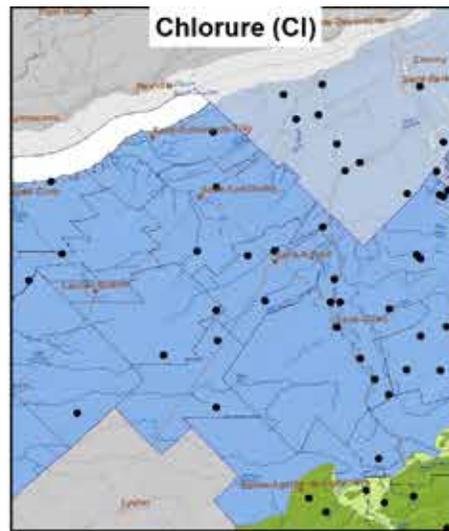
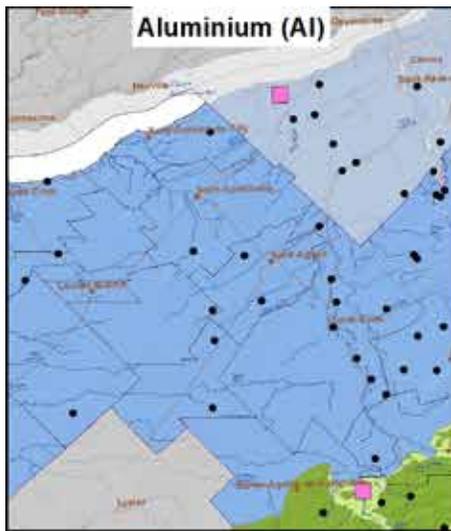
F Les dépassements en dureté, matières dissoutes totales et sulfures semblent souvent corrélés.

Vrai Faux

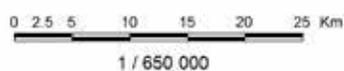
M L'eau souterraine présente rarement une odeur d'œufs pourris dans le contexte des basses-terres.

Vrai Faux

M Pourquoi les dépassements en dureté sont-ils problématiques?



**Qualité de l'eau souterraine
(critères esthétiques)
Chaudière-Appalaches - Basses-terres**



LÉGENDE

- Basses-terres du Saint-Laurent
- Vallées appalachiennes
- Hautes terres appalchiennes

- Objectif esthétique (OE)**
- Pas de dépassement
- Dépassement

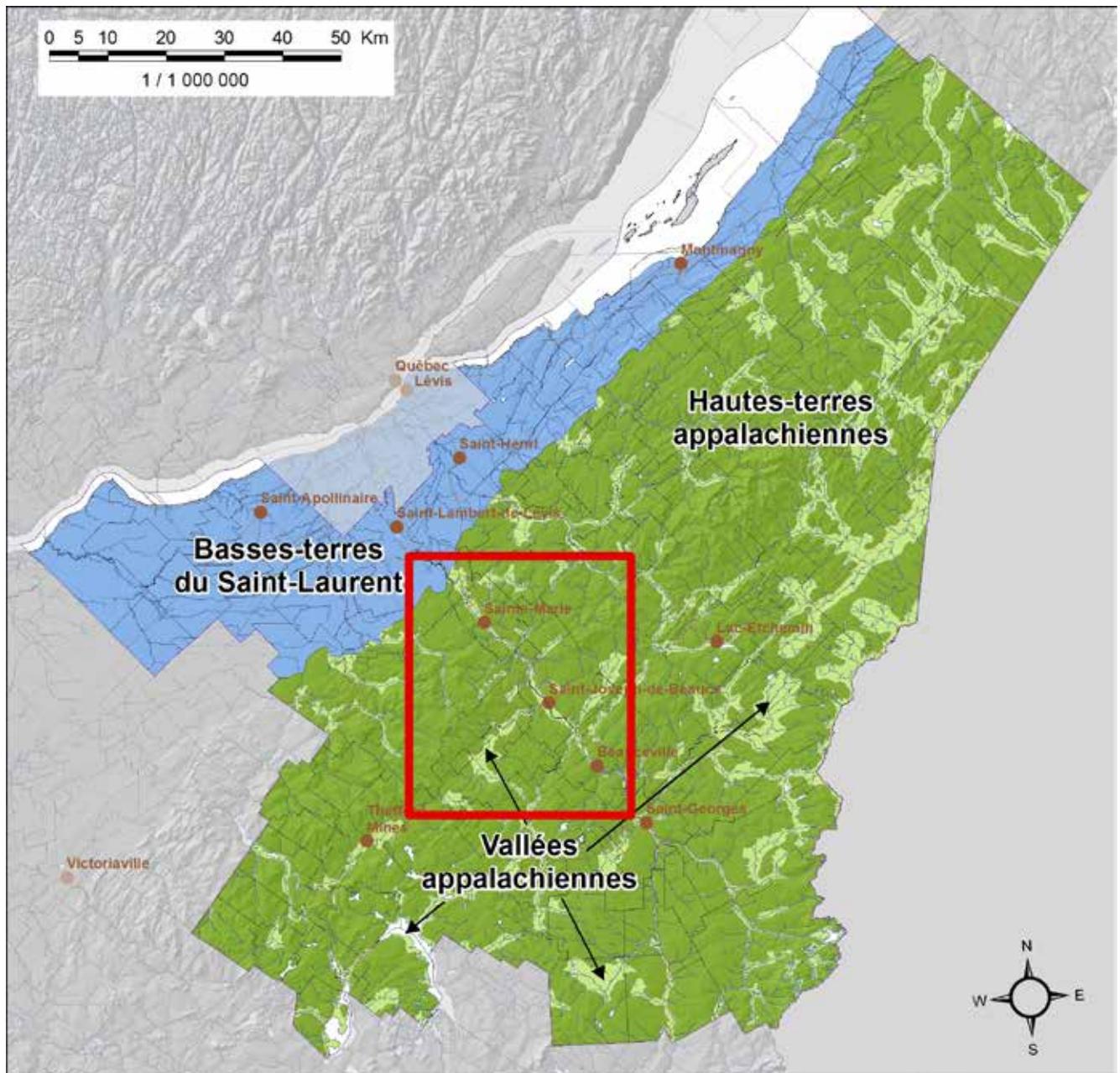
Exercice de synthèse 1 : Si demain une municipalité du contexte des basses-terres du St-Laurent devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice?

Exercice de synthèse 2 : Dans le contexte des basses-terres du St-Laurent, quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge?

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

4

Les contextes hydrogéologiques des 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 13

Méthode utilisée

Les informations sur l'épaisseur et le type de dépôts meubles proviennent majoritairement des données de forage. 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, incluant les forages, les affleurements rocheux (qui indiquent une épaisseur nulle de dépôts), les données géophysiques interprétées (ex. sismique réflexion) et, de manière indirecte, les données sur la distribution des sédiments du Quaternaire.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Dans les vallées appalachiennes, l'épaisseur moyenne des dépôts meubles est de 3 m. On y retrouve des épaisseurs pouvant excéder 15 m, particulièrement dans les vallées des rivières Chaudière et Etchemin. Les hautes-terres appalachiennes sont généralement recouvertes de faibles épaisseurs de till et l'épaisseur moyenne de dépôts meubles y est d'un peu moins de 2 m.

Des sédiments fins sont observés surtout dans la vallée de la rivière Chaudière et seulement sur des portions limitées des vallées associées à d'autres cours d'eau. On ne retrouve pas de sédiments fins sur les hautes-terres appalachiennes.

Des sédiments plus grossiers recouvrent le socle rocheux sur l'ensemble de la région d'étude, mais avec de faibles épaisseurs souvent inférieures à 2.5 m. On retrouve certaines zones avec des couches plus épaisses de ces sédiments, notamment à l'est de Saint-Damien-de-Buckland et au nord de Sainte-Perpétue. Certaines accumulations locales sont présentes sous les sédiments fins sur certains tronçons de vallées appalachiennes. De très minces couches de sédiments plus grossiers se trouvent aussi par-dessus les sédiments fins, dans certaines vallées, surtout la vallée de la rivière Chaudière.



- F** Le centre-ville de Frampton repose sur une plus grande épaisseur de dépôts meubles que le centre-ville de Tring-Jonction.

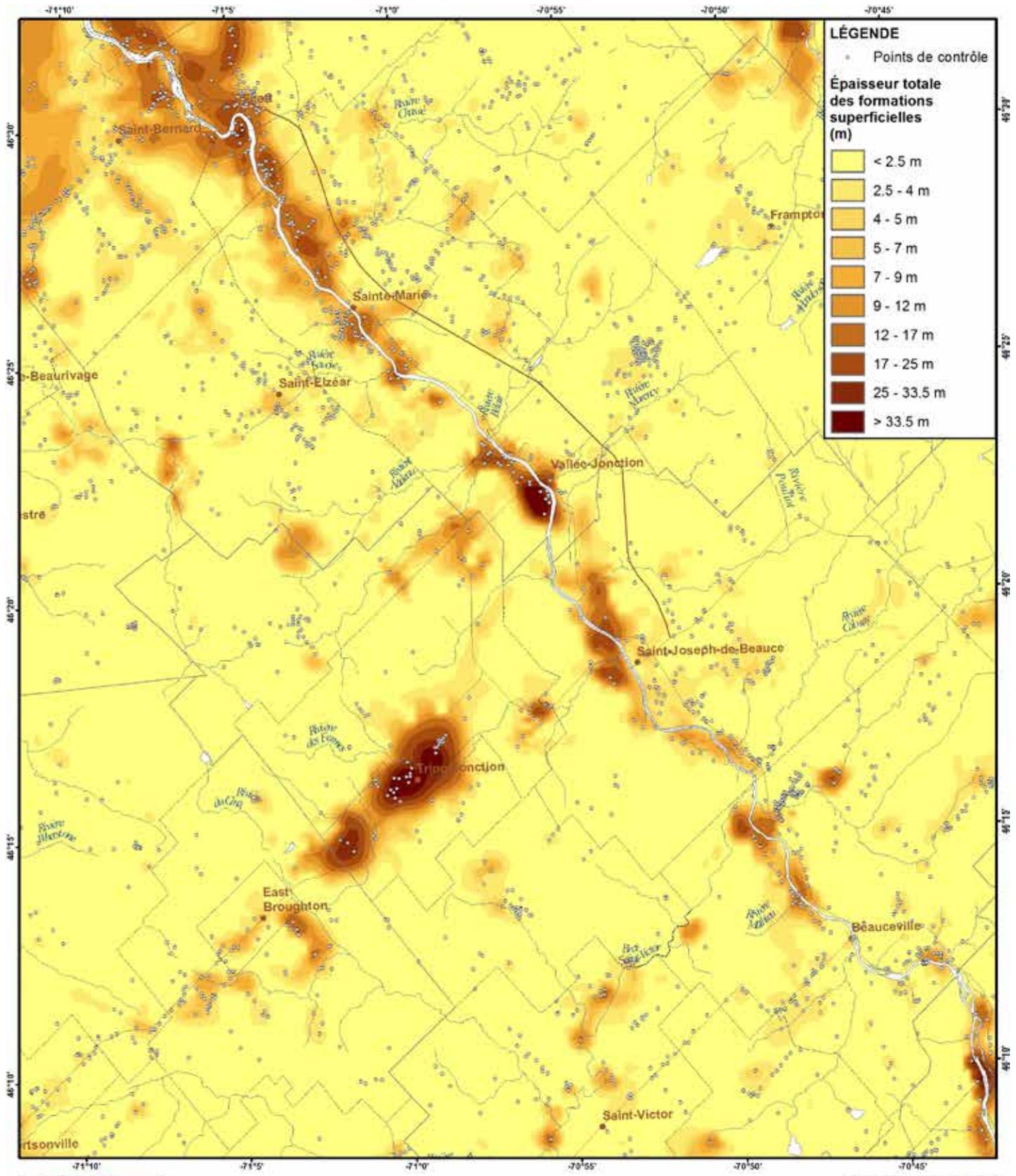
Vrai Faux

- M** Moins l'épaisseur des dépôts meubles est importante, et moins il y a de chance que l'aquifère de dépôts meubles soit productif.

Vrai Faux

- F** Quelle est l'épaisseur des dépôts meubles maximale que l'on retrouve sur la carte et où ce(s) secteur(s) se situe(nt)-il(s)?

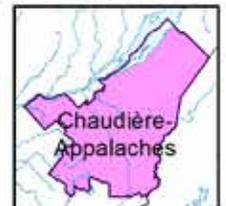
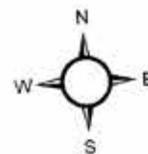
- D** Pourquoi retrouve-t-on les épaisseurs de dépôts meubles plus importantes dans les vallées?



Épaisseur des dépôts meubles
Chaudière-Appalaches - Appalaches

0 1 2 4 6 8 10 Km

1 / 200 000



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.



TYPE DE DÉPÔTS MEUBLES page 14,
ROC FRACTURÉ page 13

Méthode utilisée

Les séquences d'empilement vertical des dépôts meubles recouvrant le roc fracturé peuvent être générés sur la base des données de forages, de la géologie du Quaternaire, de la géologie du roc, des épaisseurs de sédiments et des levés géophysiques. Ces séquences de sédiments, de même que des critères géomorphologiques, distinguent les grands contextes hydrogéologiques.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Dans les vallées appalachiennes, on retrouve des séquences de sédiments semblables à celles des basses-terres, soit une séquence typique de sable mince (parfois absent) sur de l'argile reposant sur du till ou directement sur le roc. On y retrouve aussi par endroits des sédiments anciens et un roc altéré à la base des vallées. De plus, on peut y retrouver des intervalles de sédiments granulaires plus grossiers, soit en profondeur ou en bordure des vallées.

Les hautes-terres sont typiquement recouvertes d'une mince (< 5 m) couche de till relativement perméable sur le roc. On y retrouve aussi des accumulations localement plus importantes de sédiments fluvioglaciaires.



F On retrouve presque exclusivement les sédiments fins dans les vallées.

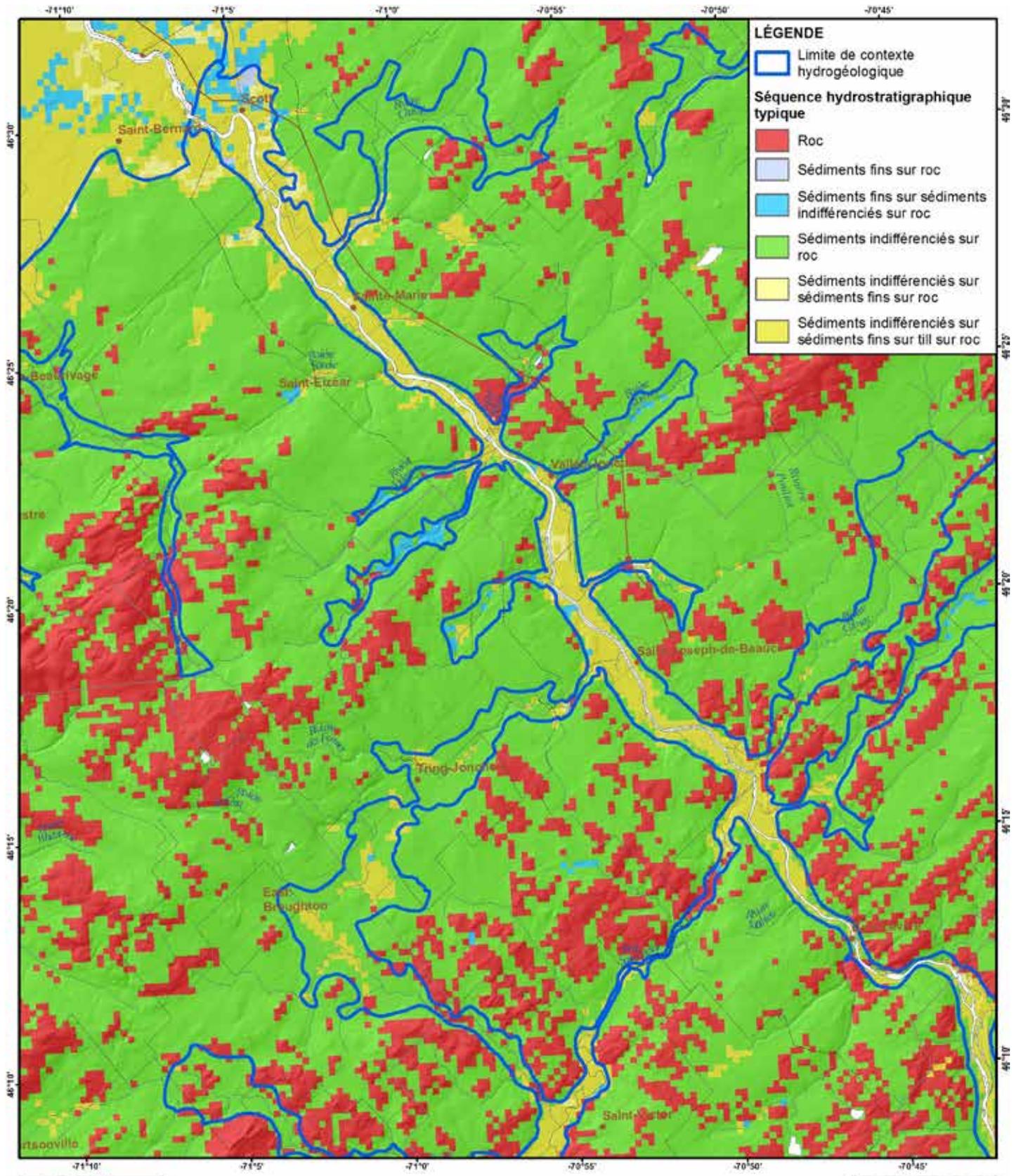
Vrai Faux

F Le contexte hydrogéologique des hautes-terres est dominé par des sédiments indifférenciés sur roc ou du roc affleurant.

Vrai Faux

D Quelle séquence verticale complète de dépôts meubles peut-on reconstituer à partir de cette carte?

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?



LÉGENDE

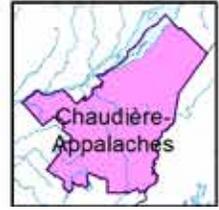
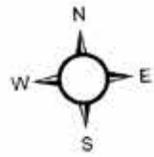
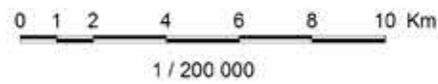
- Limite de contexte hydrogéologique

Séquence hydrostratigraphique typique

- Roc
- Sédiments fins sur roc
- Sédiments fins sur sédiments indifférenciés sur roc
- Sédiments indifférenciés sur roc
- Sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur roc
- Sédiments indifférenciés sur sédiments fins sur till sur roc



Contextes hydrogéologiques
Chaudière-Appalaches - Appalaches



Coupes stratigraphiques

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. Les coupes permettent de déduire les conditions hydrogéologiques régionales qui prévalent dans la région d'étude.

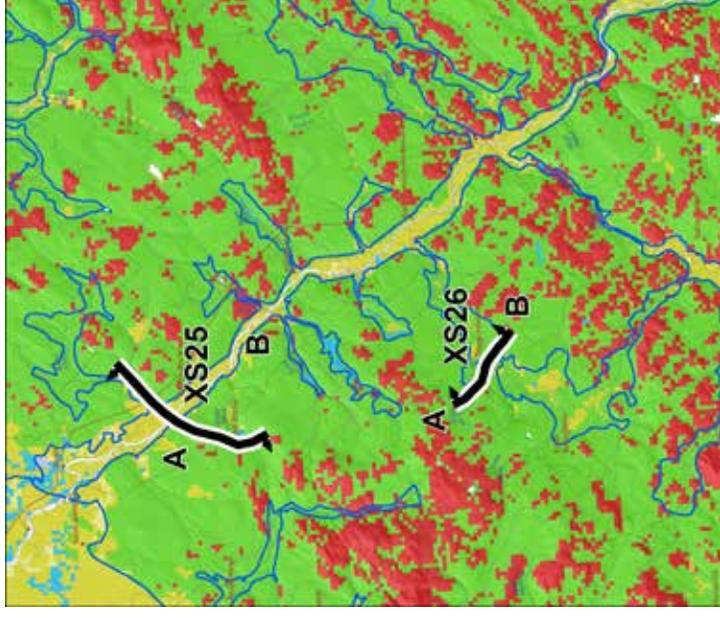
Méthode utilisée

En Chaudière-Appalaches, une dizaine de coupes stratigraphiques simplifiées ont été préparées afin d'illustrer l'architecture des dépôts dans des contextes typiques. Ces coupes ont été élaborées à partir des données de forages colligées et validées dans le cadre du projet, mais également à partir de la géologie du Quaternaire, des données sur les affleurements et des données géophysiques interprétées (sismique réflexion).

Interprétation des coupes XS25 et XS26

À Sainte-Marie, la coupe XS25 recoupe la rivière Chaudière et son delta marin à la limite du piémont. La topographie du roc est variable et l'épaisseur des dépôts meubles est généralement faible (moins d'un mètre), à l'exception de quelques fosses très locales. Dans ces zones, un peu plus de 20 m de matériel est présent dans la dépression rocheuse la plus profonde. Des sédiments sablo-graveleux sont superposés à une séquence deltaïque marine silteuse de faible épaisseur. Une unité sableuse discontinue est présente à la base de la séquence et est coiffée d'un diamicton (till) d'épaisseur variable. Les vallées situées de part et d'autre de la rivière Chaudière, plus hautes en élévation, sont parfois comblées par des sables et des silts d'origine glaciolacustre pouvant faire quelques mètres d'épaisseur, ou parfois simplement par du till.

La coupe XS26 illustre bien le contexte de vallées appalachiennes. Dans la vallée très large de la Chaudière à la hauteur de Tring-Jonction, les dépôts fluvioglaciaires sont omniprésents. On en retrouve plus de 20 m d'épaisseur par endroits. Les sédiments lacustres retrouvés à proximité sont plutôt hétérogènes, comme le suggèrent les faciès silteux, silto-sableux et sablo-graveleux tous observés en forage.



F La séquence de till sur roc domine sur les sommets et les flancs des collines.

Vrai Faux

F Des sédiments fins se retrouvent dans toutes les vallées.

Vrai Faux

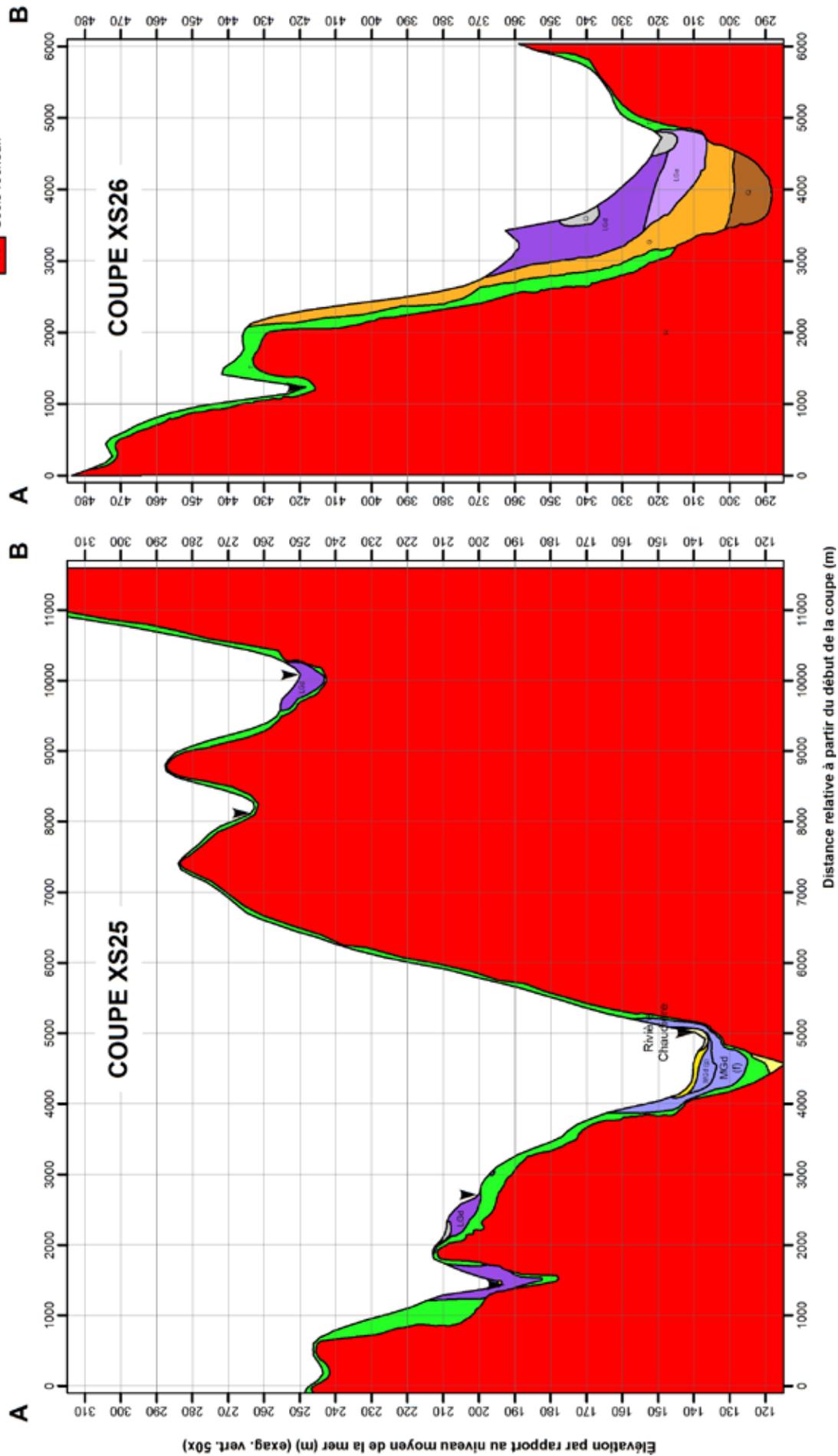
F Parmi ces deux coupes, quel est l'aquifère au plus grand potentiel d'exploitation, quelle est son épaisseur approximative et où le retrouve-t-on sur la coupe?

D Pourquoi les sédiments marins se retrouvent-ils seulement dans la vallée de la rivière Chaudière sur ces coupes?

LÉGENDE

SÉDIMENTS ALLUVIAUX	SÉDIMENTS GLACIOLACUSTRES	SÉDIMENTS GLACIOMARINS	SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES	AUTRES
Ap Alluvions actuelles	LGd Sédiments deltaïques et prodeltaïques*	MGd Sédiments deltaïques*	G Sédiments proglaciaires et fluvio-glaciaires	Ed Sédiments éoliens
Al Alluvions des terrasses fluviales	LGb Sédiments littoraux*	MGb Sédiments littoraux*	O Sédiments organiques	Q Formations quaternaires anciennes
	LGa Sédiments fins d'eau profonde	MGa Sédiments fins d'eau profonde	T Till non différencié	S1 Sable non différencié
				StGt Sable et gravier non différencié
				R Socle rocheux

* Pour certaines unités, des faciès fins (f) ou grossiers (g) ont été différenciés. S'il y a lieu, l'étiquette 9f) ou (g) est visible directement sur la coupe.



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

En Chaudière-Appalaches, les conditions de confinement ont été définies à partir des épaisseurs de sédiments fins estimées pour l'aquifère rocheux régional. Trois catégories de conditions semi-captives distinguent les différentes séquences de sédiments reliées à ce type de condition.

- **Nappe captive** : plus de 5 m de sédiments argileux
- **Nappe semi-captive** : entre 1 et 5 m de sédiments argileux ou plus de 3 m de sédiments indifférenciés
- **Nappe libre** : moins de 1 m de sédiments argileux et moins de 3 m de sédiments indifférenciés.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Ce sont les conditions libres qui prévalent sur la très grande majorité de la région d'étude (11 982 km² ; 76.1%). En dehors des basses-terres du St-Laurent, on retrouve des conditions libres sur pratiquement tout le territoire, excepté dans les vallées appalachiennes.

On retrouve des conditions de nappes semi-captives, particulièrement à l'intérieur des vallées appalachiennes, pour une étendue totale de 3158 km² (20.1%) de la région.

Des zones très restreintes en conditions captives se retrouvent aussi très localement dans certaines vallées appalachiennes, particulièrement celle de la rivière Chaudière.



F Le contexte hydrogéologique des hautes-terres est dominé par des conditions à nappe libre.

Vrai Faux

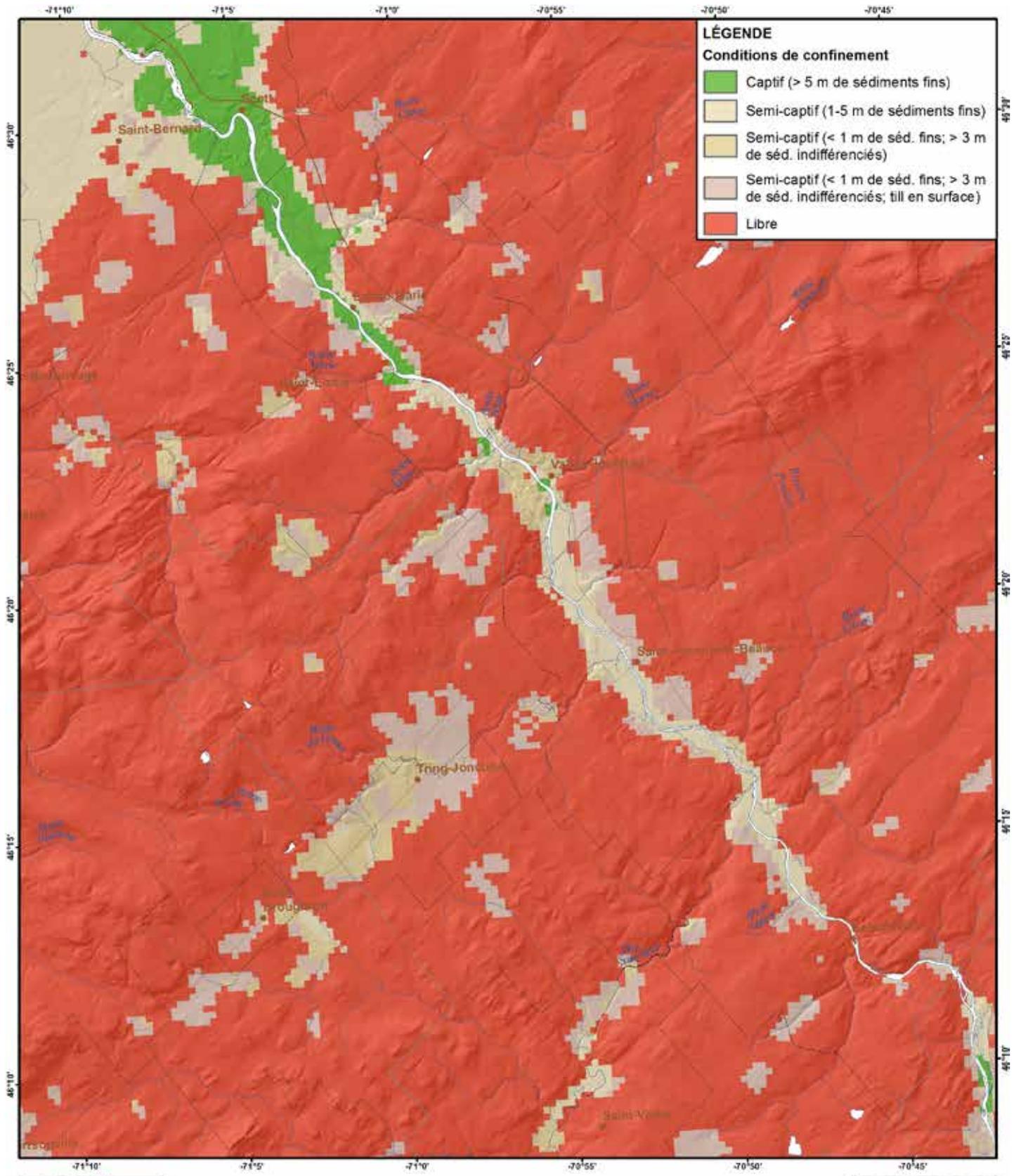
F La vallée de la rivière Chaudière est généralement très bien protégée de la contamination provenant directement de la surface.

Vrai Faux

M Une nappe captive est alimentée par l'eau des précipitations.

Vrai Faux

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



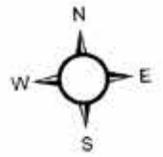
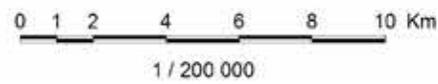
LÉGENDE

Conditions de confinement

- Captif (> 5 m de sédiments fins)
- Semi-captif (1-5 m de sédiments fins)
- Semi-captif (< 1 m de séd. fins; > 3 m de séd. indifférenciés)
- Semi-captif (< 1 m de séd. fins; > 3 m de séd. indifférenciés; till en surface)
- Libre



Conditions de confinement
Chaudière-Appalaches - Appalaches



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

Une carte piézométrique a été produite pour l'aquifère régional de roc fracturé seulement à partir des données de niveaux d'eau mesurés dans les puits installés dans le roc. L'interpolation des niveaux d'eau entre ces puits a été réalisée, sur des mailles de 250 m x 250 m, en tenant compte des conditions distinctes rencontrées dans la Plate-forme du Saint-Laurent par rapport à celles des Appalaches.

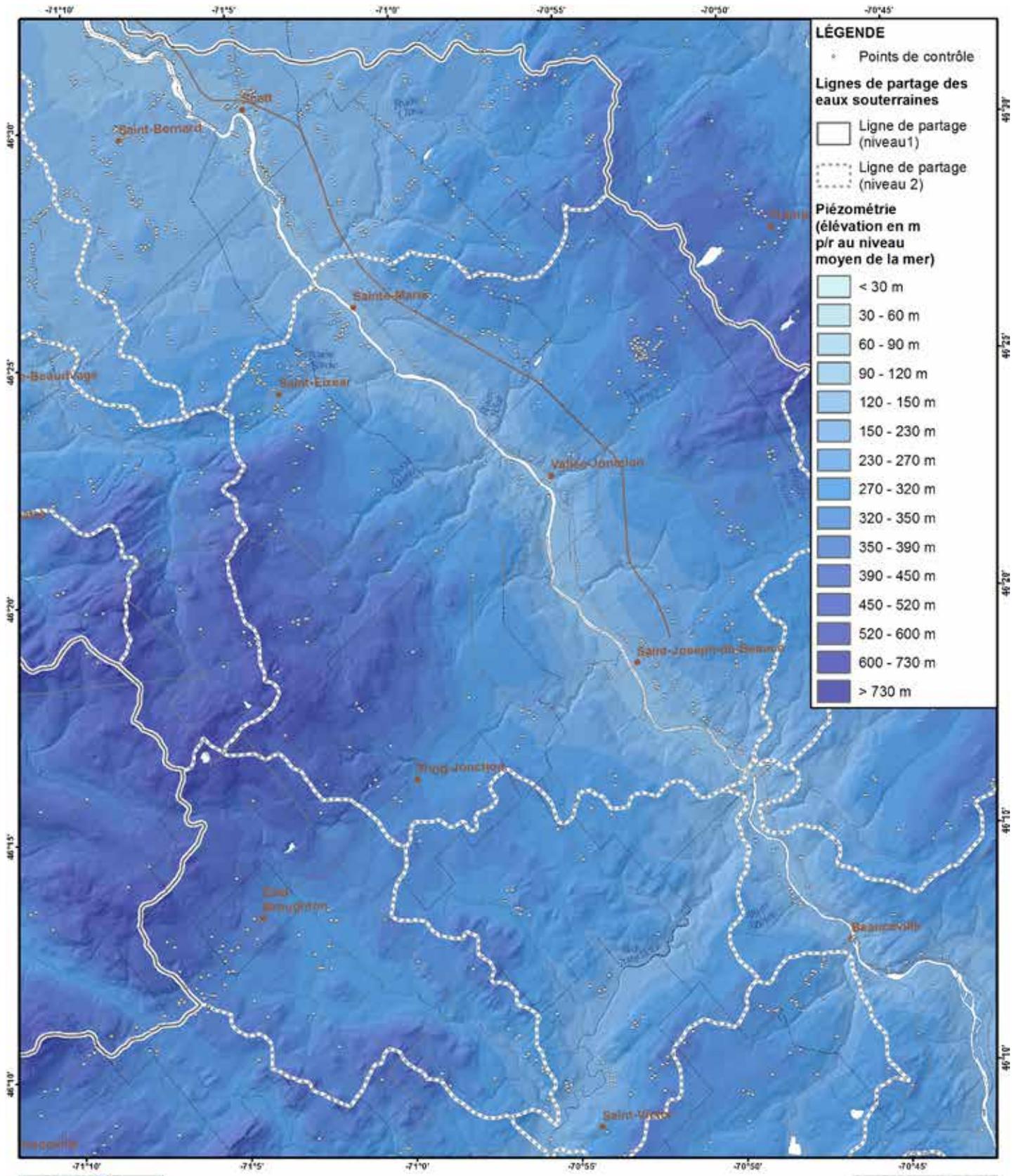
En Chaudière-Appalaches, les aquifères granulaires ont une extension limitée et ne sont pas d'envergure régionale. Il n'a donc pas été possible de produire une carte piézométrique pour les aquifères granulaires.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Dans les Appalaches, les fortes variations de la topographie donnent des niveaux d'eau beaucoup plus élevés et variables que dans les basses-terres. L'élévation topographique maximale se trouve au centre des Appalaches et cela crée une grande ligne de partage des eaux souterraines orientée du sud-ouest au nord-est. Du côté nord de la ligne de partage, l'eau souterraine s'écoule généralement vers le nord, tandis que du côté sud l'écoulement se fait vers le sud. Plusieurs vallées orientées perpendiculairement à la topographie créent toutefois des directions d'écoulement opposées à l'écoulement régional. L'écoulement est convergent vers les vallées appalachiennes, quelle que soit leur orientation. De plus, l'orientation de l'écoulement n'est pas régulière parce que la topographie des Appalaches est très morcelée par un dense réseau de cours d'eau qui sont des exutoires de l'eau souterraine qui a circulé dans l'aquifère rocheux régional. L'écoulement de l'eau souterraine dans les Appalaches doit ainsi être rapide et les voies d'écoulement généralement assez courtes. Il en découle que le temps de résidence de l'eau souterraine devrait être généralement court, ce qui est confirmé par la géochimie de l'eau souterraine.



- F** La municipalité de Ste-Joseph-de-Beauce reçoit une bonne part de son eau souterraine depuis la municipalité de Vallée-Jonction.
Vrai Faux
- M** On peut s'attendre à un écoulement plus rapide de l'eau souterraine sur les flancs des collines, où l'on retrouve des pentes relativement abruptes de la surface piézométrique.
Vrai Faux
- F** Quelle est la variation maximale du niveau piézométrique observé sur ce secteur d'étude?
- F** Quel phénomène observe-t-on lorsque le niveau piézométrique est supérieur au niveau du sol?
- M** Pour une municipalité s'approvisionnant en eau souterraine, pourquoi est-ce important de déterminer le sens d'écoulement de l'eau souterraine?



LÉGENDE

- Points de contrôle

Lignes de partage des eaux souterraines

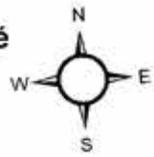
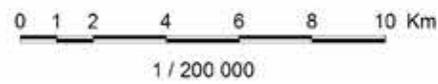
- Ligne de partage (niveau 1)
- - - Ligne de partage (niveau 2)

Piezométrie (élévation en m p/r au niveau moyen de la mer)

< 30 m
30 - 60 m
60 - 90 m
90 - 120 m
120 - 150 m
150 - 230 m
230 - 270 m
270 - 320 m
320 - 350 m
350 - 390 m
390 - 450 m
450 - 520 m
520 - 600 m
600 - 730 m
> 730 m



**Piezométrie de l'aquifère de roc fracturé
Chaudière-Appalaches - 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 distribuée a été estimée, sur des mailles de 250 m x 250 m, pour l'aquifère régional de roc fracturé seulement, avec le logiciel HELP (*Hydrological Evaluation of Landfill Performance*) en intégrant plusieurs données sur le climat, la végétation, l'occupation du territoire, ainsi que sur les propriétés des sols, des dépôts meubles et du roc.

Les zones préférentielles de recharge ont été définies selon deux types de critères : une recharge importante au-dessus de 250 mm/an et la présence d'un dôme piézométrique hors des zones captives. À l'inverse, les zones de résurgence préférentielles ont été identifiées dans les dépressions de la surface piézométrique et les zones de nappe affleurante hors des zones captives avec une recharge faible de moins de 50 mm/an. Ces dépressions correspondent souvent à la présence de cours d'eau. La carte montre aussi la nature du lien entre l'aquifère rocheux et les cours d'eau qui a été définie sur la base des conditions de confinement et de l'épaisseur de la couche argileuse.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Globalement, avec 166 mm/an pour l'ensemble de la Chaudière-Appalaches, la recharge de l'aquifère rocheux régional peut être considérée relativement importante. À l'intérieur des Appalaches, on retrouve des valeurs de recharge importantes, allant de 100 à plus de 300 mm/an. Ces fortes recharges sont favorisées par de faibles épaisseurs de sédiments assez perméables sur le roc et des conditions libres. La recharge n'est que légèrement plus faible dans les hautes-terres par rapport aux vallées appalachiennes.

La recharge moyenne est de 192 mm/an dans les vallées appalachiennes. Par contre, dans les vallées où il y a des accumulations importantes de sédiments, généralement fins, et des conditions semi-captives, la recharge peut être très faible (<15 mm/an). Les vallées appalachiennes représentent toutefois d'importantes zones de résurgence, même si parfois le lien entre les cours d'eau et l'aquifère rocheux est diffus.

La recharge moyenne est de 186 mm/an dans les hautes-terres appalachiennes. On y retrouve de nombreuses zones de recharge préférentielle, favorisées par de faibles épaisseurs de sédiments assez perméables sur le roc et des conditions libres. Les valeurs maximales de recharge ne se retrouvent généralement pas sur les sommets, mais à leurs bordures où la topographie est plus plane, ce qui est causé par les pentes fortes qui mènent à un ruissellement important.



F L'aquifère sous le centre-ville de St-Elzéar reçoit moins de recharge que celui sous le centre-ville de Ste-Marie.

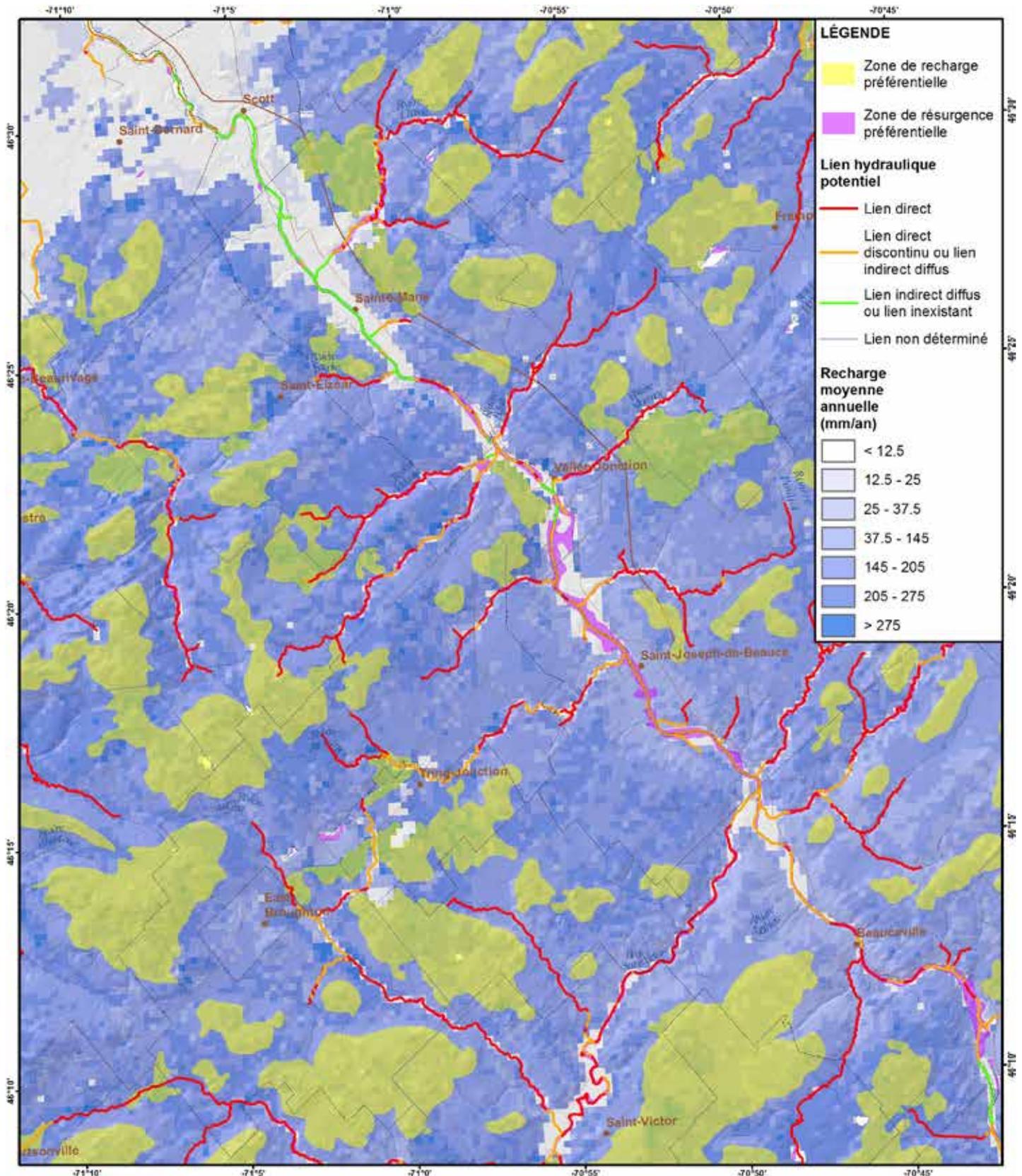
Vrai Faux

F Les zones de résurgence préférentielle sont souvent associées aux cours d'eau.

Vrai Faux

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

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

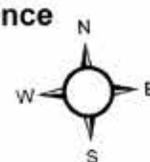


Zones potentielles de recharge et résurgence de l'aquifère de roc fracturé

Chaudière-Appalaches - Appalaches

0 1 2 4 6 8 10 Km

1 / 200 000



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 seulement, 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 classes de degrés de vulnérabilité ont été définies dans le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (Gouvernement du Québec, 2015b) :

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

En Chaudière-Appalaches, la vulnérabilité a été évaluée uniquement pour l'aquifère rocheux régional puisque les aquifères granulaires n'y sont pas assez étendus pour être cartographiés à l'échelle régionale.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

C'est dans les vallées appalachiennes qu'on trouve proportionnellement le plus de zones à vulnérabilité plus élevées. Les plus fortes vulnérabilités dans les vallées se retrouvent toutefois dans les parties des MRC de l'Islet, Montmagny, Bellechasse et des Etchemins où la densité de population est moindre qu'ailleurs en Chaudière-Appalaches. La vulnérabilité dans les vallées est plutôt moyenne, ou même faible, là où on retrouve de plus grandes épaisseurs de sédiments fins et des conditions semi-captives. Toutefois, la vulnérabilité est souvent élevée en bordure des vallées où se trouvent souvent des activités anthropiques assez intenses ainsi que de l'agriculture.

Dans les hautes-terres appalachiennes, on retrouve en majorité des zones à vulnérabilité moyenne. Les hauts topographiques les plus importants n'ont toutefois que des vulnérabilités faibles parce que les pentes y sont fortes, la recharge modérée et la profondeur à la nappe plus importante. Les plus fortes vulnérabilités des hautes-terres sont présentes en marge des plus hauts sommets, dans les secteurs de plateaux ou en bordure des vallées, où se trouvent aussi parfois d'intenses activités anthropiques.



F Dans les hautes-terres, on retrouve en majorité des zones à vulnérabilité « moyenne » selon le RPEP.

Vrai Faux

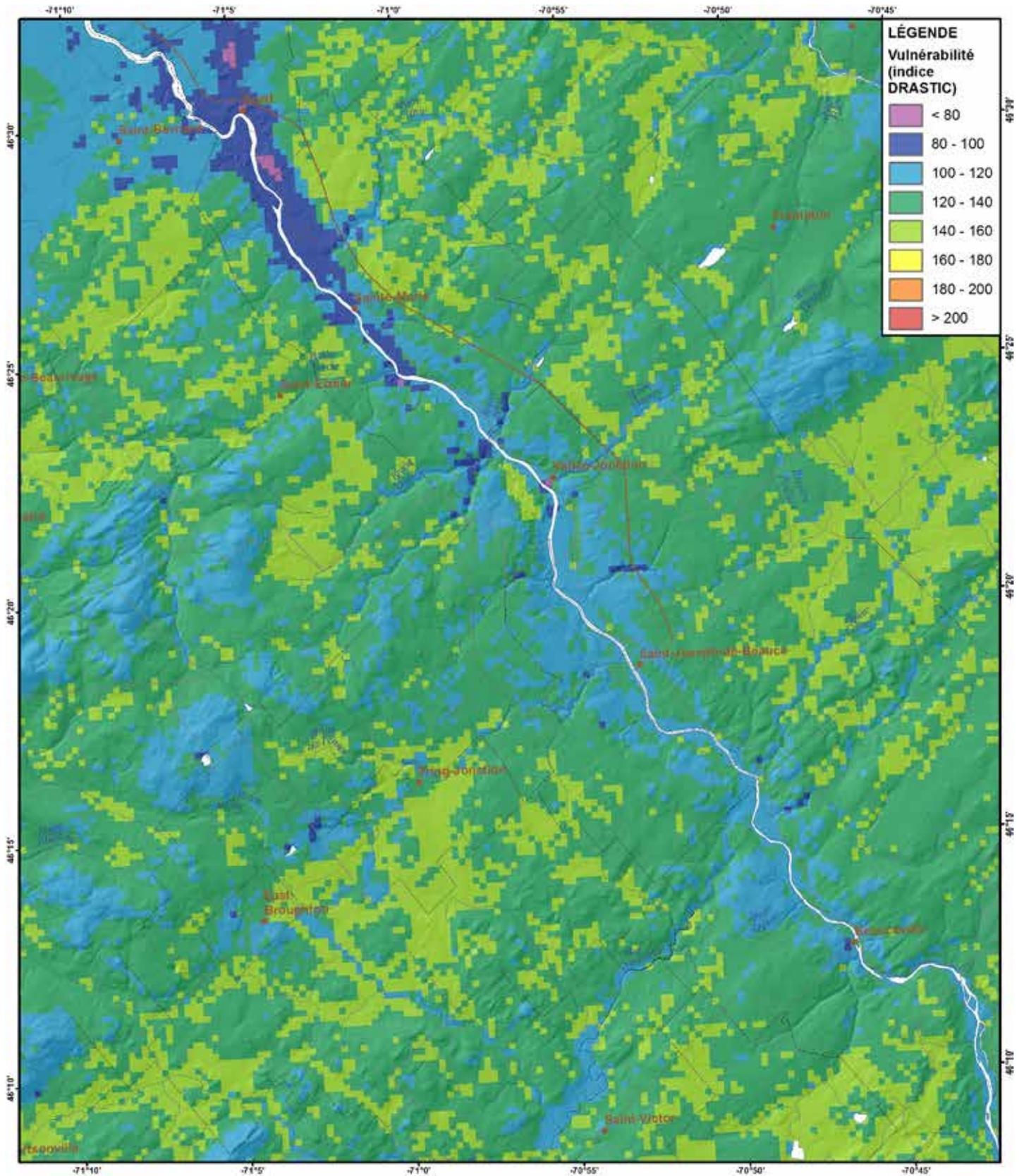
F Les dépôts meubles grossiers présents dans les vallées sont responsables des indices DRASTIC relativement faibles.

Vrai Faux

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

Vrai Faux

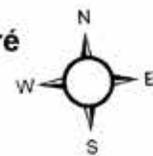
M Pourquoi les aquifères situés sur les sommets topographiques des hautes-terres sont-ils moins vulnérables qu'à la base des sommets?



Vulnérabilité de l'aquifère de roc fracturé
Chaudière-Appalaches - Appalaches

0 1 2 4 6 8 10 Km

1 / 200 000



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

Définition

La qualité de l'eau potable s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. 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

En Chaudière-Appalaches, une campagne d'échantillonnage d'eau souterraine réalisée à l'été 2013 a permis de récolter 387 échantillons provenant principalement de puits résidentiels, dont 297 puits au roc, 86 dans les dépôts meubles et 4 dans des aquifères indéterminés.

Interprétation pour l'ensemble du territoire de Chaudière-Appalaches

Les dépassements de CMA pour les six paramètres suivants ont été relevés pour l'ensemble de la zone à l'étude (pas seulement pour les Appalaches) :

Paramètre	Concentration maximale acceptable (CMA)	Nombre de dépassements de la CMA	Proportion des échantillons	Norme fondée sur :
Antimoine (Sb)	0,006 mg/L	2	0,6 %	Changements microscopiques au niveau des organes et des tissus (thymus, reins, foie, rate, thyroïde)
Arsenic (As)	0,01 mg/L	12	3,4 %	Cancer (poumon, vessie, foie et peau); effets cutanés, vasculaires et neurologiques (engourdissement et picotement des extrémités)
Baryum (Ba)	1,0 mg/L	5	1,4 %	Maladies cardiovasculaires et augmentation de la pression artérielle
Fluorures (F)	1,5 mg/L	12	3,6 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Nitrites -Nitrates (NO ₂ -NO ₃)	10 mg N/L	1	0,3 %	Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu) et effets sur la fonction de la glande thyroïde chez les nourrissons alimentés au biberon; probablement cancérogène lorsqu'ingéré dans des conditions qui entraînent une nitrosation endogène
Plomb (Pb)	0,01 mg/L	2	0,6 %	Effets biochimiques et neurocomportementaux (développement intellectuel et comportement) chez les nourrissons et les jeunes enfants

Il n'y a pas de problème significatif de qualité relié aux métaux puisque seulement deux dépassements en Sb et en Pb ont été répertoriés.

Les dépassements pour l'arsenic (As) sont d'origine naturelle, sont en majorité associés aux aquifères rocheux et sont localisés dans les Appalaches.

Les dépassements en fluorures (F-) et baryum (Ba) sont d'origine naturelle et sont aussi associés majoritairement aux aquifères au roc, situés sous la limite marine de la mer de Champlain, particulièrement près du fleuve Saint-Laurent.

La présence de fortes concentrations en nitrite-nitrates est généralement associée à l'agriculture, mais malgré l'importance de cette activité en Chaudière-Appalaches, un seul échantillon a présenté des concentrations excédant le critère de potabilité et les concentrations en nitrite-nitrates atteignent rarement des niveaux importants.

Dans les vallées appalachiennes, spécifiquement, la géochimie de l'eau souterraine montre des eaux affectées par les activités anthropiques, principalement dans la vallée de la rivière Chaudière et celles de ses principaux affluents.

Dans les hautes-terres appalachiennes, spécifiquement, la géochimie de l'eau souterraine montre des eaux jeunes de recharge de qualité acceptable à passable.



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

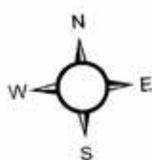
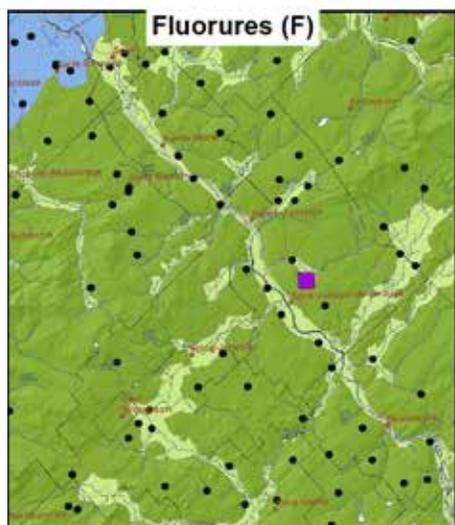
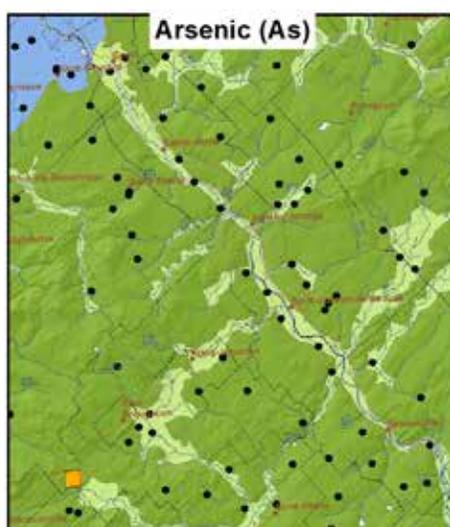
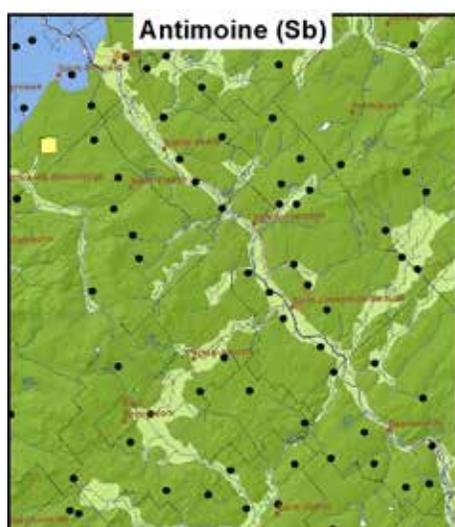
Vrai Faux

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

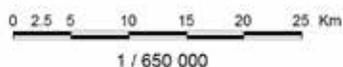
Vrai Faux

M Pourquoi les dépassements en arsenic sont-ils problématiques?

D Pour les puits d'alimentation où aucun problème lié à la qualité 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 pour l'eau potable)
Chaudière-Appalaches - Appalaches**



LÉGENDE

- Basses-terres du Saint-Laurent
- Vallées appalachiennes
- Hautes terres appalchiennes

- Concentration maximale acceptable (CMA)**
- Pas de dépassement
 - Dépassement

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

La méthode est la même que pour les critères pour l'eau potable.

Interprétation pour l'ensemble du territoire de Chaudière-Appalaches

Les dépassements d'OE pour les dix paramètres suivants ont été relevés pour l'ensemble de la zone à l'étude (pas seulement pour les Appalaches) :

Paramètre	Objectif esthétique (OE)	Nombre de dépassements de l'OE	Proportion des échantillons	Recommandation fondée sur :
Aluminium (Al)	≤ 0,1 mg/L	4	1,3 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlorures (Cl)	≤ 250 mg/L	14	3,9 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté	≤ 200 CaCO ₃ mg/L	74	22,2 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	≤ 0,3 mg/L	48	13,0 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	≤ 0,05 mg/L	187	50,3 %	Goût et taches sur la lessive et les accessoires de plomberie
Matière dissoute totale	≤ 500 mg/L	74	21,4 %	Goût et entartrage
Sodium (Na)	≤ 200 mg/L	21	5,8 %	Goût
Sulfures (S ²⁻)	≤ 0,05 mg/L	39	11,9 %	Goût et odeur
pH	entre 6,5 et 8,5	53	15,7 %	Influence sur la formation des sous-produits de la désinfection et l'efficacité du traitement

La moitié des puits analysés présente une trop grande concentration en manganèse (Mn).

Le pH est soit trop acide ou trop alcalin pour 15% des puits. Les pH trop élevés sont surtout associés à l'aquifère rocheux, surtout dans les eaux évoluées retrouvées en bordure du fleuve Saint-Laurent.

Les chlorures et le sodium ont quelques dépassements, surtout en bordure du fleuve.

L'eau est souvent dure contient trop de matière dissoute totale ou trop de sulfures, particulièrement en bordure du fleuve et dans le bassin de la rivière Chaudière.

Au nord-ouest de la région à l'intérieur de la zone prospective pour le gaz de shale, 59% des 74 échantillons d'eau analysés ont montré des concentrations en méthane quantifiables, dont 15% à des valeurs excédant le seuil d'alerte de 7mg/L. Le méthane n'a pas d'incidence sur la santé. Ce méthane est d'origine biogénique prédominante, c'est-à-dire qu'il a été formé en place à faible profondeur.



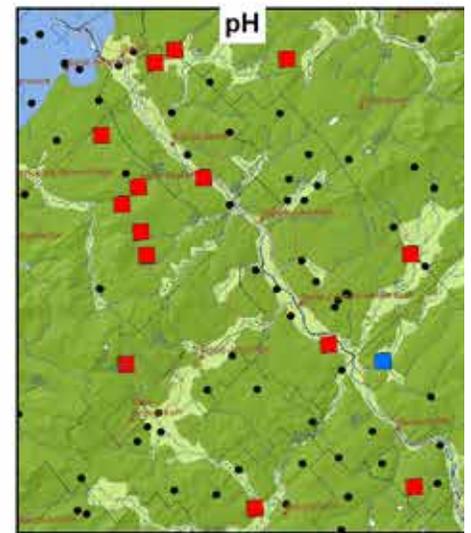
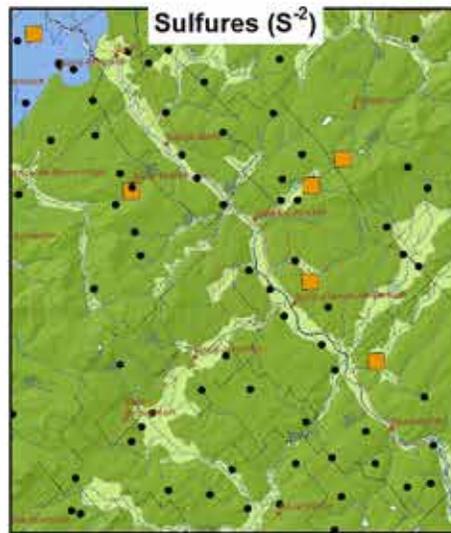
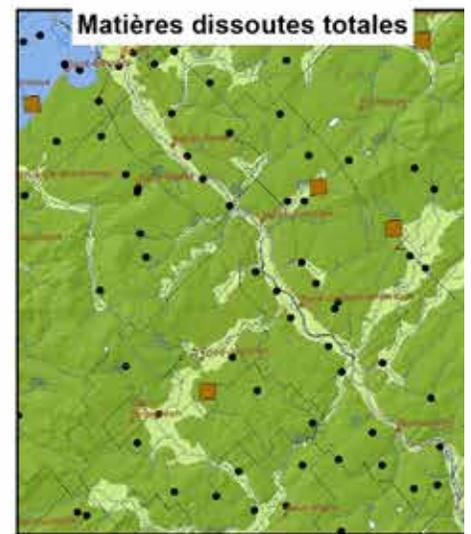
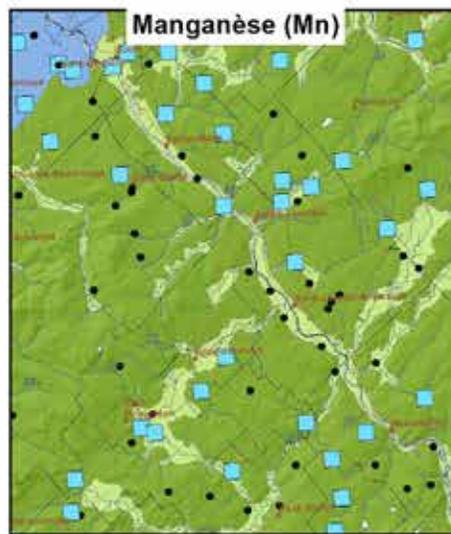
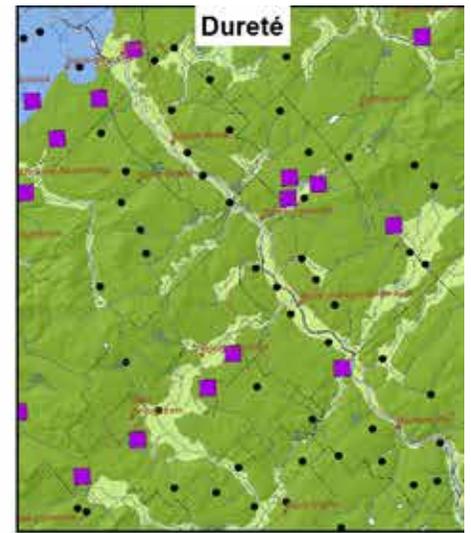
F Les nombreux dépassements du critère du pH présentent un danger pour la santé humaine.

Vrai Faux

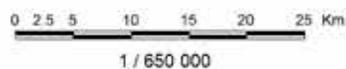
F Les activités humaines sont responsables des dépassements en fer en manganèse.

Vrai Faux

D La moitié des échantillons d'eau analysés en Chaudière-Appalaches présentent un dépassement en manganèse. Quel(s) problème(s) cela représente-t-il pour la consommation en eau potable?



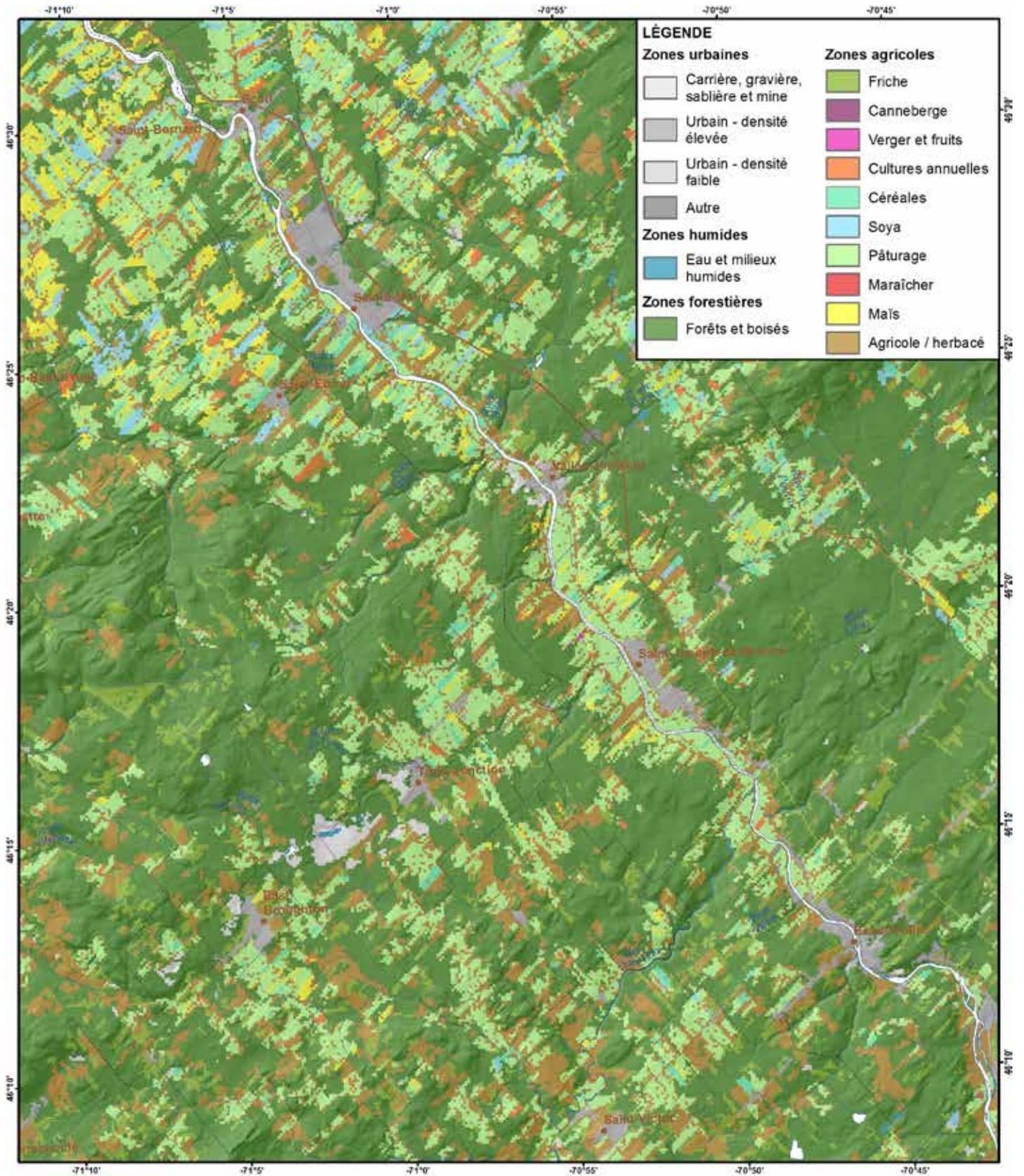
**Qualité de l'eau souterraine
(critères esthétiques)
Chaudière-Appalaches - Appalaches**



LÉGENDE

- Basses-terres du Saint-Laurent
- Vallées appalachiennes
- Hautes terres appalchiennes

- Objectif esthétique (OE)**
- Pas de dépassement
- Dépassement



LÉGENDE

Zones urbaines

- Carrière, gravière, sablière et mine
- Urbain - densité élevée
- Urbain - densité faible
- Autre

Zones agricoles

- Friche
- Canneberge
- Verger et fruits
- Cultures annuelles
- Céréales
- Soya
- Pâturage
- Maraîcher
- Maïs
- Agricole / herbacé

Zones humides

- Eau et milieux humides

Zones forestières

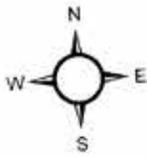
- Forêts et boisés

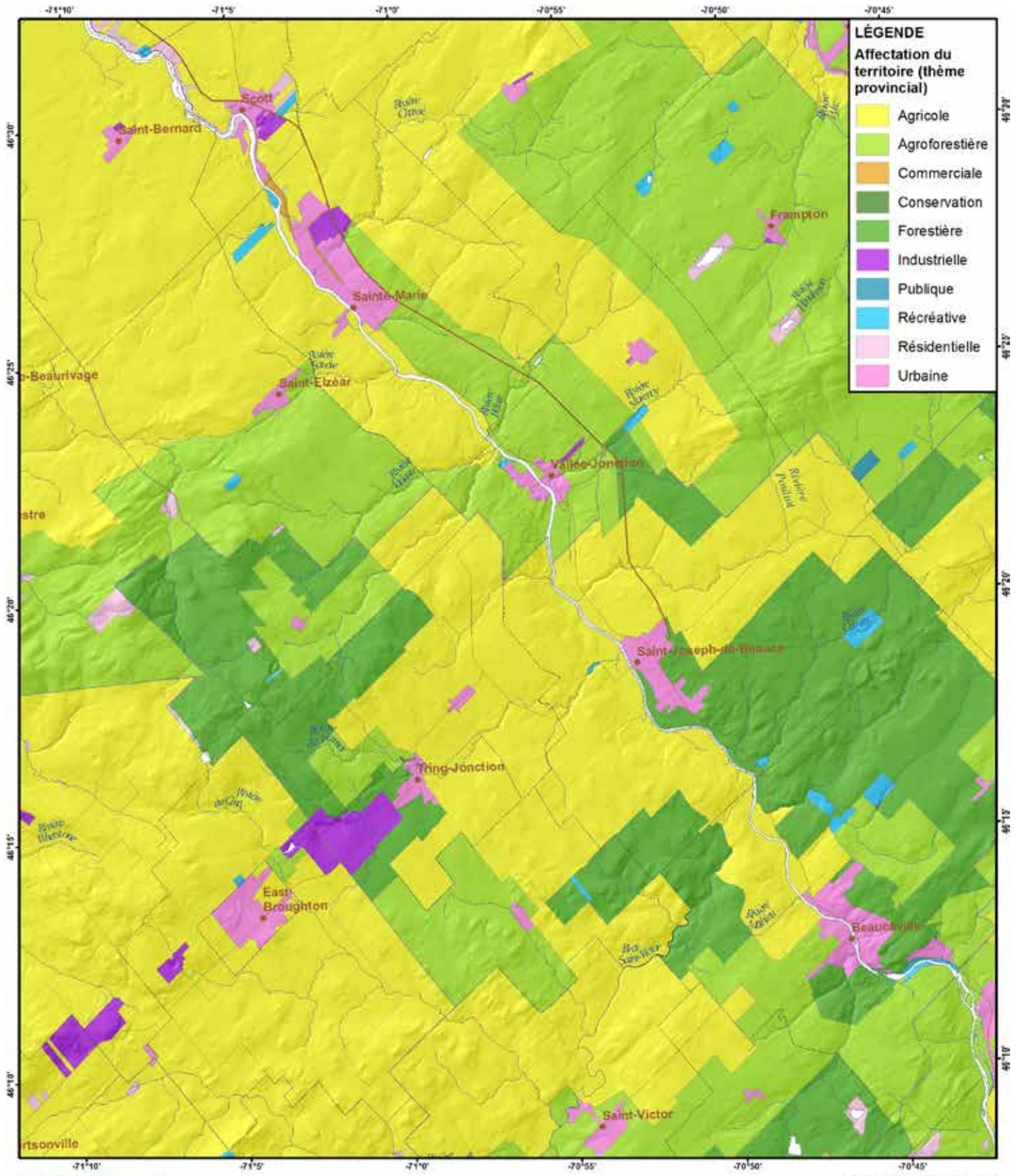


Occupation du sol
Chaudière-Appalaches - Appalaches



1 / 200 000



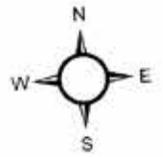
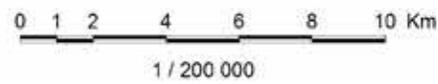


LÉGENDE
Affectation du territoire (thème provincial)

Yellow	Agricole
Light Green	Agroforestière
Orange	Commerciale
Dark Green	Conservation
Medium Green	Forestière
Purple	Industrielle
Blue	Publique
Light Blue	Récréative
Pink	Résidentielle
Dark Pink	Urbaine



Affectation du territoire
Chaudière-Appalaches - Appalaches



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

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

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

Bibliographie

- CERM-PACES. 2013. Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région Saguenay-Lac-Saint-Jean. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.
- Cloutier, V., Blanchette, D., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Rosa, E., et Roy, M. 2013. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1). Rapport final déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Rapport de recherche P001. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 135 p., 26 annexes, 25 cartes thématiques (1:100 000).
- Dubois, J.M. n° 91-04-33, Îles-de-la-Madeleine (Québec) [En ligne], (<http://www.geobase.ca/geobase/fr/data/imagery/guide/dune/pg07.html?jsessionid=1D4511C4F84DBDD15BC3A07E6927E865>). Page consultée le 10 octobre 2014.
- 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/upload/files/rqes/Transfert_des_connaissances/HYDROGEOLOGIE_notions_et_figures_oct2014.pdf). Page consultée le 29 novembre 2016.
- 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 29 novembre 2016.
- 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 29 novembre 2016.
- 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.
- 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).
- Lefebvre, R., Ballard, J.-M., Carrier, M.-A., Vigneault, H., Beaudry, C., Berthot, L., Légaré-Couture, G., Parent, M., Laurencelle, M., Malet, X., Therrien, A., Michaud, A., Desjardins, J., Drouin, A., Cloutier, M.H., Grenier, J., Bourgault, M.-A., Larocque, M., Pellerin, S., Graveline, M.-H., Janos, D. et Molson, J. (2015) Portrait des ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches, Québec, Canada. Projet réalisé conjointement par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) et le Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES), Rapport final INRS R-1580, soumis au MDDELCC en mars 2015.
- Limper Geology Museum (2010). Local Geology – Glacial till. [En ligne], (<http://www.cas.miamioh.edu/igl/museum/students/till.html>). Page consultée le 29 novembre 2016.
- Santé Canada (2014). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Tableau sommaire. Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. [En ligne], (http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/index-fra.php). Page consultée le 29 novembre 2016.
- Siim Sepp (2005). Wikipédia – Argile. Argilite en Estonie. [En ligne], (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Argile>). Page consultée le 29 novembre 2016.

Mes notes personnelles

L'équipe de réalisation du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Chaudière-Appalaches :

Institut national de la recherche scientifique - Centre Eau Terre Environnement
Commission géologique du Canada (Ressources naturelles Canada)
Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

Les partenaires du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Chaudière-Appalaches :

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches
Organisme de bassins versants de la zone du Chêne
Comité de bassin de la rivière Chaudière
Conseil de bassin de la rivière Etchemin
Organisme de bassins versants de la Côte-du-Sud
Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour
Organisme de bassin versant du fleuve Saint-Jean
MRC de Lotbinière
MRC de la Nouvelle-Beauce
MRC de Robert-Cliche
MRC de Beauce-Sartigan
MRC de Bellechasse
MRC des Etchemins
MRC de Montmagny
MRC de l'Islet
Fédérations de l'UPA de Chaudière-Appalaches
Direction régionale Chaudière-Appalaches du MAPAQ

Les collaborateurs du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Chaudière-Appalaches :

Université Laval
Université du Québec à Montréal
Commission géologique du Canada (Ressources naturelles Canada)

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

