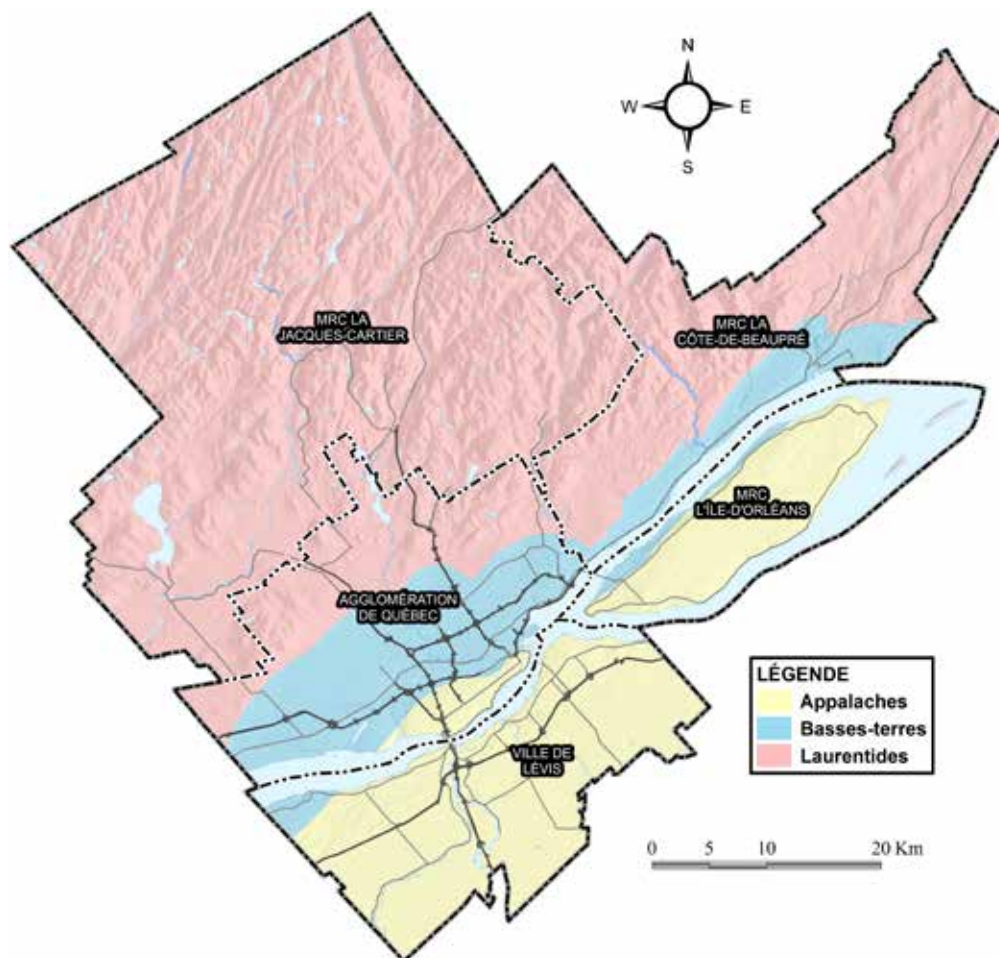


1^{er} atelier de transfert des connaissances sur les eaux souterraines de la Communauté métropolitaine de Québec

CAHIER DU PARTICIPANT



Atelier organisé par :
le Réseau québécois sur les eaux souterraines,
l'UQTR, l'Université Laval
et la Communauté métropolitaine de Québec

Mai 2015

Cet atelier de transfert des connaissances issues du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (PACES-CMQ) est mis en œuvre dans le cadre du projet **Protéger et gérer les eaux souterraines**, rendu possible grâce au financement du Programme de soutien à la valorisation et au transfert du ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations. Il est le résultat d'un travail conjoint entre le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES), les chercheurs du Département de géologie et génie géologique de l'Université Laval, la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) et la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement :

- Marie-Catherine Talbot Poulin, professionnelle de recherche, équipe de recherche du PACES-CMQ, Université Laval
- Guillaume Comeau, professionnel de recherche, équipe de recherche du PACES-CMQ, Université Laval (maintenant chez SNC-Lavalin)
- René Therrien, professeur, coordonnateur du PACES-CMQ, Université Laval
- Yohann Tremblay, professionnel de recherche, équipe de recherche du PACES-CMQ, Université Laval et agent de transfert, RQES, préparation de l'atelier de transfert
- Anne-Marie Decelles, agente de transfert, RQES
- Marie-Audray Ouellet, coordonnatrice scientifique, RQES
- Julie Ruiz, professeure et titulaire de la Chaire de recherche UQTR en écologie du paysage et aménagement, conception de l'atelier de transfert

Références à citer

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

Talbot Poulin, M.C., Comeau, G., Tremblay, Y., Therrien, R., Nadeau, M.M., Lemieux, J.M., Molson, J., Fortier, R., Therrien, P., Lamarche, L., Donati-Daoust, F., Bérubé, S. 2013. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec, Rapport final. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, mars 2013, 172 pages, 19 annexes, 28 cartes.

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-CMQ :

Tremblay, Y., Ruiz, J. et Talbot Poulin, M.C. 2014. 1er atelier de transfert des connaissances sur les eaux souterraines de la Communauté métropolitaine de Québec, cahier du participant. Document préparé par le RQES, l'Université Laval, la CMQ et l'UQTR pour les acteurs de l'aménagement du territoire.

Le réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES)

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

Le RQES poursuit les objectifs spécifiques suivants :

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

Pour en savoir plus : www.rques.ca

Le Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval

La géologie et le génie géologique s'intéressent à l'histoire et l'évolution de la Terre pour comprendre et prédire les processus naturels. La compréhension de ces processus naturels est essentielle pour découvrir et exploiter les ressources en métaux, minéraux et matériaux industriels, eaux souterraines et hydrocarbures si importants pour le bien-être de notre société. La connaissance de ces processus naturels permet de guider la société vers une utilisation rationnelle de la masse continentale et des fonds océaniques. Elle offre les outils qui servent à prévoir les risques naturels (glissements de terrain, tremblements de terre, volcanisme) qui peuvent mettre en danger la vie et les biens de la société.

La mission du département est d'offrir aux étudiantes et étudiants des programmes de qualité, qui les prépareront adéquatement au marché du travail. Les membres du Département de géologie et de génie géologique sont également fortement impliqués en recherche.

Pour en savoir plus : www.ggl.ulaval.ca

La Communauté métropolitaine de Québec

Organisme de planification, de coordination et de financement, la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) a été créée en 2002. Elle vise à développer et à assurer une plus grande cohésion dans les interventions des municipalités et des MRC qui la composent. Ses principaux domaines d'intervention sont l'aménagement du territoire, le transport et la mobilité durable, l'environnement et la gestion des matières résiduelles. Elle regroupe 28 municipalités et trois MRC comptant un total de 790 000 habitants. Son conseil est présidé par le maire de la Ville de Québec. Le maire de la Ville de Lévis en est actuellement le vice-président.

Bâtit, dans un même esprit résume en quelques mots tout le défi que doit relever la CMQ : mettre en commun les ambitions et les forces de chacun afin de contribuer à maintenir le dynamisme et la qualité de vie qui caractérisent la région, tout en respectant les aspirations locales.

Pour en savoir plus : www.cmquebec.qc.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
Conditions de confinement	13
Différents types d'aquifères	14
Types de dépôts meubles	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-CMQ	20
Les limites générales de l'étude	21
Quantité et utilisation de l'eau souterraine	21
Six contextes hydrogéologiques régionaux	22
3. Les contextes hydrogéologiques des Laurentides	27
Coupe hydrostratigraphique	28
Épaisseur des dépôts meubles	30
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	32
Confinement	34
Piézométrie	36
Recharge	38
Vulnérabilité	40
Qualité de l'eau	42
Exercice de synthèse	44

4. Les contextes hydrogéologiques des Basses-terres 47

Coupe hydrostratigraphique	48
Épaisseur des dépôts meubles	50
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	52
Confinement	54
Piézométrie	56
Recharge	58
Vulnérabilité	60
Qualité de l'eau	62
Exercice de synthèse	64

5. Les contextes hydrogéologiques des Appalaches 67

Coupe hydrostratigraphique	68
Épaisseur des dépôts meubles	70
Épaisseur des aquifères de dépôts meubles	72
Confinement	74
Piézométrie	76
Recharge	78
Vulnérabilité	80
Qualité de l'eau	82
Exercice de synthèse	84

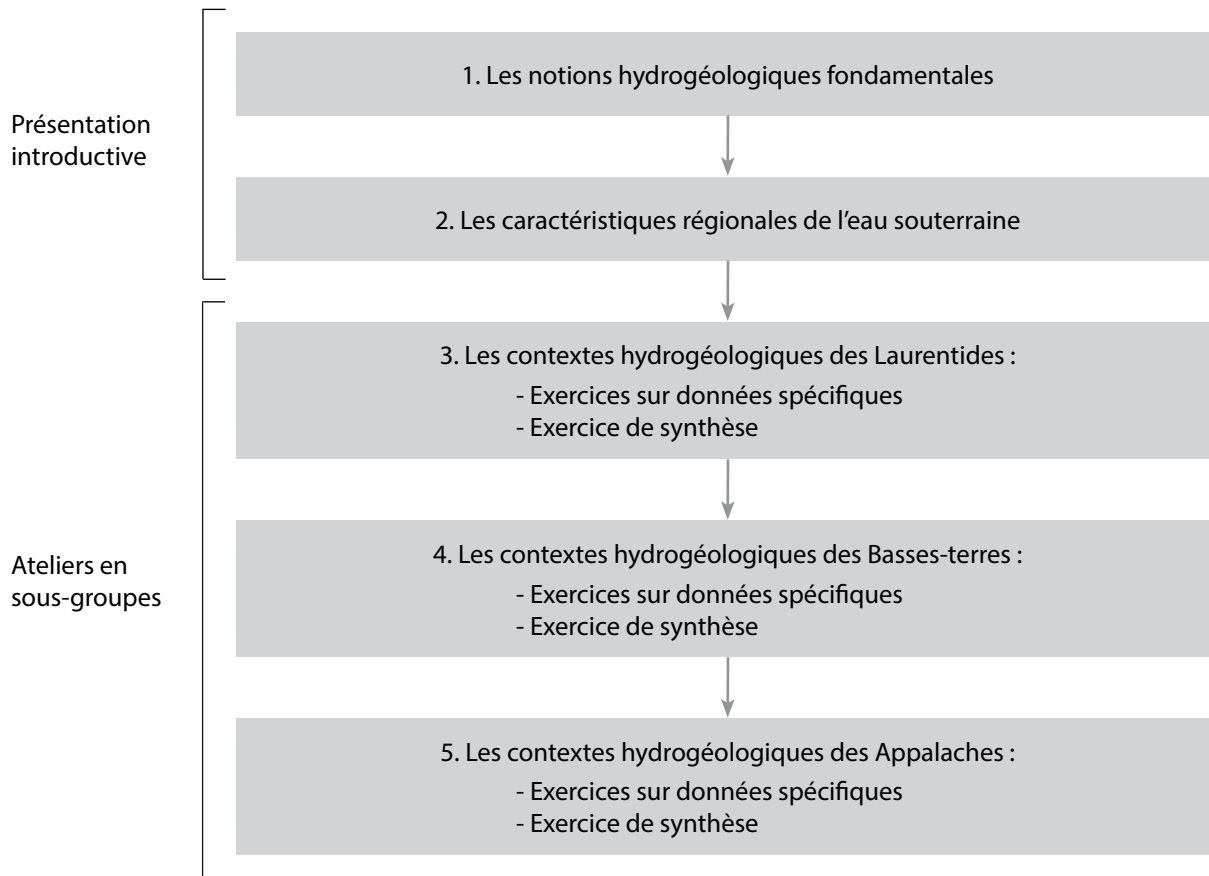
Bibliographie	87
Mes notes personnelles	88

Index des notions clés

Aquifère	12
Aquifère confiné, non confiné, semi-confiné et au confinement discontinu	13
Aquifère de dépôts meubles	14
Aquifère de roc fracturé	14
Aquitard	12
Concentrations maximales acceptables (CMA)	18
Conductivité hydraulique	12
Dépôts meubles	14
DRASTIC	17
Eau souterraine	12
Évolution de l'eau	18
Minéralisation	18
Nappe	12
Nappe captive, libre et semi-captive	13
Niveau piézométrique	16
Objectifs esthétiques (OE)	18
Piézométrie	16
Porosité	12
Recharge	16
Résurgence	16
Roc fracturé	14
Sédiments alluviaux	15
Sédiments deltaïques	15
Sédiments fluvioglaciaires	15
Sédiments glaciolacustres	15
Sédiments marins	15
Sédiments organiques	15
Sédiments quaternaires anciens	15
Till	15
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 facile
- 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

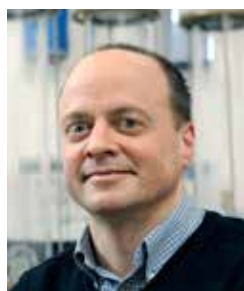


Anne-Marie Decelles
M.A. Développement régional
Agente de transfert du RQES
Département des sciences de
l'environnement, Université du
Québec à Trois-Rivières
CP 500, Trois-Rivières (Qc) G9A 5H7
819-376-5011 poste 3238
Anne-Marie.Decelles1@uqtr.ca



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

Vos experts en eaux souterraines



René Therrien
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 5400
Rene.Therrien@ggl.ulaval.ca



Marie-Catherine Talbot Poulin
Ing.jr, M.Sc. Hydrogéologie
Professionnelle de recherche
Département de géologie et de
génie géologique, Université Laval
1065 av. de la Médecine
Québec (Qc) G1K 7P4
418-656-2131 poste 12630
marie-catherine.talbot-poulin@ggl.
ulaval.ca



Guillaume Comeau
Ing., M.Sc. Hydrogéologie
Chargé de projet
Environnement et eau
SNC-Lavalin inc.
5500 boul. des Galeries, Bureau 200
Québec (Qc) G2K 2E2
418-621-5500 poste 42968
Guillaume.Comeau@snclavalin.com

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

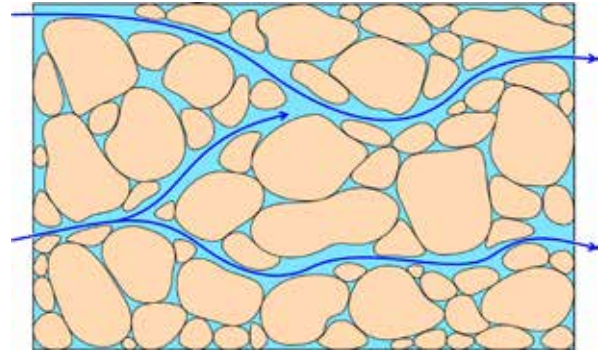
La **POROSITÉ** est le volume (en %) des pores, c'est-à-dire des espaces vides au sein de la matrice solide.

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

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

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

Circulation de l'eau souterraine entre les pores



NAPPE et AQUIFÈRE, de quoi parle-t-on ?

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

- C'est le **contenu**.

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

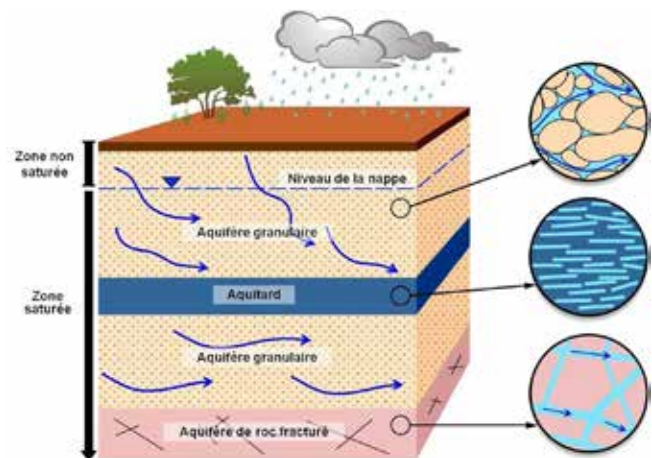
- C'est le **contenant**.

Comment cela fonctionne-t-il ?

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

Qu'est-ce qu'un AQUITARD ?

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





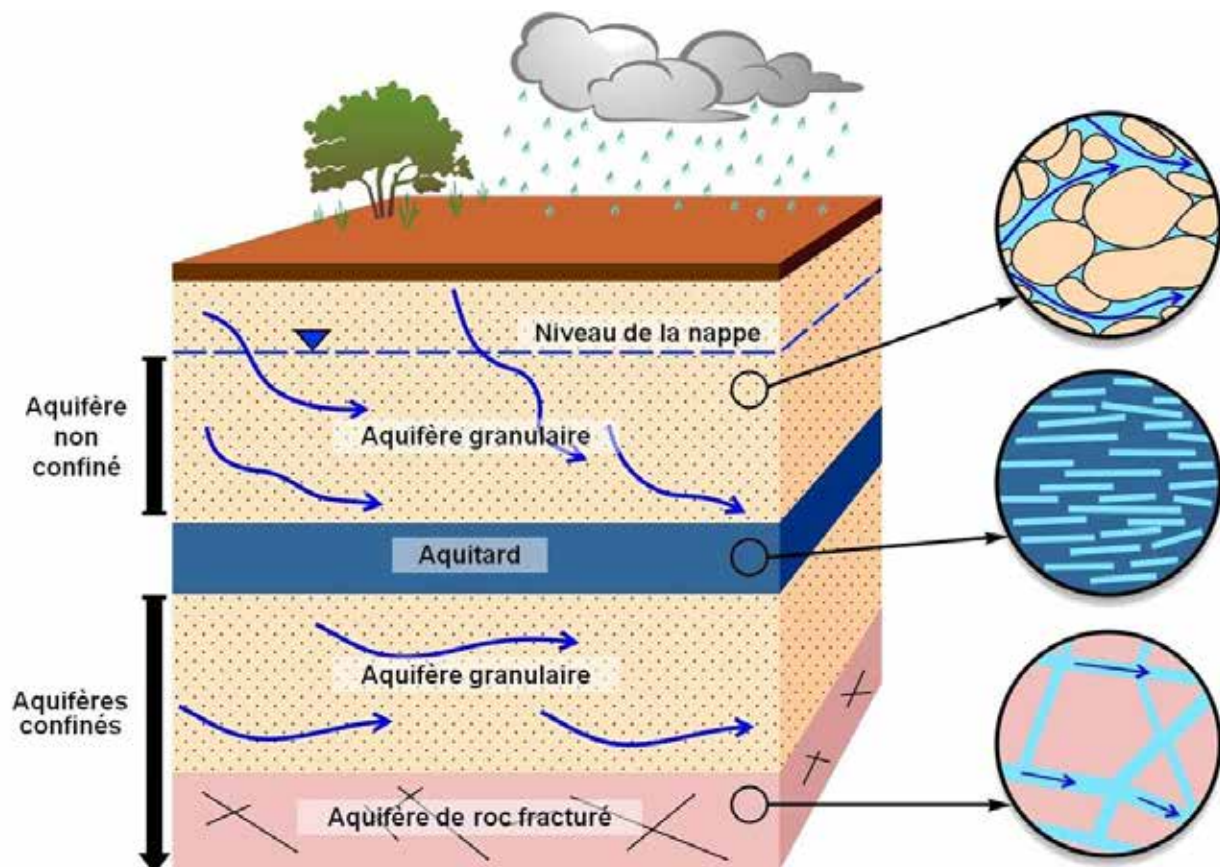
CONDITIONS DE CONFINEMENT

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

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

Un aquifère **SEMI-CONFINÉ** (ou à **nappe semi-captive**) est un cas intermédiaire pour lequel les couches confinantes ne sont pas totalement imperméables ou sont de faible épaisseur. Il est **modérément rechargé** et **protégé**.

Un aquifère au **CONFINEMENT DISCONTINU** est un cas où l'étendue latérale des couches confinantes n'est pas continue. Les couches confinantes sont «trouées» et laissent infiltrer localement l'eau jusqu'à l'aquifère sous-jacent.





DIFFÉRENTS TYPES D'AQUIFÈRES

Quels sont les milieux géologiques qui constituent des aquifères ?

Deux types de milieux géologiques constituent des aquifères :

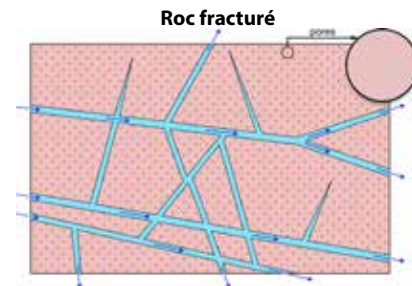
- le **ROC FRACTURÉ** qui constitue la partie supérieure de la croûte terrestre ;
- les **DÉPÔTS MEUBLES** qui sont l'ensemble des sédiments qui proviennent de l'érosion du socle rocheux et qui le recouvrent.

AQUIFÈRE DE ROC FRACTURÉ

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

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

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



AQUIFÈRE DE DÉPÔTS MEUBLES

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

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

Graviers



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

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

Argiles





TYPES DE DÉPÔTS MEUBLES

SÉDIMENTS QUATÉRIAIRES ANCIENS

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

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

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 à dominance silteuse — **aquitard**.
- Composé de grains de toutes tailles dans une matrice à dominance sableuse — ni **aquifère** ni **aquitard**.

Till



SÉDIMENTS FLUVIOGLACIAIRES

Mis en place par les eaux de fonte, pendant la déglaciation. Inclus les sédiments juxtaglaciaires et proglaciaires.

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

Sédiments fluvio-glaciaires



SÉDIMENTS GLACIOLACUSTRES et MARINS

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

- Lorsque mis en place en eau profonde, composés de silt et d'argile — **aquitard**.
- Lorsque mis en place en eau peu profonde (littoral ou intertidal), composés d'un mélange de silt et de sable ou gravier — **aquifère** ou **aquitard**.

Argiles marines



SÉDIMENTS DELTAÏQUES

Mis en place dans un delta de rivière.

- Composés de sable — **aquifère**.
- Peut contenir des horizons de silt discontinus — **aquitard**.

Sédiments deltaïques



SÉDIMENTS ALLUVIAUX

Mis en place par les cours d'eau actuels ou anciens, dans les plaines inondables.

- Composés de silt — **aquitard**.
- Composés de silt avec du sable ou gravier — ni **aquifère** ni **aquitard**.
- Composés de sable et gravier — **aquifère**.

Sédiments alluviaux



SÉDIMENTS ORGANIQUES

Constituent les milieux humides.

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

Tourbe

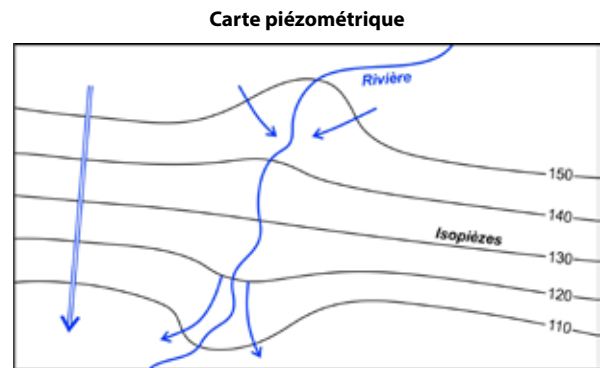




PIÉZOMÉTRIE

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

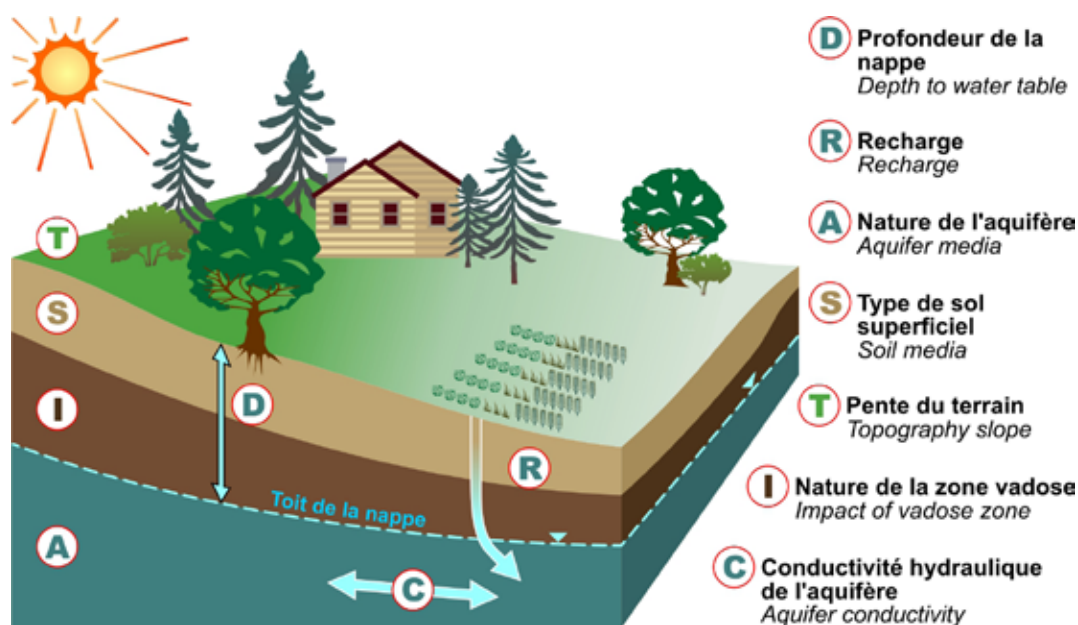
En période d'étiage, l'essentiel de l'eau qui s'écoule dans les cours d'eau provient de l'apport des eaux souterraines. Cette eau contribue alors au débit de base des cours d'eau.



VULNÉRABILITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

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

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



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

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

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



Géochimie de l'eau

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

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

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

Critères de qualité de l'eau

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

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

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

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

2. Les caractéristiques régionales de l'eau souterraine

Résumé du PACES-CMQ

Le PACES-CMQ dresse le portrait régional de la ressource en eau souterraine sur le territoire municipalisé de la CMQ et permet ainsi de pallier au manque d'information sur cette ressource. Les territoires municipalisés de l'Agglomération de Québec, la Ville de Lévis et les MRC de La Jacques-Cartier, de L'Île-d'Orléans et de La Côte-de-Beaupré sont représentés, pour une superficie de 3 663 km² et une population d'environ 760 000 habitants.

Les objectifs généraux de ce projet sont :

- Établir la connaissance sur les ressources en eau souterraine de la région d'étude;
- Léguer des infrastructures de surveillance dans la région pour suivre l'évolution de la qualité et de la quantité des ressources en eau souterraine;
- Former du personnel hautement qualifié et bonifier la compréhension des contextes hydrogéologiques par des projets de recherche d'étudiants de 2e et 3e cycles;
- Contribuer à utiliser de façon durable les ressources en eau souterraine dans une région urbanisée, à la fois pour l'exploitation de l'eau et pour l'énergie géothermique.

Le projet détaille le milieu naturel et humain du territoire, présente les contextes géologiques et hydrogéologiques et évalue les réserves et les utilisations de la ressource en eau souterraine. Ces analyses sont représentées à l'aide de 28 cartes régionales. Une base de données hydrogéologiques régionale a été mise sur pied grâce à la cueillette d'information existante et la réalisation de travaux de terrain supplémentaires. L'ensemble de ces résultats vise à permettre la mise en place des pratiques d'exploitation durable de la ressource en eau souterraine sur le territoire de la CMQ.

Le projet s'est déroulé sur trois ans, soit d'avril 2010 à mars 2013. La démarche générale du projet a compris trois phases :

Phase I : Collecte des données existantes (2010-2011);

Phase II : Travaux de terrain (2011-2012);

Phase III : Synthèse et transfert des connaissances (2012-2013).

Le projet a été réalisé par le Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval, en collaboration avec la CMQ et d'autres partenaires régionaux. Le projet a principalement été financé par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). La liste suivante détaille l'ensemble des partenaires ayant aussi participé au financement du projet, de même qu'à sa réalisation :

- Université Laval;
- Communauté métropolitaine de Québec;
- Ville de Québec;
- Ville de Lévis;
- Ville de Saint-Augustin-de-Desmaures;
- MRC de La Côte-de-Beaupré;
- MRC de L'Île-d'Orléans;
- MRC de La Jacques-Cartier;
- Organisme de bassins versants Charlevoix-Montmorency;
- Organisme des bassins versants de la Capitale;
- Organisme des bassins versants de la Côte-du-Sud;
- Conseil de bassin de la rivière Etchemin;
- Corporation du bassin de la Jacques-Cartier.

Limites générales de l'étude

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

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

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

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

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

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

L'architecture et les propriétés des dépôts meubles sont bien définies à l'exception des complexes deltaïques et fluvioglaciaires des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne. Pour ces aquifères, il n'a pas été possible d'apporter plus de précision sur la localisation des unités de silt semi-confinant ou confinant qui peuvent avoir des implications sur les processus d'écoulement de l'eau souterraine et sur la plupart des autres aspects touchant l'hydrogéologie.

Quantité et utilisation de l'eau souterraine

En 2008, l'eau souterraine approvisionnait 21 % de la population de la CMQ. La consommation totale annuelle en eau souterraine, incluant les utilisations industrielles, commerciales et institutionnelles, mais excluant l'utilisation agricole, est estimée à 15 Mm³/an. L'Agglomération de Québec et la MRC de La Jacques-Cartier prélèvent chacune entre 5 et 6 Mm³/an, bien que seulement 12 % de la première s'alimente en eau souterraine, comparativement à 86% pour la seconde. La Ville de Lévis et les MRC de La Côte-de-Beaupré et de L'Île-d'Orléans prélèvent chacune environ 1 Mm³/an d'eau souterraine. À l'île d'Orléans, cette ressource est particulièrement importante, car l'eau souterraine est la seule source d'eau potable.

Les volumes totaux d'eau souterraine contenue dans les aquifères de dépôts meubles de la CMQ sont estimés à 610 Mm³. La MRC de La Jacques-Cartier arrive en tête avec 329 Mm³, suivi par la MRC de La Côte-de-Beaupré (146 Mm³), l'Agglomération de Québec (106 Mm³) et la Ville de Lévis (29 Mm³). Le volume disponible dans la MRC de L'Île-d'Orléans est nul compte tenu de l'absence d'aquifères de dépôts meubles. Il faut tenir compte du taux de recharge annuel afin de déterminer la quantité d'eau pouvant être prélevée annuellement sans produire d'effets indésirables, tels que la diminution des réserves en eaux souterraines, la diminution des débits des cours d'eau, l'assèchement de marais, la subsidence des sols, les conflits d'utilisation ou l'appel d'une contamination vers le puits de pompage.

Les aquifères qui présentent un potentiel supérieur sont dispersés dans les vallées des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne de même que dans le piémont laurentien où des amas de dépôts meubles fluvioglaciaires ont été déposés. Sur la rive sud, un cordon fluvioglaciaire situé à l'ouest de la rivière Etchemin présente également un potentiel attrayant même si peu de forage ont permis de le délimiter précisément.

Six contextes hydrogéologiques régionaux

Laurentides (les hauts topographiques)

- Ce contexte est situé dans la province géologique de Grenville, qui fait partie du Bouclier canadien et constituée d'un assortiment de roches métamorphiques (gneiss) et de roches ignées (granite, anorthosite et gabbro).
- L'eau souterraine disponible se trouve dans le roc fracturé ayant une perméabilité de très faible à moyenne, dépendamment de l'ouverture, de l'espacement et de la connectivité des réseaux de fractures.
- Des dépôts de till sableux généralement peu épais et ayant des perméabilités moyennement élevées recouvrent généralement le socle rocheux, sans le confiner.
- Des sables et graviers d'origine alluvionnaire ou fluvioglacière se retrouvent dans les vallées et peuvent former localement des aquifères de dépôts meubles non confinés.
- À l'échelle locale, l'écoulement se fait des zones de recharge de l'eau souterraine sur les hauts topographiques vers les zones de résurgence dans les cours d'eau circulant entre les collines.
- Les taux de recharge sont les plus importants de la région avec des valeurs entre 400 et 500 mm/an, car ce secteur bénéficie notamment, d'une plus grande quantité de précipitation et de la présence de sols perméables.
- La vulnérabilité à la contamination est moyenne.
- L'eau souterraine est très peu évoluée et peu minéralisée, ce qui confirme qu'il s'agit d'une eau de recharge assez jeune.
- La qualité de l'eau souterraine est généralement bonne, mais la présence de fluorures et de manganèse, reliée à la composition minéralogique de la roche, est à surveiller.

Complexes fluvioglaciaires et deltaïques (le piedmont et les vallées des grandes rivières)

- Ce contexte est situé dans la province géologique de Grenville, qui fait partie du Bouclier canadien et constituée d'un assortiment de roches métamorphiques (gneiss) et de roches ignées (granite, anorthosite et gabbro).
- L'aquifère de roc fracturé est d'étendue régionale, avec une perméabilité qui varie de très faible à moyenne.
- D'importants aquifères de sables et graviers d'origine fluvioglacière ou deltaïque, aux conductivités hydrauliques élevées à très élevées, et dont l'épaisseur peut atteindre plus de 50 m, sont présents dans les vallées des rivières Jacques-Cartier, Montmorency et Sainte-Anne.
- Ces aquifères présentent des conditions variables de confinement, allant de libre à confiné, selon la présence ou non d'horizons de silt peu perméable et d'épaisseurs variables.
- L'aquifère de roc fracturé présente généralement un confinement discontinu.
- La recharge et la vulnérabilité des aquifères sont élevées.
- La signature géochimique est caractéristique soit d'une eau jeune, soit d'une eau évoluée, témoignant de la complexité de l'écoulement entraînée par la structure des dépôts meubles comprenant fréquemment des horizons de silt.
- À l'exception du cas bien connu de contamination au trichloréthylène (TCE) à Val-Bélair et Shannon, la qualité de l'eau souterraine des aquifères à l'extérieur de la base militaire de Valcartier est généralement bonne et montre peu ou pas de dépassements des critères de potabilité ou des objectifs esthétiques.
- Plusieurs municipalités de la MRC de La Jacques-Cartier, la MRC de La Côte-de-Beaupré et la Ville de Québec exploitent ces aquifères de dépôts meubles.

Couronne Nord des Basses-terres du Saint-Laurent

- Ce contexte est situé dans la province géologique de la Plate-Forme du Saint-Laurent, constituée de roches sédimentaires généralement stratifiées subhorizontalement (calcaire, shale, grès, ardoise et dolomie).
- L'aquifère de roc fracturé est d'étendue régionale, avec une perméabilité qui varie de très faible à moyenne.
- On retrouve des dépôts d'origine marine composés de sable silteux, silt sableux et silt argileux ayant une perméabilité moyenne à très faible.
- Lorsque peu perméables, ces dépôts agissent comme une couche qui, selon son épaisseur, confine ou non l'aquifère sous-jacent de roc fracturé.
- L'eau souterraine s'écoule à partir du sommet des collines pour faire résurgence à des distances modérées au niveau des cours d'eau ou directement dans le fleuve Saint-Laurent.
- La perméabilité moyenne à très faible des dépôts meubles, des précipitations plus faibles et l'imperméabilisation des sols provenant de l'urbanisation diminuent considérablement la recharge et la vulnérabilité de l'aquifère de roc.
- La signature géochimique des eaux souterraines est considérée comme intermédiaire, offrant une transition entre les eaux de recharge des Laurentides et les eaux souterraines généralement plus évoluées des Basses-terres du Saint-Laurent.

Proto-Saint-Laurent (basse ville de Québec)

- Ce contexte est situé dans la province géologique de la Plate-Forme du Saint-Laurent, constituée de roches sédimentaires généralement stratifiées subhorizontalement (calcaire, shale, grès, ardoise et dolomie).
- L'aquifère de roc fracturé est d'étendue régionale, avec une perméabilité qui varie de très faible à moyenne.
- Le Proto-Saint-Laurent correspond à un ancien chenal du fleuve Saint-Laurent, emprunté au moment de la déglaciation.
- L'épaisse succession de dépôts meubles de ce secteur comprend des dépôts de silts recouvrant une unité de sable séparée du roc par une autre épaisseur importante de silt.
- Les aquifères de sable atteignent 20 m d'épaisseur à l'embouchure de la rivière Saint-Charles et 30 m à l'embouchure de la rivière Cap-Rouge.
- Ces aquifères de sable sont non confinés à semi-confinés lorsque les alluvions silteuses de faible perméabilité sont plus épaisses, tandis que l'aquifère de roc est majoritairement confiné.
- Dans les aquifères sableux, l'eau souterraine s'écoule vers la rivière Saint-Charles ou la rivière Cap-Rouge, puis vers le fleuve Saint-Laurent.
- Ces aquifères se rechargent à un taux moyen, en raison de la densité du milieu urbain et de la faible perméabilité des dépôts de silt en surface, qui sont aussi responsables pour une vulnérabilité moyenne à la contamination.
- La composition hydrogéochimique des aquifères de dépôts meubles suggère que l'eau souterraine qui y circule est très évoluée ou en lien avec l'ancienne Mer de Champlain.
- Les aquifères ne sont pas exploités à des fins de consommation en eau potable.

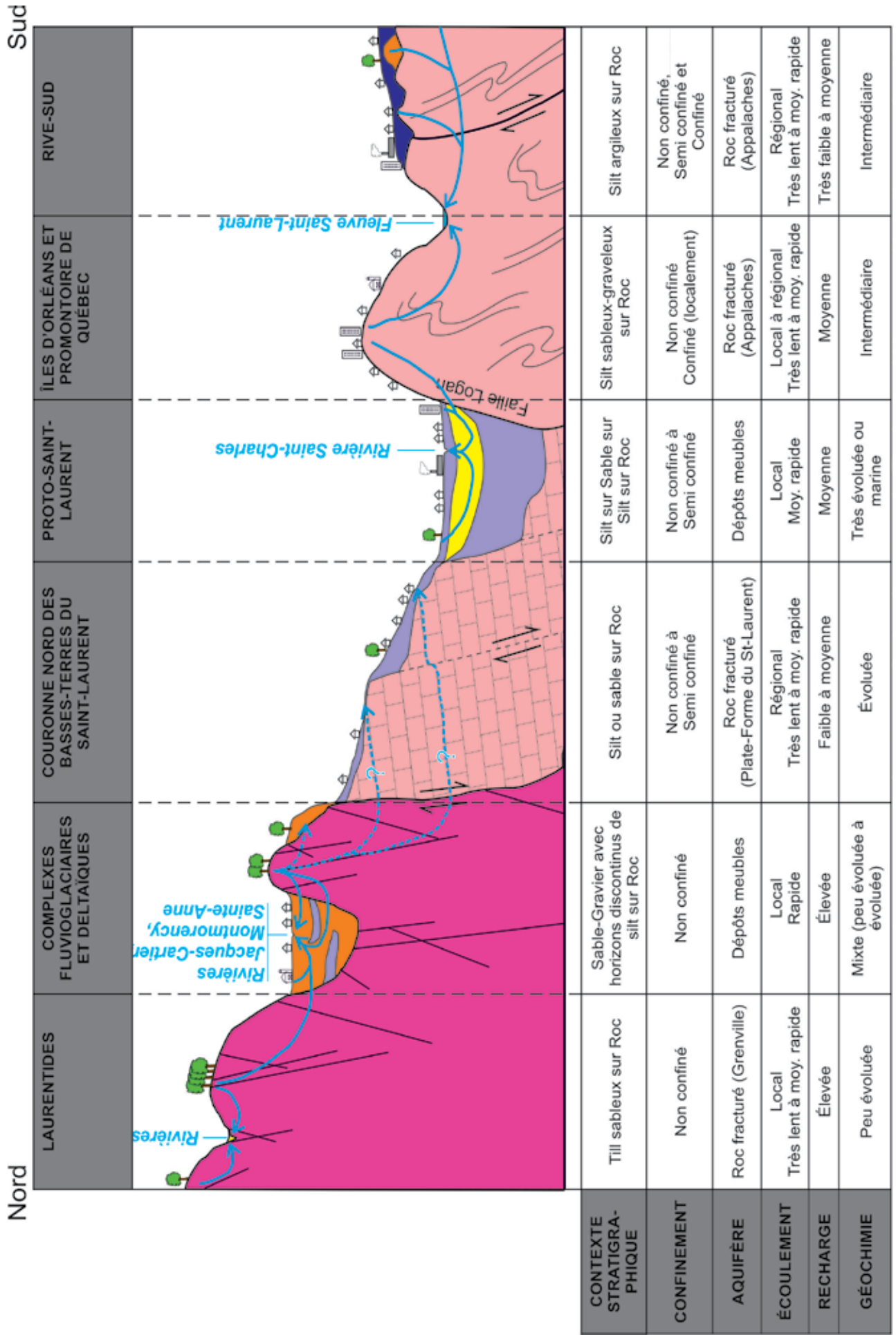
Île d'Orléans et Promontoire de Québec (haute ville de Québec)

- Ce contexte est situé dans la province géologique des Appalaches, constituée de roches sédimentaires qui ont été déformées de façon répétée, mais non métamorphisées (shale, grès, conglomérat, calcaire et dolomie).
- Le socle rocheux constitue le seul aquifère exploitable, avec une perméabilité de très faible à moyenne selon l'intensité de la fracturation.
- L'unité de dépôt meuble dominante est un silt sableux et graveleux de faible perméabilité, ayant une épaisseur généralement inférieure à 7 m.
- Le roc fracturé forme un aquifère non confiné à l'exception des petites zones, sur l'île d'Orléans, où des dépôts de silt ou d'argile silteuse plus épais confinent localement le roc fracturé.
- La faible couverture de dépôts meubles mène généralement à une recharge et à une vulnérabilité moyenne.
- Sur l'île d'Orléans, l'eau souterraine s'écoule radialement, du centre de l'île vers son contour, pour faire résurgence au fleuve Saint-Laurent.
- L'écoulement est plutôt lent, signifiant un temps de résidence de l'eau souterraine relativement élevé, avec un niveau d'évolution géochimique intermédiaire.
- Sur l'île d'Orléans, la qualité physicochimique de l'eau souterraine est généralement bonne, mais de fréquents problèmes de contamination bactériologique ont été observés.
- L'eau souterraine n'est pas utilisée à des fins de consommation sur le Promontoire de Québec, contrairement à l'ensemble des résidents de l'île d'Orléans.

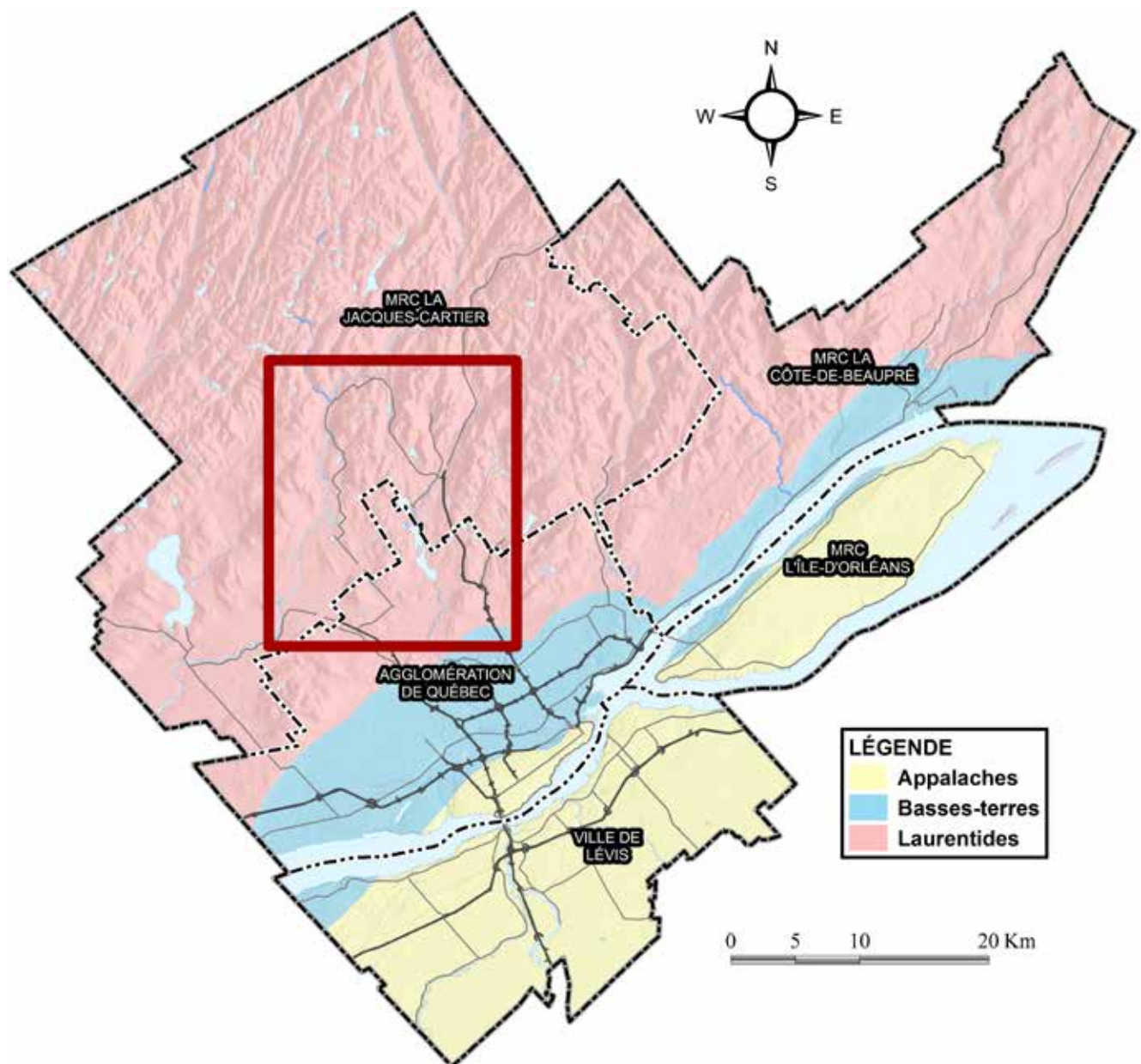
Rive-Sud (Ville de Lévis)

- Ce contexte est situé dans la province géologique des Appalaches, constituée de roches sédimentaires qui ont été déformées de façon répétée, mais non métamorphisées (shale, grès, conglomérat, calcaire et dolomie).
- L'aquifère régional prédominant est le roc fracturé, avec une perméabilité qui varie de très faible à moyenne.
- On retrouve majoritairement des dépôts silto-argileux de très faible perméabilité.
- Ceux-ci sont parfois recouverts d'un dépôt plus sableux de perméabilité moyenne.
- À certains endroits, des aquifères de sables et graviers fluvioglaciers de faible étendue peuvent affleurer ou être enfouis sous les dépôts silto-argileux.
- Lorsqu'ils sont plus épais, les dépôts silto-argileux confinent les aquifères de dépôts meubles et l'aquifère de roc fracturé.
- Ces conditions de confinement, ainsi que la densité urbaine de certains secteurs, entraînent une diminution de la recharge et de la vulnérabilité.
- L'écoulement régional s'effectue du sud-est vers le nord-ouest en direction du fleuve Saint-Laurent.
- L'eau souterraine montre une évolution géochimique intermédiaire, ce qui implique qu'elle prend source à plus grande distance, circule plus longtemps dans les fractures du roc et se charge en ions.
- La qualité de l'eau souterraine est généralement bonne, malgré les rares dépassements du critère de potabilité du baryum et des fluorures, expliqués par la nature des roches. Le sodium, le manganèse et les matières dissoutes totales sont des paramètres observés pouvant entraîner des problèmes récurrents d'ordre esthétique.
- La majorité de la consommation de l'eau souterraine à Lévis se fait par des ouvrages de captage individuel, car la capacité de l'aquifère à soutenir un bon débit de prélèvement est restreinte par la faible étendue des aquifères de sables et gravier de même que par la faible perméabilité des aquifères de roc fracturé.

Coupe synthèse des contextes hydrogéologiques de la CMQ



3. Les contextes hydrogéologiques des Laurentides



Coupe hydrostratigraphique

Définition

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

Méthode utilisée

Les coupes sont dessinées à partir du type de dépôts meubles cartographié en surface sur la carte de la Géologie du Quatenaire (non présentée ici) et des données de forages qui donnent des informations sur les matériaux géologiques rencontrés en profondeur. Une interprétation a été faite sur les regroupements de matériaux géologiques ayant des propriétés hydrogéologiques similaires (hydrofaciès) ainsi que sur la continuité latérale des unités d'un forage à l'autre.

Les coupes ci-contre proviennent d'une interprétation réalisée par Lefebvre et coll. (2003). Les descriptions des unités présentées combinent la géologie et l'hydrofaciès.

Description des coupes

Les coupes A-A' de 4 km et B-B' de 2 km montrent le contexte hydrogéologique du complexe deltaïque de la vallée de la rivière Jacques-Cartier.

La séquence stratigraphique est dominée par une importante couche de sable et gravier deltaïque en surface, formant un aquifère pouvant atteindre 45 m d'épaisseur. Ces sédiments deltaïques comprennent localement des couches silteuses prodeltaïques formant un aquitard. Leur faible étendue et leur discontinuité ne permettent pas d'en détailler la localisation à l'échelle régionale.

On retrouve en profondeur une mince couche de dépôts marins silteux, nommée silt glaciomarin sur la coupe. Celle-ci recouvre, de façon discontinue, des sédiments fluvio-glaciaires sableux et graveleux reposant sur le roc fracturé et dont l'épaisseur diminue vers le centre des coupes.

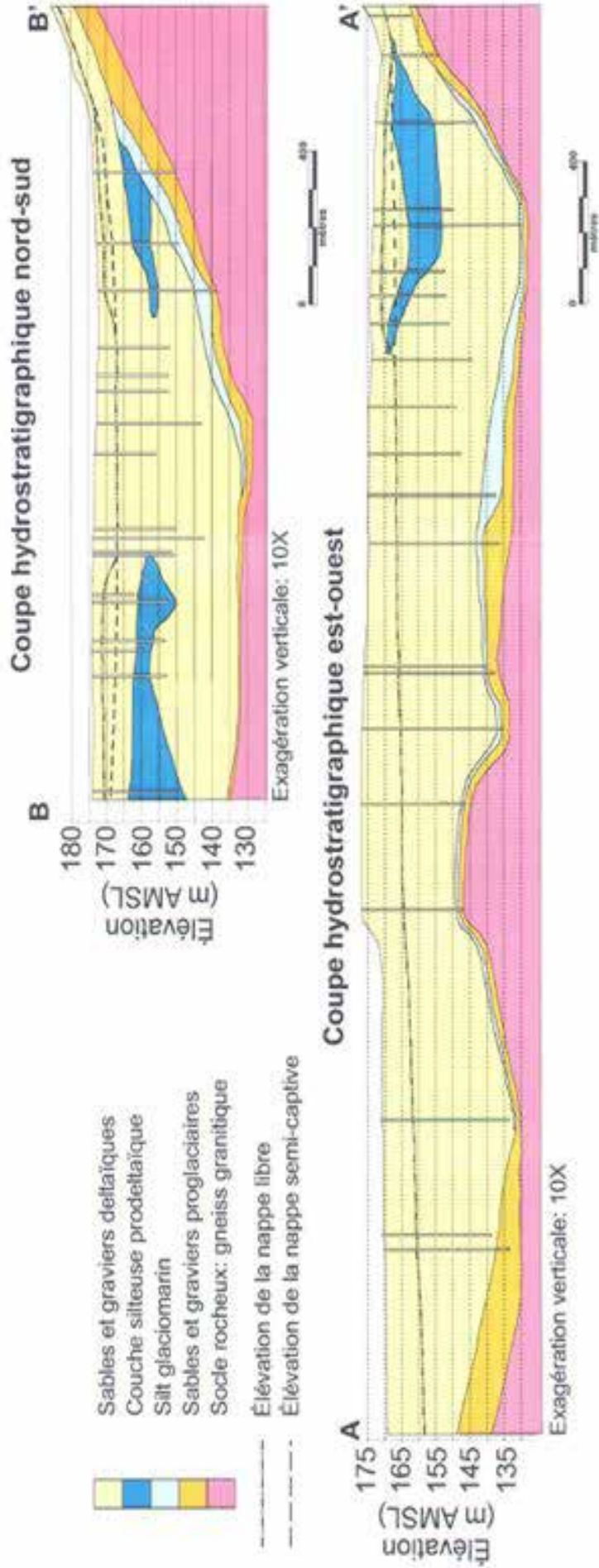
À l'échelle régionale, l'important aquifère de dépôts meubles est considéré comme étant en lien hydraulique avec l'aquifère de roc, car les couches de silt sont discontinues et n'empêchent pas l'écoulement de l'eau d'un aquifère vers l'autre. Des petites nappes perchées sur les couches silteuses prodeltaïques sont représentées sur les coupes. La surface piézométrique est en général à environ 10 m de profondeur et l'eau souterraine s'écoule vers la rivière Jacques-Cartier.





- F** L'aquifère de dépôts meubles de sables et graviers deltaïques est partout présent sur les coupes.
 Vrai Faux
- F** L'aquifère de dépôts meubles de sables et graviers deltaïques est le seul aquifère potentiellement exploitable sur ces coupes.
 Vrai Faux
- F** Les silt prodeltaïques confinent l'aquifère de sables deltaïques de façon continue.
 Vrai Faux

- M** Quelle est la séquence stratigraphique complète des coupes présentées et quelle est le caractère aquifère ou aquitard de chacune des couches?
- M** Pourquoi considère-t-on, à l'échelle régionale, l'important aquifère de dépôts meubles de la vallée de la Jacques-Cartier comme étant en lien hydraulique avec l'aquifère de roc, malgré la présence d'horizons silteux imperméables?
- D** Pourquoi indique-t-on deux élévations de nappe différentes au droit des horizons de silt prodeltaïque?



Épaisseur des dépôts meubles

Définition

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



AQUIFÈRE,
AQUITARD page 12,
DÉPÔTS MEUBLES
page 14

Méthode utilisée

Les informations sur l'épaisseur et le type de dépôts meubles proviennent principalement des données de forage, des levés géophysiques et des affleurements rocheux. Pour la majorité du territoire de la CMQ, l'épaisseur totale des dépôts meubles a été estimée par interpolation, sur de mailles de 250 m X 250 m. La qualité de l'estimation dans un secteur dépend de la densité des données à proximité. Dans la portion nord du territoire d'étude, le nombre de forages étant trop faible pour appliquer la méthode d'interpolation, l'épaisseur des dépôts a été déterminée selon le type de dépôts meubles cartographié en surface.

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Dans les Laurentides, les reliefs de la surface du sol et du socle rocheux sont accidentés. Les dépôts meubles sont généralement minces sur les montages et plus épais dans le creux des vallées, atteignant 64 m dans la vallée de la rivière Jacques-Cartier, 47 m dans la vallée de la rivière Montmorency, 38 m près de la rivière Nelson et 31 m près de la rivière des Hurons. Le secteur de Saint-Ferréol-les-Neiges et de Saint-Tite-des-Caps présente des dépôts ayant jusqu'à 47 m d'épaisseur, malgré son altitude élevée et ses fortes pentes. La présence d'un important complexe fluvioglaciaire expliquerait ces divergences.

De manière générale, pour toute la rive nord, l'élévation du roc diminue du nord vers le sud, passant de près de 1000 m à la frontière nord de la CMQ à 70 m sous le niveau moyen de la mer dans le secteur de la basse ville de Québec.



F Les dépôts meubles les plus épais se retrouvent au pourtour du lac Saint-Charles.

Vrai Faux

F Les dépôts meubles les plus minces correspondent au sommet des collines.

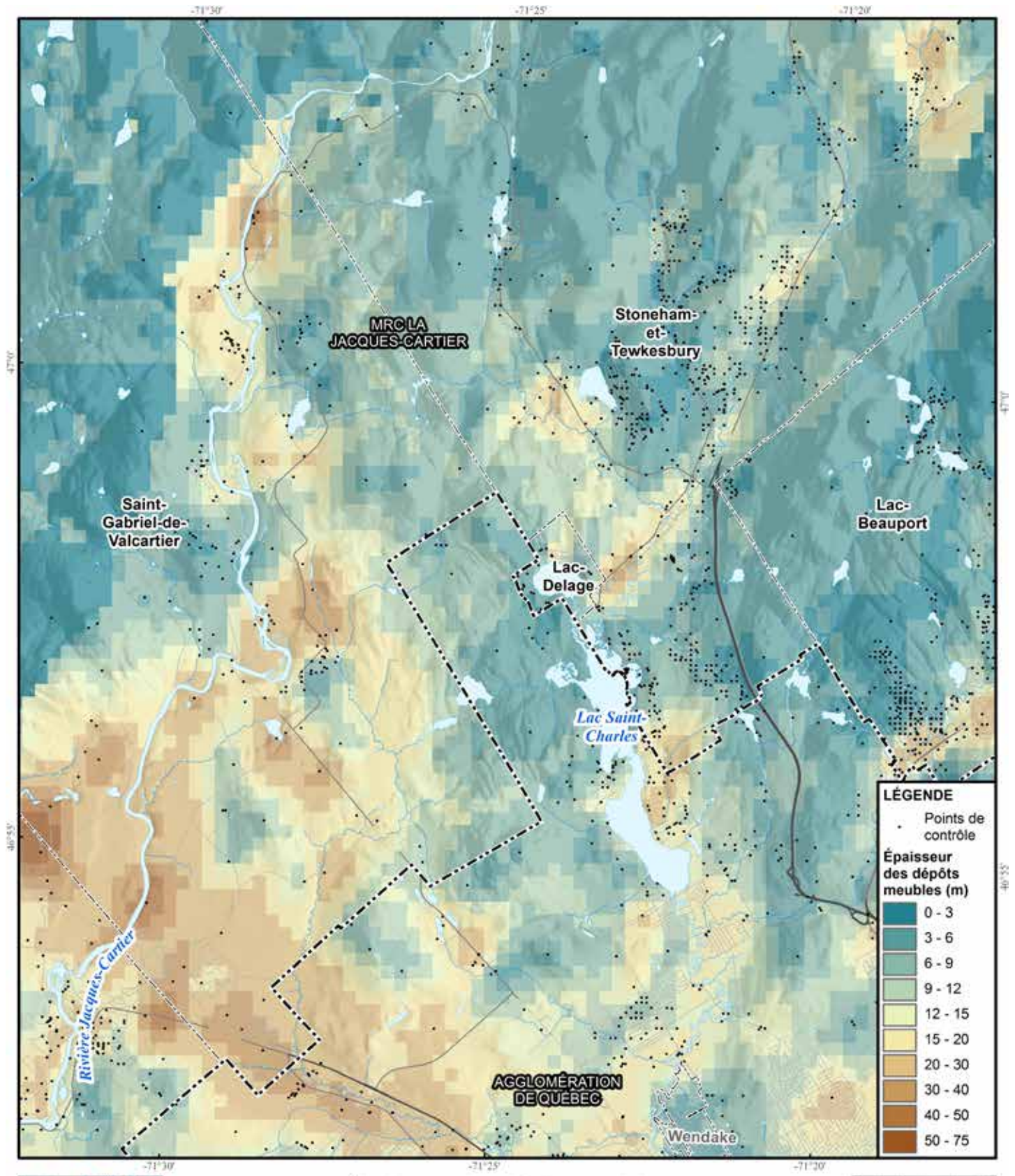
Vrai Faux

M De manière générale, l'estimation de l'épaisseur des dépôts meubles est plus fiable dans les vallées des Laurentides.

Vrai Faux

F Où retrouve-t-on l'épaisseur maximale de dépôts meubles dans le secteur d'étude et quelle est cette épaisseur approximative?

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



Épaisseur des dépôts meubles
 COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides



Épaisseur des aquifères de dépôts meubles

Définition

Un **AQUIFÈRE** est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage. Un **AQUIFÈRE DE DÉPÔT MEUBLE** est constitué de particules grossières (sables et graviers), car plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable. Le pompage de débits importants est alors souvent possible.



AQUIFÈRE page 12,
**AQUIFÈRE DE
DÉPÔTS MEUBLES**
page 14

Méthode utilisée

La délimitation des aquifères de dépôts meubles d'intérêt régional a été déterminée, sur des mailles de 250 m x 250 m, grâce à la localisation et l'épaisseur des couches de sable ou de gravier qui sont saturés en eau, c.-à.-d. sous le niveau piézométrique. Ces informations proviennent d'un modèle hydrostratigraphique 3D généré à partir de la définition des hydrofaciès, des coupes hydrostratigraphiques interprétées, des données de forages, de la géologie du Quaternaire, des levés géophysiques et de la carte de l'épaisseur des dépôts meubles. Les critères d'épaisseur des matériaux perméables ci-contre ont été considérés :

Type de matériaux	Épaisseur
Silt et argile silteuse	n/a
Silt sableux ou graveleux	n/a
Sable ou gravier silteux	n/a
Sable	5 m et plus
Sable et gravier	5 m et plus
Hétérogène	7,5 m et plus
Roc fracturé	n/a

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Les principaux aquifères granulaires se retrouvent dans les sables et graviers des vallées des rivières Jacques-Cartier, Montmorency, des Pins et Hurons ainsi que dans les secteurs situés au nord de L'Ange-Gardien, au sud du lac Saint-Charles et à l'ouest du lac Beauport. Leur épaisseur maximale peut atteindre 50 m dans la vallée de la Jacques-Cartier, mais est plutôt de l'ordre de 15 à 30 mètres dans les autres secteurs.

Plus à l'est, les secteurs de Beaupré, de Saint-Ferréol-les-Neiges et de Saint-Tite-des-Caps comportent d'importants aquifères granulaires allant jusqu'à 30 m d'épaisseur.



F Les aquifères de dépôts meubles sont localisés dans les vallées.

Vrai Faux

F Les aquifères de dépôts meubles ne dépassent jamais 30 m d'épaisseur dans le secteur d'étude.

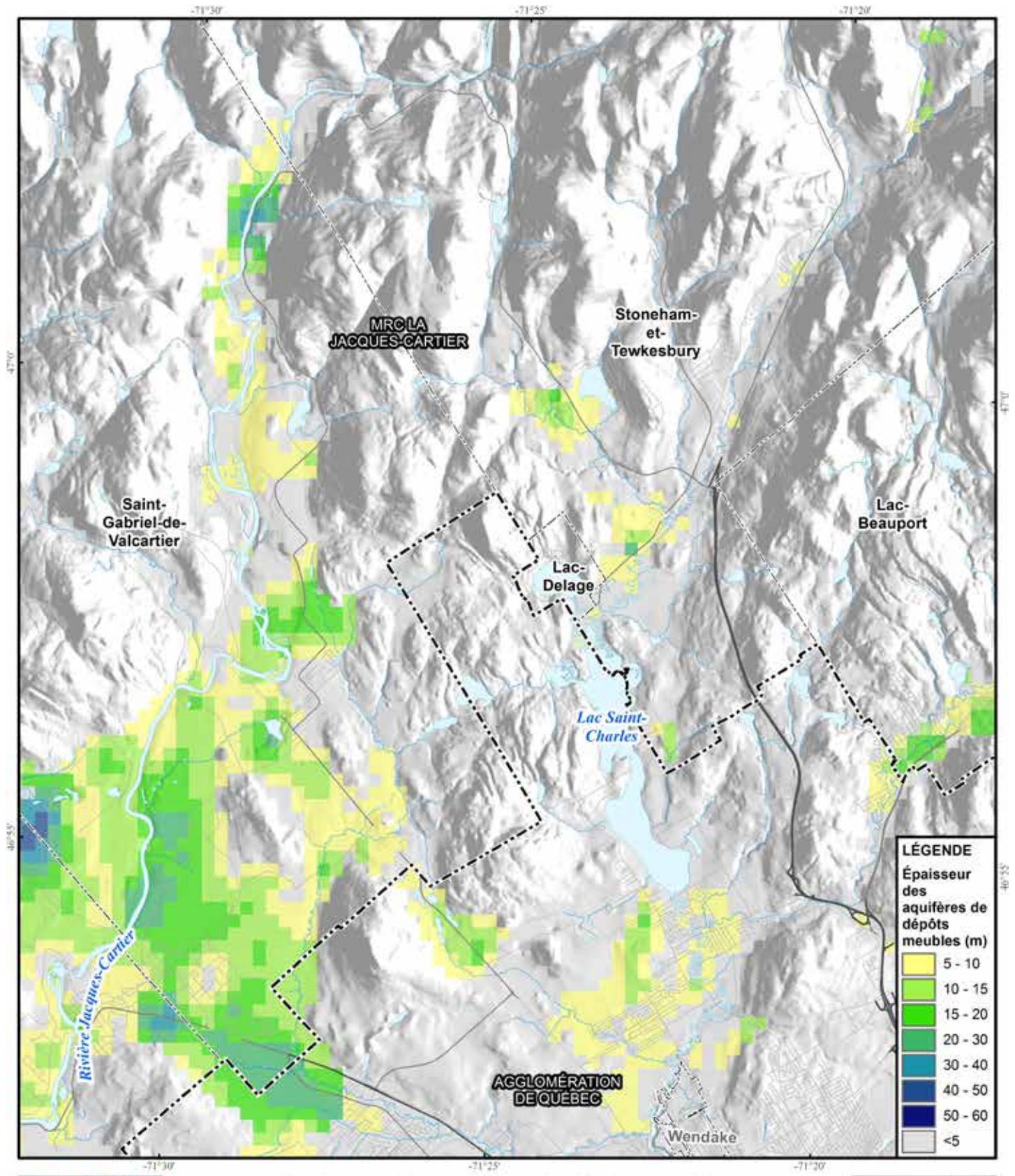
Vrai Faux

F Les aquifères de dépôts meubles correspondent à des zones où l'épaisseur totale des dépôts meubles est importante.

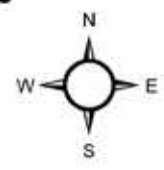
Vrai Faux

F Quels sont les types de sédiments considérés pour la délimitation des aquifères de dépôts meuble?

D Pourquoi une épaisseur plus importante des sédiments hétérogènes (7,5 m) a été considérée pour la délimitation des aquifères de dépôts meubles, en comparaison avec l'épaisseur des sables et des sables et graviers (5 m)?



Épaisseur des aquifères de dépôts meubles
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides



Confinement

Définition

Le confinement d'un aquifère est lié à son recouvrement par une couche de matériaux peu perméables (aquitard) qui isole l'eau souterraine qu'il contient. La nature et l'épaisseur des dépôts meubles déterminent le degré de confinement des aquifères. 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.



**AQUIFÈRE CONFINÉ,
NON CONFINÉ,
SEMI-CONFINÉ ET
AU CONFINEMENT
DISCONTINU** page 13

Méthode utilisée

Le confinement des aquifères a été déterminé, sur des mailles de 250 m x 250 m, grâce à la localisation et l'épaisseur des couches de sédiments fins (silt et argiles). Ces informations proviennent d'un modèle hydrostratigraphique 3D généré à partir de la définition des hydrofaciès, des coupes hydrostratigraphiques interprétées, des données de forages, de la géologie du Quaternaire, des levés géophysiques et de la carte de l'épaisseur des dépôts meubles. Les critères d'épaisseur des matériaux suivants ont été considérés :

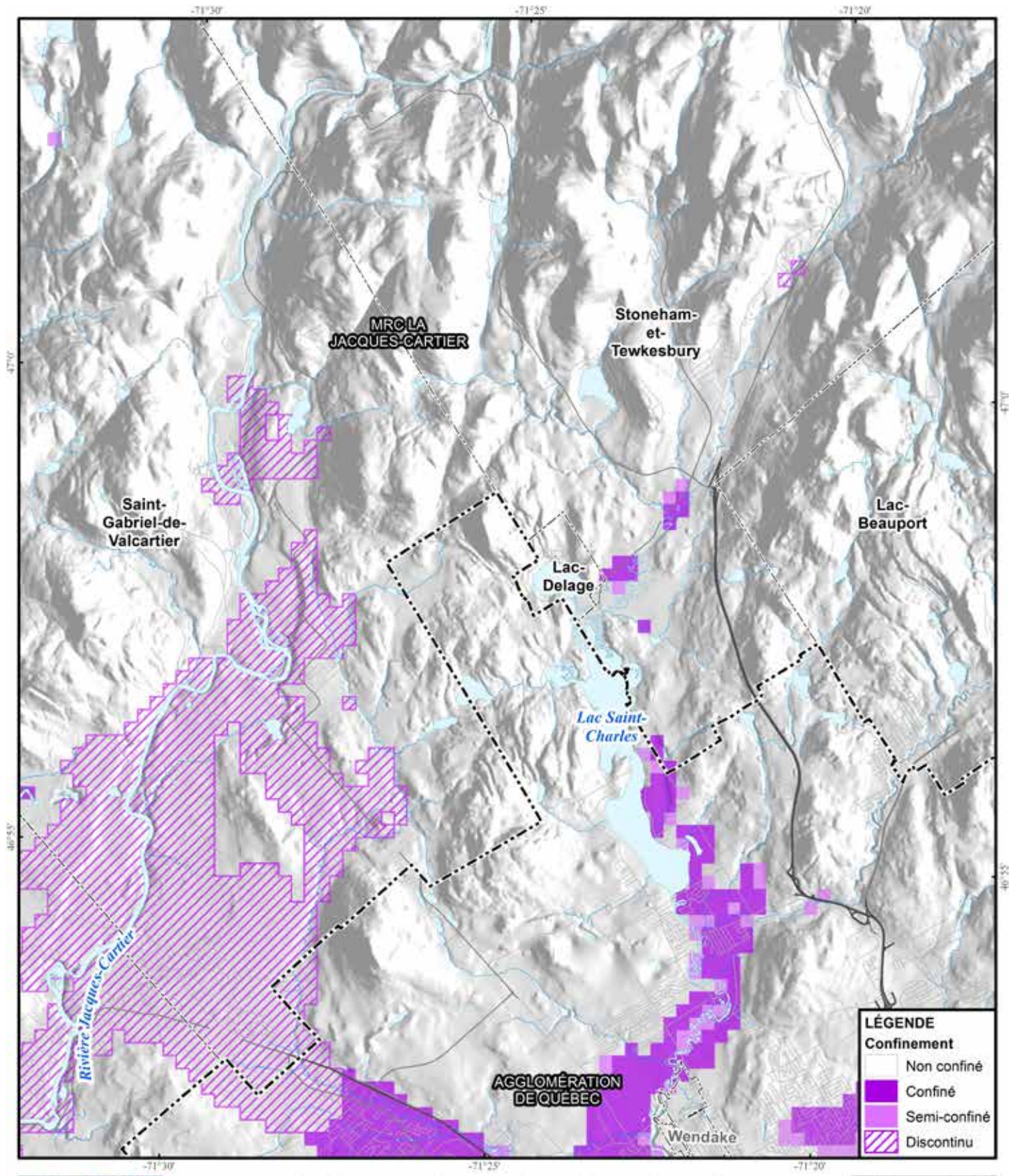
Type de matériaux	Épaisseur			
	Confiné	Semi-confiné	Non confiné	Discontinu
Silt et argile silteuse	5 m et plus	3 à 5 m	Moins de 3 m	n/a
Silt sableux ou graveleux	8 m et plus	5 à 8 m	Moins de 5 m	n/a
Sable ou gravier silteux	n/a	n/a	n/a	n/a
Sable	n/a	n/a	n/a	n/a
Sable et gravier	n/a	n/a	n/a	n/a
Hétérogène	n/a	n/a	n/a	8 m et plus
Roc fracturé	n/a	n/a	n/a	n/a

Interprétation pour le secteur des Laurentides

L'aquifère de roc fracturé est généralement non confiné. Toutefois, certains secteurs dans les vallées des rivières Nelson et Saint-Charles au nord de l'Agglomération de Québec ainsi que dans la vallée de la rivière aux Pins dans la partie nord de Shannon sont semi-confinés ou confinés. Le confinement du roc est généralement discontinu à l'endroit des grands complexes deltaïques de la rivière Jacques-Cartier, de l'est de la rivière Montmorency et du secteur de Saint-Ferréol-les-Neiges et de Saint-Tite-des-Caps.



- F** L'aquifère de roc fracturé de Lac-Beauport est partout non confiné sur le secteur d'étude.
Vrai Faux
- F** On retrouve des aquifères confinés sur certains sommets de collines.
Vrai Faux
- M** Les zones confinées ou semi-confinées sont localisées dans les vallées puisqu'on y retrouve des sédiments fluvioglaciers mis en place par les eaux de fonte des glaciers.
Vrai Faux
- M** Un aquifère non confiné est alimenté par l'eau des précipitations qui provient directement de la surface.
Vrai Faux
- F** Quels sont les types de sédiments considérés pour la détermination des conditions de confinement?
- M** Que signifient les conditions de confinement discontinu?



LÉGENDE

Confinement

- Non confiné
- Confiné
- Semi-confiné
- Discontinu



Confinement des aquifères de roc fracturé
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides



Piézométrie

Définition

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Si l'aquifère est non confiné, ce niveau correspond également à l'élévation de la **NAPPE** dans l'aquifère. Si l'aquifère est confiné, 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 non confiné et la pression dans un aquifère confiné. 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.



NAPPE page 12,
PIÉZOMÉTRIE,
NIVEAU
PIÉZOMÉTRIQUE
page 16

Méthode utilisée

Pour la majeure partie du territoire de la CMQ, la piézométrie des aquifères de roc fracturé a été estimée par interpolation, sur de mailles de 250 m X 250 m, à partir des niveaux d'eau mesurés dans les puits. La qualité de l'estimation dans un secteur dépend de la densité des puits à proximité. La piézométrie des aquifères de roc fracturé de la partie nord du territoire d'étude, à défaut d'une densité suffisante de puits pour l'interpolation, a été estimée à partir de la topographie.

Interprétation pour le secteur des Laurentides

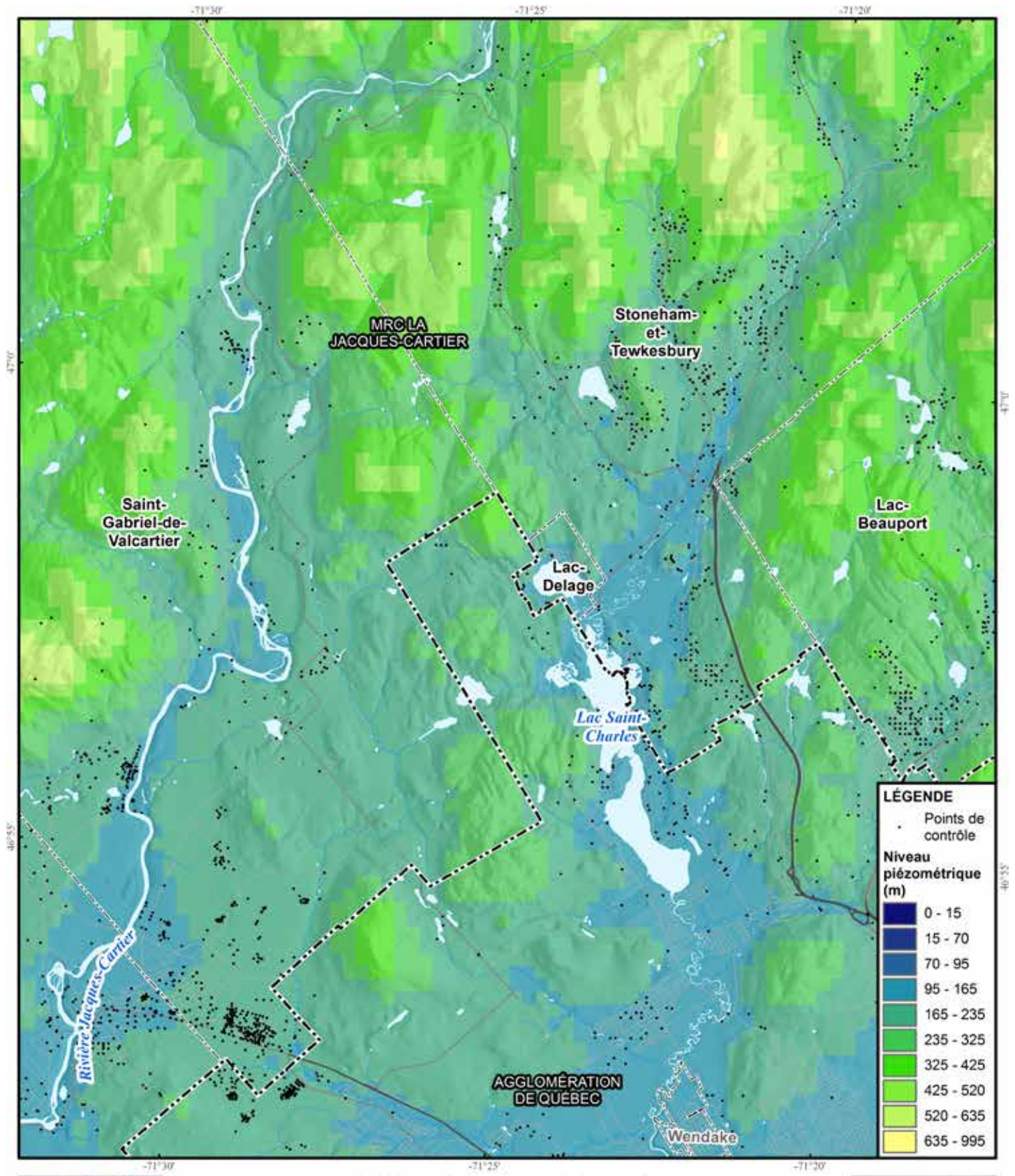
L'élévation des niveaux piézométriques passe de près de 1 000 m à la frontière nord de la CMQ à 0 m en bordure du fleuve Saint-Laurent. L'écoulement régional se fait donc du nord-ouest vers le sud-est et plus localement, des hauts topographiques vers le fond des vallées. Ultimement, le fleuve Saint-Laurent constitue l'axe majeur de résurgence de l'eau souterraine.

Les variations plus marquées de la piézométrie dans les Laurentides, combinées au réseau hydrographique plus dense, illustrent que l'écoulement se fait à une échelle beaucoup plus locale. Par conséquent, le temps résidence de l'eau souterraine dans les aquifères est probablement plus faible qu'ailleurs.

La nappe est généralement peu profonde (2 à 10 m). Les plus grandes profondeurs de niveau d'eau estimées (~20 m) se retrouvent où le relief s'accroît.



- F** On retrouve les niveaux piézométriques les plus élevés sur les versants des collines.
Vrai Faux
- F** L'eau souterraine s'écoule des niveaux piézométriques élevés aux niveaux piézométriques faibles.
Vrai Faux
- M** L'eau souterraine fait résurgence rapidement dans le fond des vallées escarpées dans le nord du secteur d'étude et passe donc peu de temps dans l'aquifère de roc fracturé.
Vrai Faux
- M** La municipalité de Lac-Delage reçoit son eau souterraine depuis les municipalités limitrophes.
Vrai Faux
- F** Quelle est la variation maximale du niveau piézométrique observé sur le secteur d'étude?
- M** Pour une municipalité s'approvisionnant en eau souterraine, pourquoi est-ce important de déterminer le sens d'écoulement de l'eau souterraine?



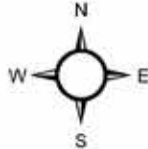
LÉGENDE

- Points de contrôle
- Niveau piézométrique (m)

0 - 15
15 - 70
70 - 95
95 - 165
165 - 235
235 - 325
325 - 425
425 - 520
520 - 635
635 - 995



Piézométrie du roc fracturé
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides



Recharge

Définition

La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau qui alimente l'aquifère depuis l'infiltration de 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
page 16

Méthode utilisée

La recharge annuelle a été estimée avec le modèle HELP, sur des mailles de 250 m x 250 m, en intégrant plusieurs données sur le climat, la végétation, l'occupation du territoire et sur les propriétés des sols, des dépôts et du roc. Le modèle HELP calcule aussi les autres paramètres du bilan hydrologique, soient l'évapotranspiration le ruissellement de surface et le ruissellement hypodermique (non présentés ici). La recharge a été estimée pour les aquifères de roc fracturé, à moins qu'un aquifère de dépôts meubles d'intérêt régional ne soit présent.

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Les taux de recharge des Laurentides sont les plus importants de la CMQ, avec des valeurs entre 400 et 500 mm/an, expliqués par des précipitations plus importantes (1370 mm/an) et la perméabilité accrue des dépôts de surface qui s'y trouvent. De plus, la radiation solaire plus faible et la plus courte saison de croissance des végétaux font en sorte que moins de précipitation participe à l'évapotranspiration et plus d'eau est disponible pour la recharge.

Quelques zones des Laurentides montrent des taux de recharge plus faibles, notamment dans le fond des vallées où la densité urbaine est accrue, de même que dans les secteurs où la pente du terrain est plus forte. Ces deux situations ont pour effet d'augmenter le ruissellement de surface et par conséquent, de diminuer la recharge. Les dépôts organiques semblent aussi limiter la recharge à moins de 100 mm/an dans le secteur de la rivière Jacques-Cartier.



F Les taux de recharge varient peu sur le secteur d'étude.

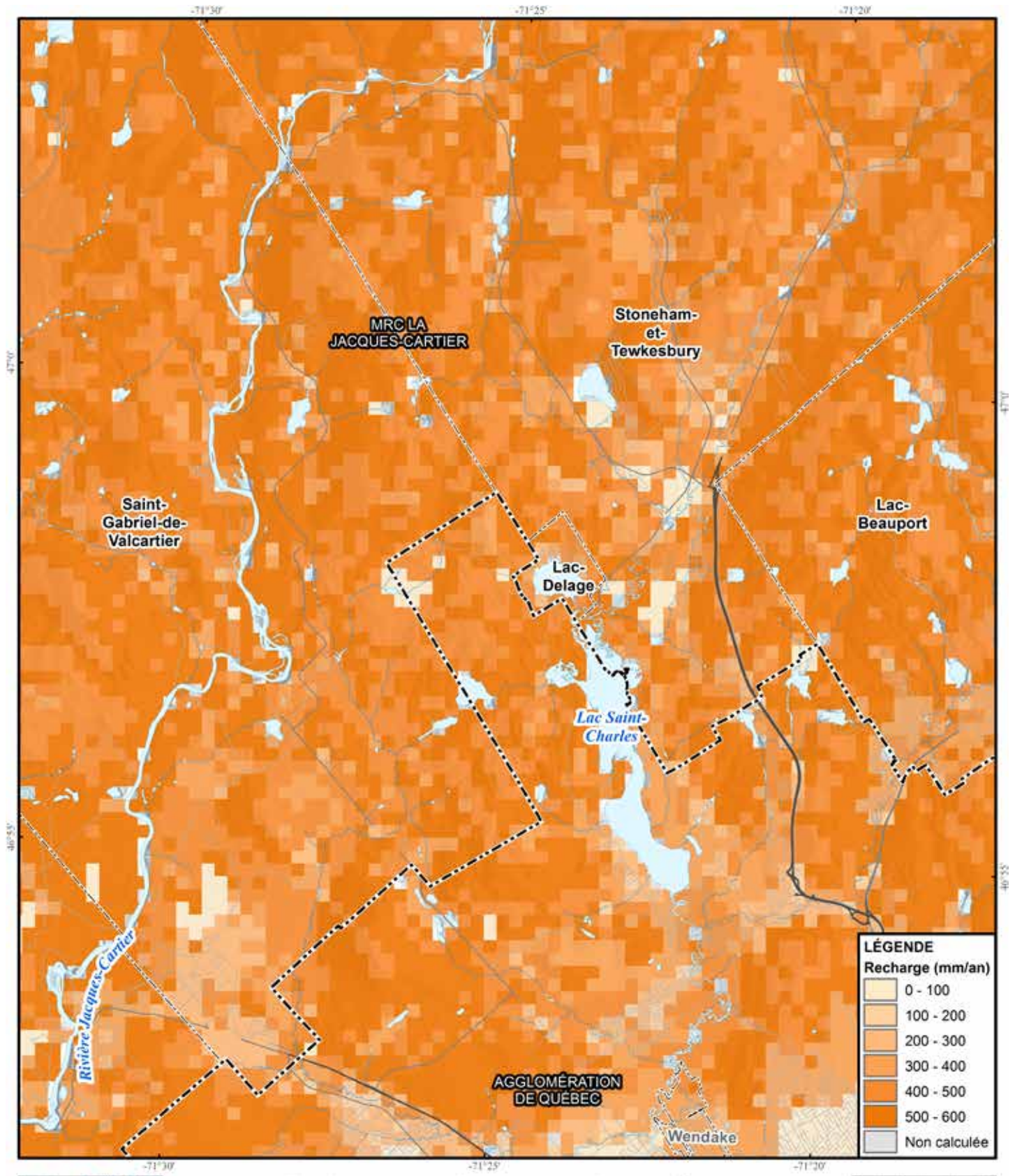
Vrai Faux

M La pente du terrain plus forte sur les versants des collines augmente la recharge.

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. Quel est le facteur ayant généralement le plus d'influence?

M Comment les eaux souterraines sont-elles liées hydrauliquement avec les milieux humides?



Recharge annuelle moyenne des aquifères
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides



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 conditions qui contribuent à la vulnérabilité d'un aquifère, « traduisant » ainsi la connaissance hydrogéologique en un outil facilement applicable par des non-spécialistes.



**VULNÉRABILITÉ,
DRASTIC** page 17

Méthode utilisée

La vulnérabilité a été évaluée, sur des mailles de 250 m x 250 m, par la méthode **DRASTIC** qui permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres physiques et hydrogéologiques. L'indice DRASTIC peut varier de 23 à 226. Trois classes de 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.

Interprétation pour le secteur des Laurentides

Sur les plateaux des Laurentides, où le roc est près de la surface et recouvert par des dépôts de till, l'indice est généralement moyen, entre 120 et 139. Par contre, dans le fond des vallées laurentiennes, des aquifères de dépôts meubles plus perméables et des pentes du sol plus faibles ont pour effet d'augmenter la vulnérabilité des aquifères de 140 à 191.

Dans le piémont laurentien, au droit des grands complexes de sédiments deltaïques ou fluvioglaciers, des indices DRASTIC élevés similaires sont observés. Ces zones vulnérables se situent dans les vallées des rivières Jacques-Cartier, Montmorency, Sainte-Anne, des Pins, des Hurons ainsi que de la rivière Jaune.



F On retrouve les trois classes de degrés de vulnérabilité sur ce secteur d'étude, soit faible, moyen et élevé.

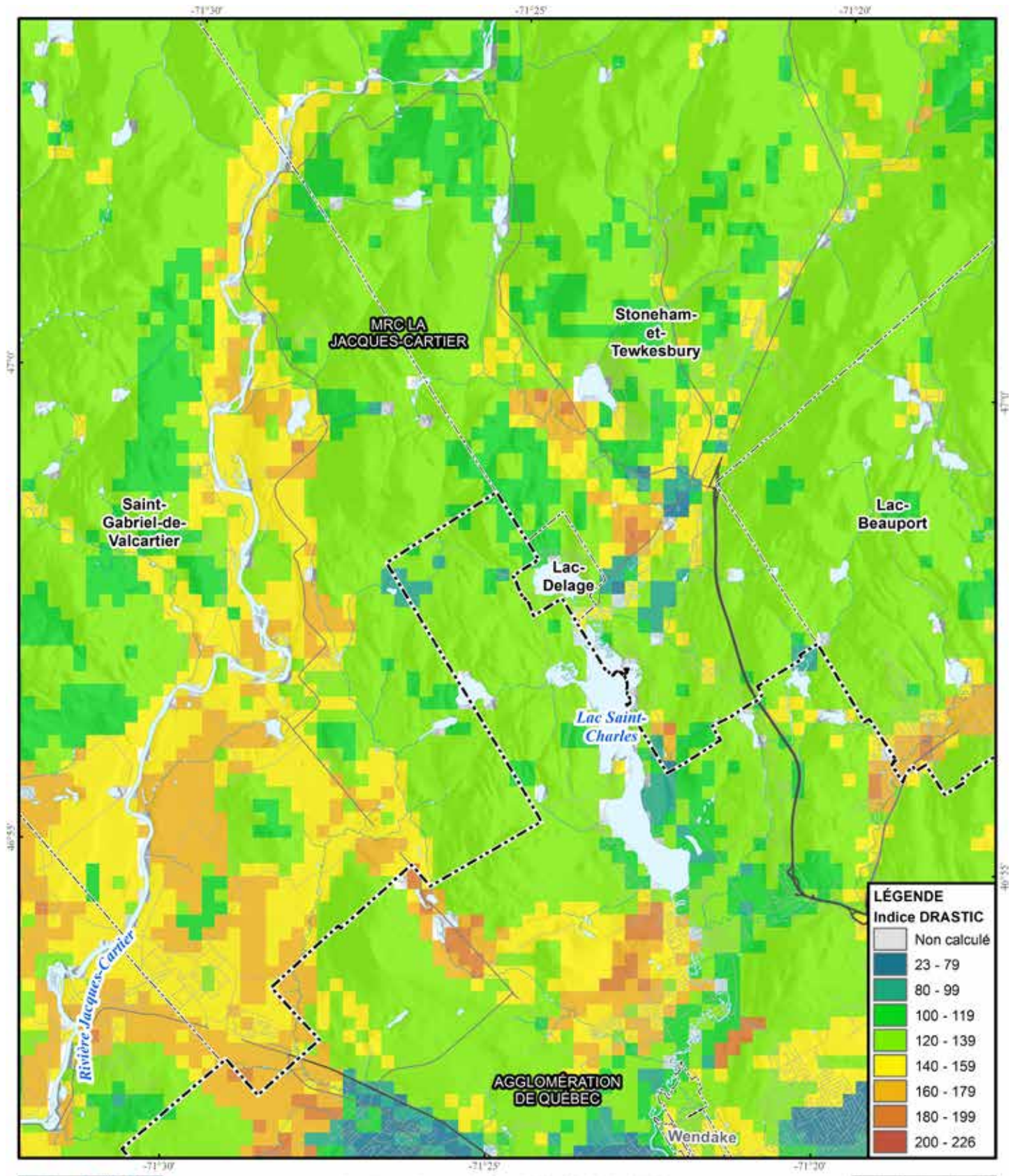
Vrai Faux

F L'aquifère de dépôts meubles situé au sud de Lac-Beauport est particulièrement vulnérable à la pollution qui pourrait provenir de la surface.

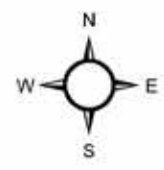
Vrai Faux

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

M Pourquoi la vulnérabilité n'est-elle pas élevée sur les hauts topographiques?



Indice de vulnérabilité DRASTIC
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides



Qualité de l'eau

Définition

La qualité de l'eau s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES** (CMA) sont des normes visant à éviter des risques pour la santé humaine. Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES** (OE) sont des recommandations concernant les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effets néfastes reconnus sur la santé humaine.



**CONCENTRATIONS
MAXIMALES
ACCEPTABLES,
OBJECTIFS
ESTHÉTIQUES**

page 18

Méthode utilisée et interprétation pour l'ensemble du territoire de la CMQ

Dans le cadre du PACES, 140 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, soit provenant de 109 puits au roc, 29 puits dans les dépôts meubles et 2 puits dans des aquifères indéterminés. Les dépassements de CMA et d'OE suivants ont été relevés :

Paramètre	CMA ou OE	Nb de dépassements	Proportion des échantillons	Norme ou recommandation fondée sur :
Baryum (Ba)	CMA : 1,0 mg/L	2	1,4 %	Maladies cardiovasculaires et hausse de pression artérielle
Fluorures (F)	CMA : 1,5 mg/L	18	12,9 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Aluminium (Al)	OE : ≤ 0,1 mg/L	6	4,3 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlorures (Cl)	OE : ≤ 250 mg/L	9	6,4 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté totale (CaCO ₃)	OE : ≤ 200 mg/L	5	4,6 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	OE : ≤ 0,3 mg/L	17	12,1 %	Goût et taches sur la lessive et accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	OE : ≤ 0,05 mg/L	24	17,1 %	Goût et taches sur la lessive et accessoires de plomberie
Matière dissoute totale (MDT)	OE : ≤ 500 mg/L	21	19,3 %	Goût et entartrage
Sodium (Na)	OE : ≤ 200 mg/L	13	9,3 %	Goût
pH	OE : entre 6,5 et 8,5	69	50,0 %	Influence sur l'efficacité du traitement
Sulfates (SO ₄)	OE : ≤ 500 mg/L	1	0,7 %	Goût
Sulfures (S)	OE : ≤ 0,05 mg/L	11	7,9 %	Goût et odeur

Les seuls dépassements de CMA concernent le baryum (Ba) et les fluorures (F). Ils proviennent tous d'échantillons prélevés dans des puits au roc et ne montrent pas de tendance spatiale particulière.

Les dépassements en sodium (Na) et chlorures (Cl) sont surtout dans les Appalaches et les Basses-Terres, sous la limite d'incursion marine (210 m d'élévation), et sont aussi associés aux dépassements en matière dissoute totale (MDT). La Mer de Champlain est la source la plus probable de ces concentrations élevées qui sont caractéristiques d'une évolution avancée des eaux souterraines.

Les dépassements en fer (Fe) et en manganèse (Mn) sont dispersés sur le territoire, mais tous les échantillons prélevés dans la basse ville de Québec présentent des dépassements. C'est aussi à cet endroit que sont localisés les dépassements du critère de la dureté.

Les dépassements en aluminium (Al) ne présentent pas de tendance spatiale, mais tous les dépassements se retrouvent dans le roc.

Les dépassements pour les sulfures (S) sont localisés dans la partie ouest de la CMQ, autant dans les aquifères granulaires que de roc.

En se basant sur les dépassements du critère pour le pH, il semble que les eaux souterraines des Basses-terres et des Appalaches soient plus alcalines. À l'opposé, les eaux plus acides se retrouvent presque exclusivement dans les Laurentides.

La nature de la roche et des sédiments, et l'incursion de la Mer de Champlain expliqueraient la plupart des dépassements des critères de qualité de l'eau (CMA et OE). La qualité naturelle de l'eau souterraine de la CMQ est considérée comme étant généralement bonne.

F Les problèmes liés au baryum dans l'eau potable sont fréquents sur le secteur d'étude.

Vrai Faux

F Les dépassements en fluorures du secteur d'étude proviennent tous d'échantillons prélevés dans le roc.

Vrai Faux

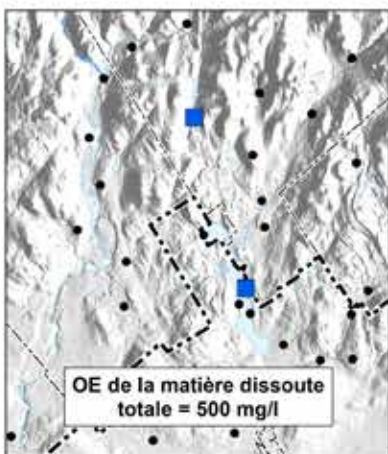
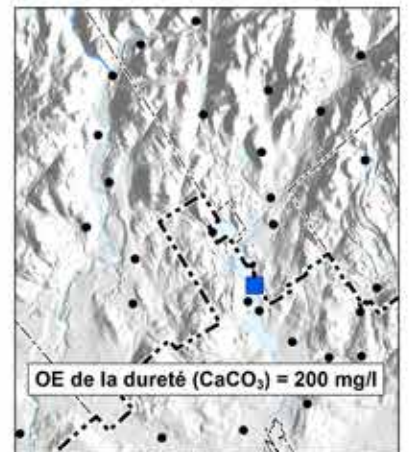
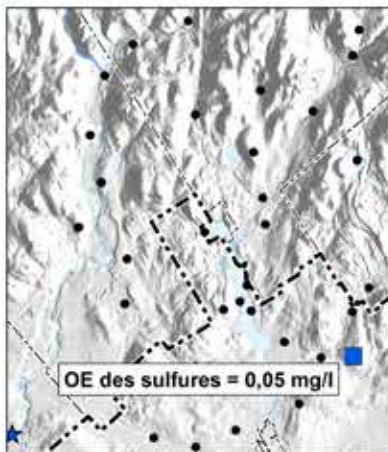
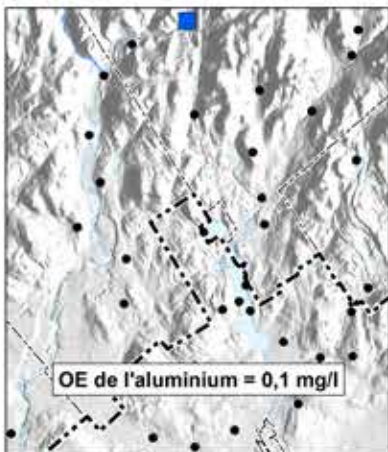
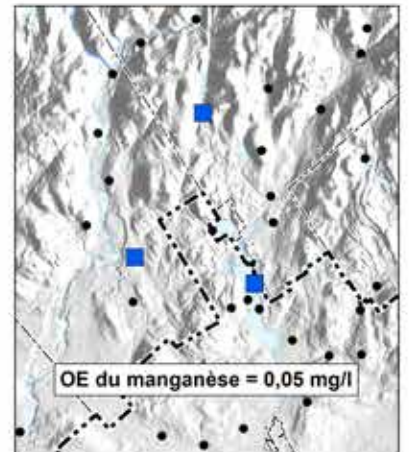
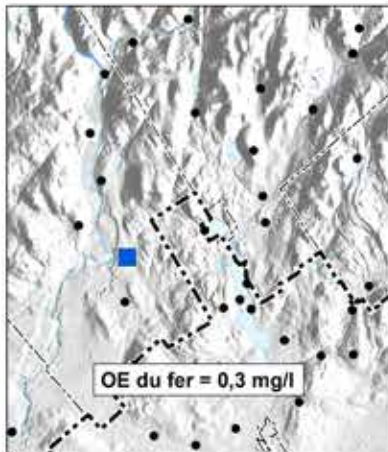
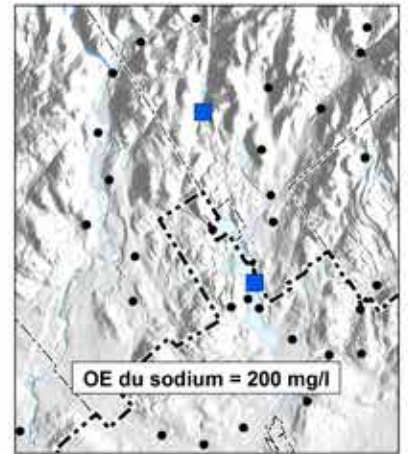
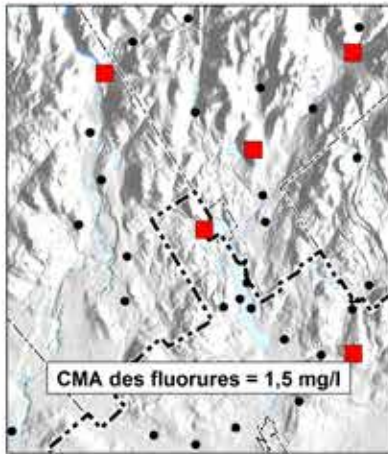
M Les roches du Bouclier Canadien rendraient le pH de l'eau souterraine relativement neutre.

Vrai Faux

M Pourquoi les dépassements en baryum sont-ils problématiques?

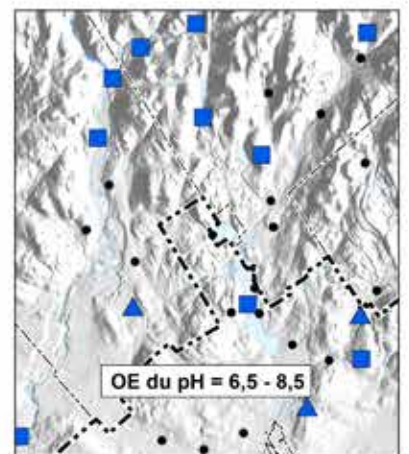


M Est-ce que les activités humaines sont responsables des dépassements des normes pour l'eau potable (expliquez votre raisonnement)?

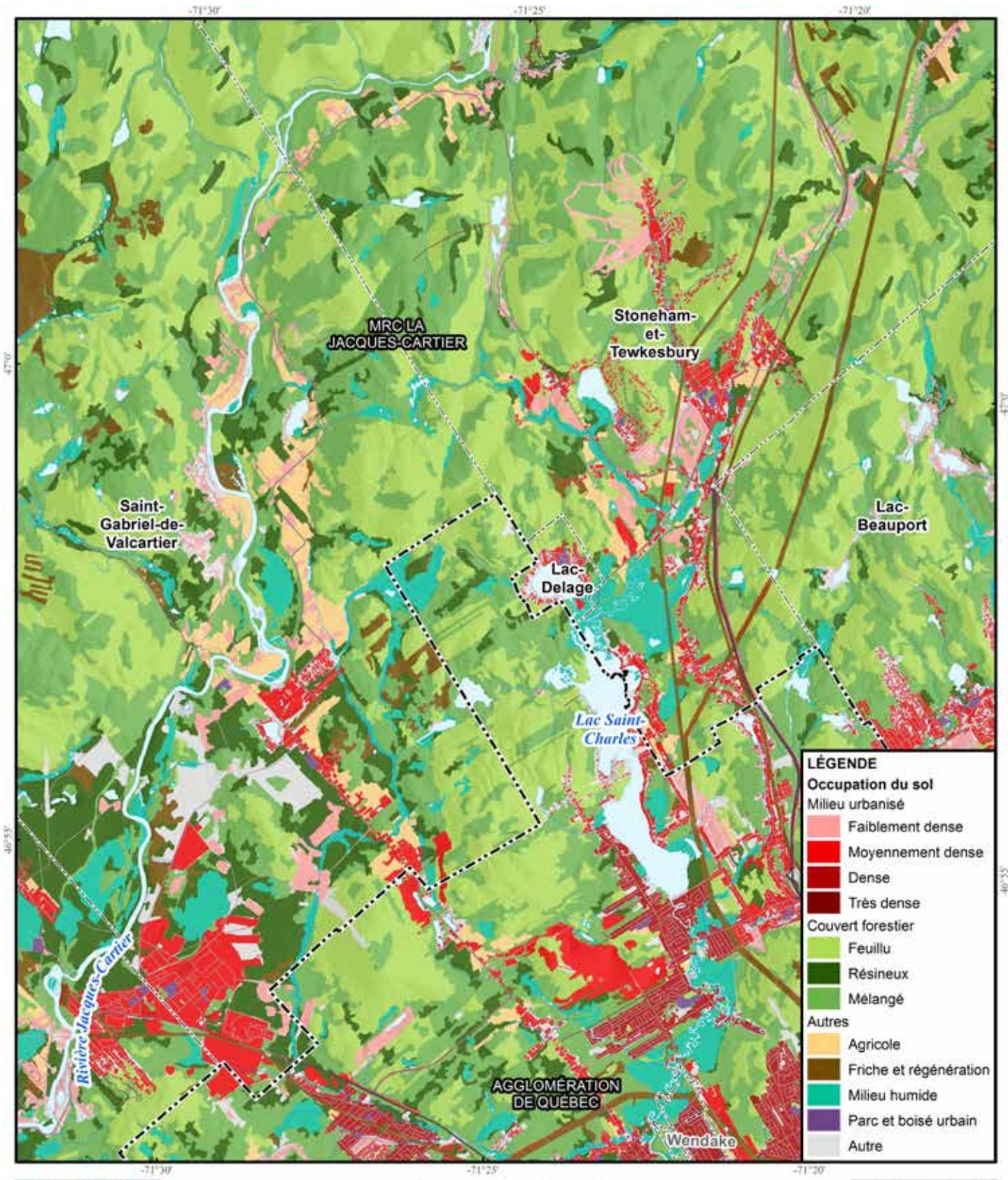


LÉGENDE	
Dépassement de la CMA	Dépassement de l'OE
■ Aquifère fracturé	■ Aquifère fracturé
▲ Aquifère granulaire	▲ Aquifère granulaire
• Sans dépassement	★ Aquifère inconnu
	• Sans dépassement

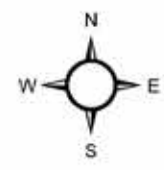
Qualité de l'eau souterraine
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides

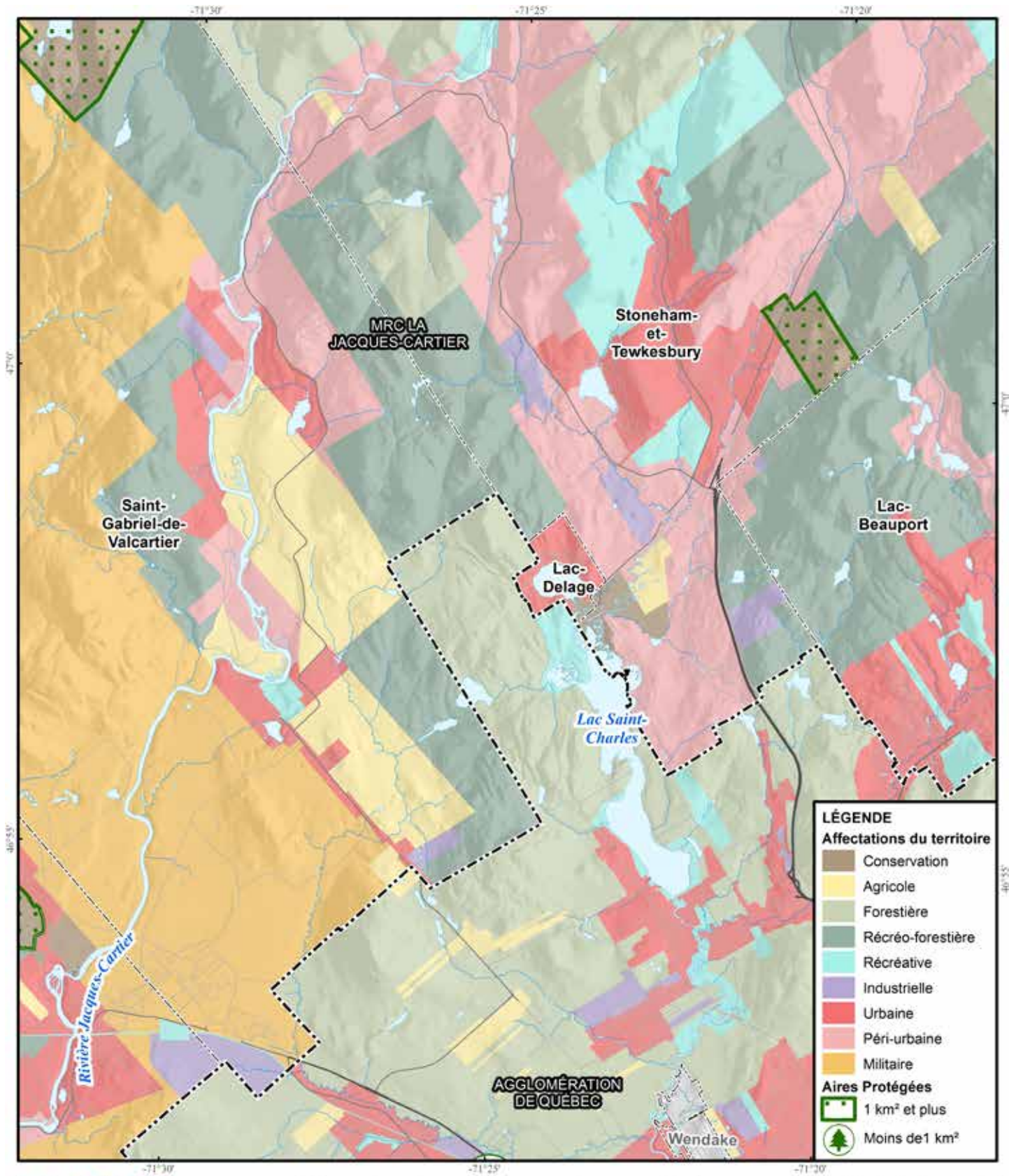


Exercice de synthèse : Si demain une municipalité du secteur des Laurentides devait rechercher une nouvelle source d'eau potable souterraine, quelle zone serait la plus propice?

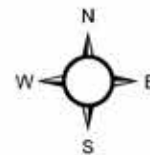


Occupation du sol
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides

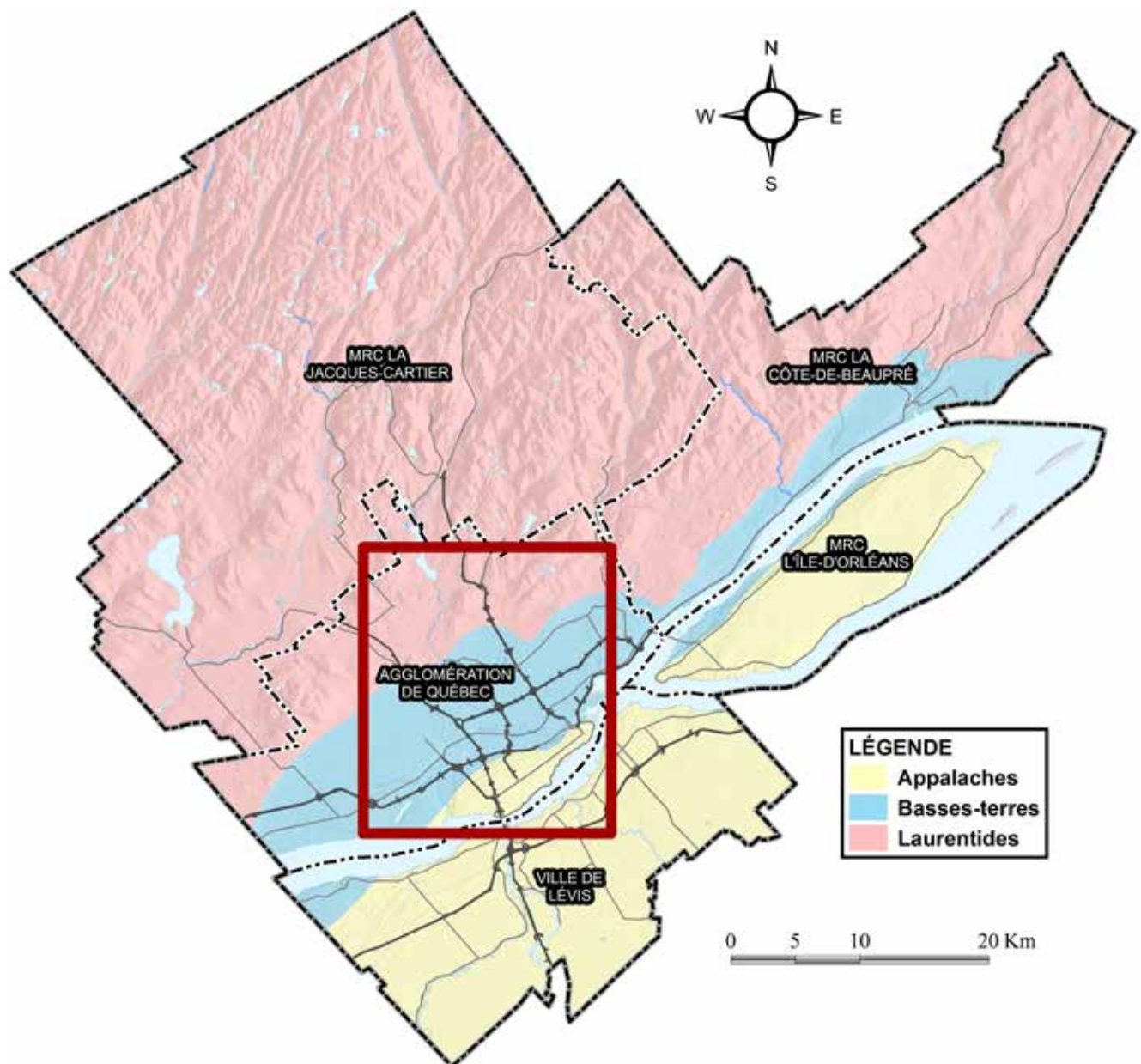




Affectation du territoire et aires protégées
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Laurentides



4. Les contextes hydrogéologiques des Basses-terres



Coupe hydrostratigraphique

Définition

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

Méthode utilisée

Les coupes sont dessinées à partir du type de dépôts meubles cartographié en surface sur la carte de la Géologie du Quaternaire (non présentée ici) et des données de forages qui donnent des informations sur les matériaux géologiques rencontrés en profondeur. Une interprétation a été faite sur les regroupements de matériaux géologiques ayant des propriétés hydrogéologiques similaires (hydrofaciès) ainsi que sur la continuité latérale des unités d'un forage à l'autre.

Description de la coupe

La coupe C-C' de 6 km est située dans la basse ville de Québec et montre le contexte hydrogéologique du delta du Proto-Saint-Laurent. Dans ce secteur de la vallée de la rivière Saint-Charles, une importante dépression du roc est observée avec une remontée au centre comblée par des dépôts meubles pouvant atteindre 80 m d'épaisseur. Le contact entre les roches des Appalaches du Promontoire de Québec et celles de la Plate-forme du Saint-Laurent est visible au sud-est de la coupe.

En surface, des alluvions d'origines estuarienne et fluviale forment une couche de silt sableux. En dessous, des sédiments deltaïques du Proto-Saint-Laurent composés de sable et d'une mince couche graveleuse à la base recouvrent des sédiments marins d'eau profonde composés de silt. Au contact avec le roc se trouvent les sédiments du pré-Wisconsinien supérieur constitués principalement de silt sableux ou graveleux.

On retrouve donc deux aquifères distincts importants à l'échelle régionale et séparés par les silts marins profonds: le premier se trouve dans le roc fracturé et l'autre dans la couche de sable d'origine deltaïque. D'après l'interprétation de la coupe, la rivière Saint-Charles serait perchée sur ses alluvions silteuses de faible perméabilité.

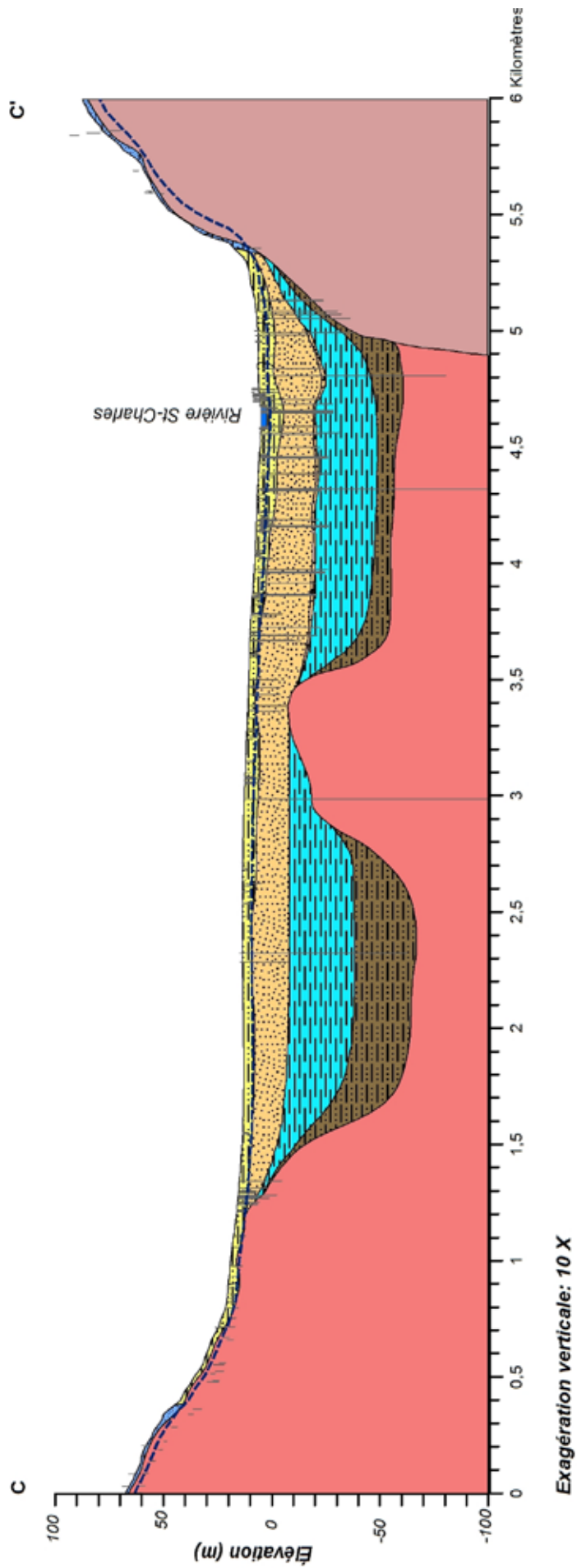
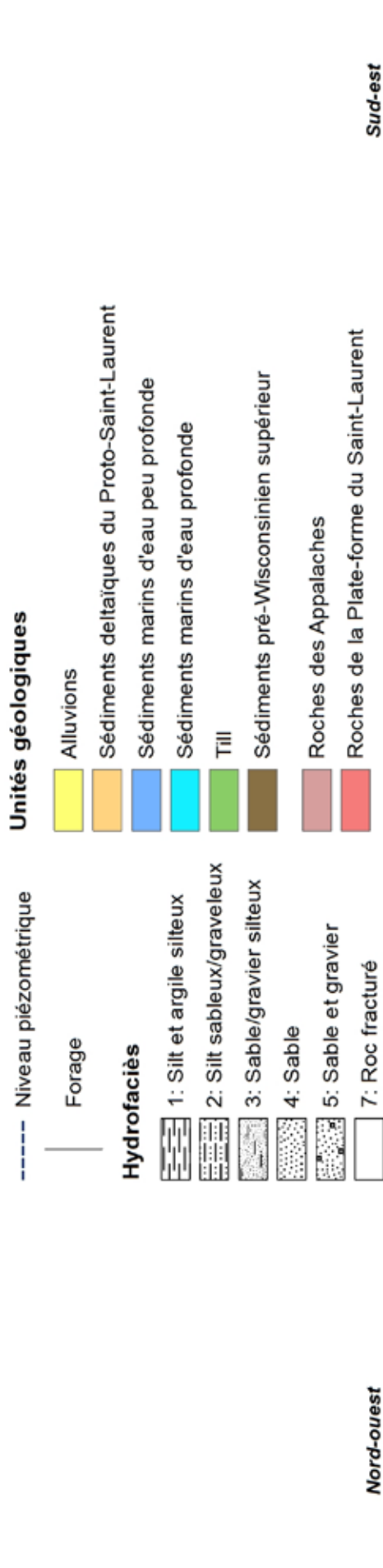


- F** L'aquifère de dépôts meubles de sables deltaïques est partout présent sur la coupe.
Vrai Faux
- M** La rivière Saint-Charles est perchée sur ses alluvions silteuses de faible perméabilité et n'est pas en contact hydraulique avec l'aquifère de roc fracturé.
Vrai Faux
- M** L'aquifère de sables deltaïques, tout comme celui de roc fracturé, est protégé de la contamination qui proviendrait de la surface.
Vrai Faux

- M** La nappe de l'aquifère de roc fracturé atteint près de 50 m de profondeur sur la coupe.
Vrai Faux
- F** Quelle est l'épaisseur maximale approximative de dépôts meubles que l'on retrouve sur cette coupe?
D La rivière Saint-Charles est-elle alimentée par de l'eau souterraine sur cette coupe (expliquez votre raisonnement)?



Coupe hydrostratigraphique C - C' Delta du Proto-Saint-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), peu perméables et suffisamment épais, ils formeront plutôt un **AQUITARD**. Les informations sur l'épaisseur des dépôts meubles peuvent aussi s'avérer utiles dans d'autres domaines que l'hydrogéologie comme la géotechnique et la construction de bâtiments et d'infrastructures.



AQUIFÈRE,
AQUITARD page 12,
DÉPÔTS MEUBLES
page 14

Méthode utilisée

Les informations sur l'épaisseur et le type de dépôts meubles proviennent principalement des données de forage, des levés géophysiques et des affleurements rocheux. Pour la majorité du territoire de la CMQ, l'épaisseur totale des dépôts meubles a été estimée par interpolation, sur de mailles de 250 m X 250 m. La qualité de l'estimation dans un secteur dépend de la densité des données à proximité. Dans la portion nord du territoire d'étude, le nombre de forages étant trop faible pour appliquer la méthode d'interpolation, l'épaisseur des dépôts a été déterminée selon le type de dépôts meubles cartographié en surface.

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

L'épaisseur des dépôts meubles, qui varie approximativement de 0 à 80 m, est plus importante dans le delta du Proto-Saint-Laurent dans la basse ville de Québec et à l'embouchure de la rivière du Cap-Rouge. Une zone plus épaisse se trouve aussi dans le nord-ouest de l'Agglomération de Québec, près de la rivière Nelson, et une autre un peu au nord de l'embouchure de la rivière Montmorency.

De manière générale, pour tout le secteur de la rive nord, l'élévation du roc diminue du nord vers le sud, passant de près de 1000 m à la frontière nord de la CMQ à 70 m sous le niveau moyen de la mer dans le secteur de la basse ville de Québec. Le roc est relativement plat dans les Basses-terres, avec quelques escarpements.



F Le territoire de Wendake repose sur des dépôts meubles épais.

Vrai Faux

M La fiabilité de l'estimation de l'épaisseur des dépôts est partout très bonne.

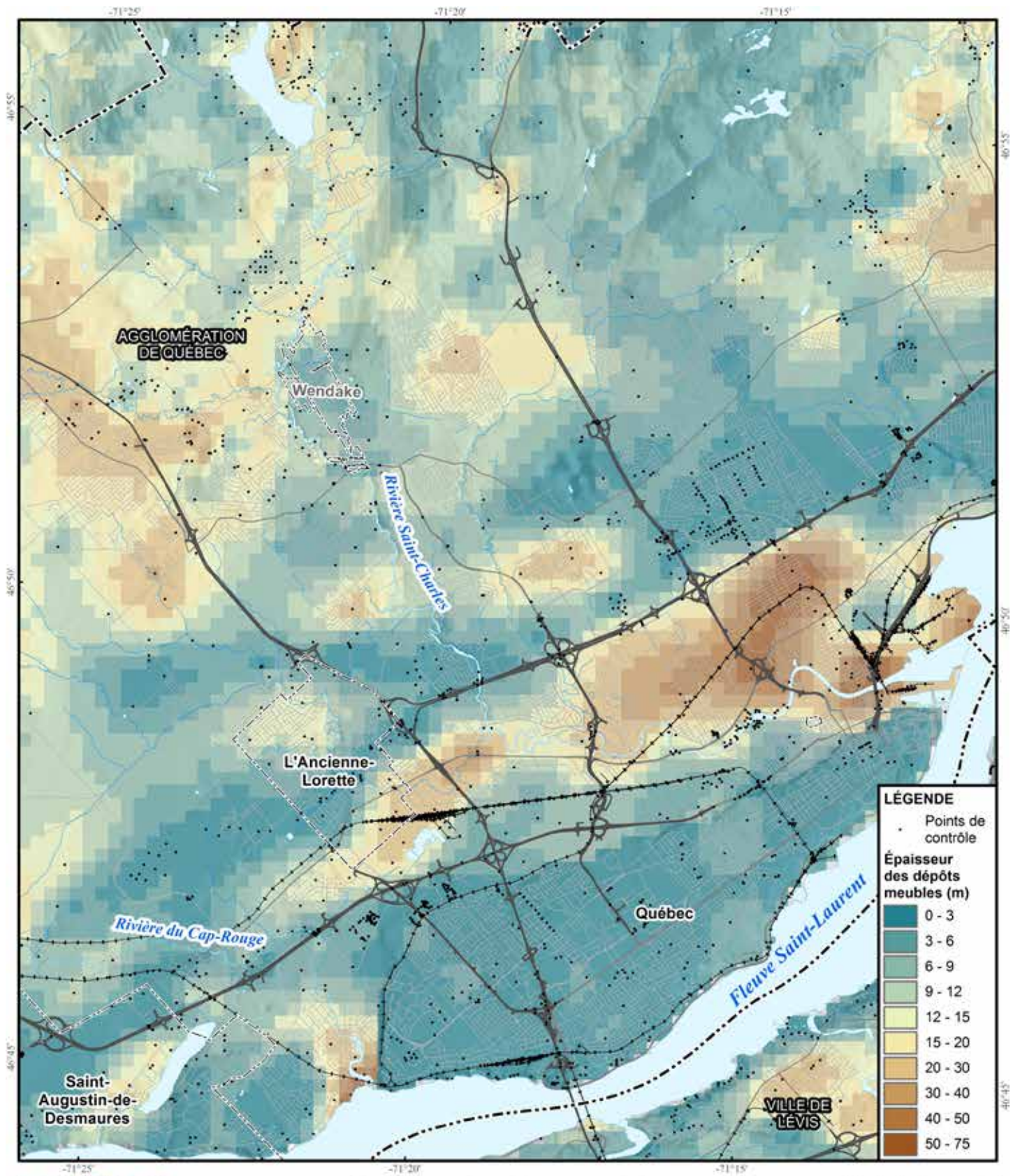
Vrai Faux

M À l'embouchure de la rivière Saint-Charles, la surface du roc se situe à plus de 50 m sous le niveau de la mer.

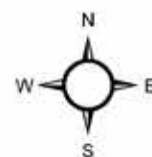
Vrai Faux

F Où retrouve-t-on l'épaisseur maximale de dépôts meubles dans le secteur d'étude et quelle est cette épaisseur approximative?

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



Épaisseur des dépôts meubles
 COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres



Épaisseur des aquifères de dépôts meubles

Définition

Un **AQUIFÈRE** est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage. Un **AQUIFÈRE DE DÉPÔT MEUBLE** est constitué de particules grossières (sables et graviers), car plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable. Le pompage de débits importants est alors souvent possible.



AQUIFÈRE page 12,
AQUIFÈRE DE DÉPÔTS MEUBLES
page 14

Méthode utilisée

La délimitation des aquifères de dépôts meubles d'intérêt régional a été déterminée, sur des mailles de 250 m x 250 m, grâce à la localisation et l'épaisseur des couches de sable ou de gravier qui sont saturés en eau, c.-à.-d. sous le niveau piézométrique. Ces informations proviennent d'un modèle hydrostratigraphique 3D généré à partir de la définition des hydrofaciès, des coupes hydrostratigraphiques interprétées, des données de forages, de la géologie du Quaternaire, des levés géophysiques et de la carte de l'épaisseur des dépôts meubles. Les critères d'épaisseur des matériaux perméables ci-contre ont été considérés :

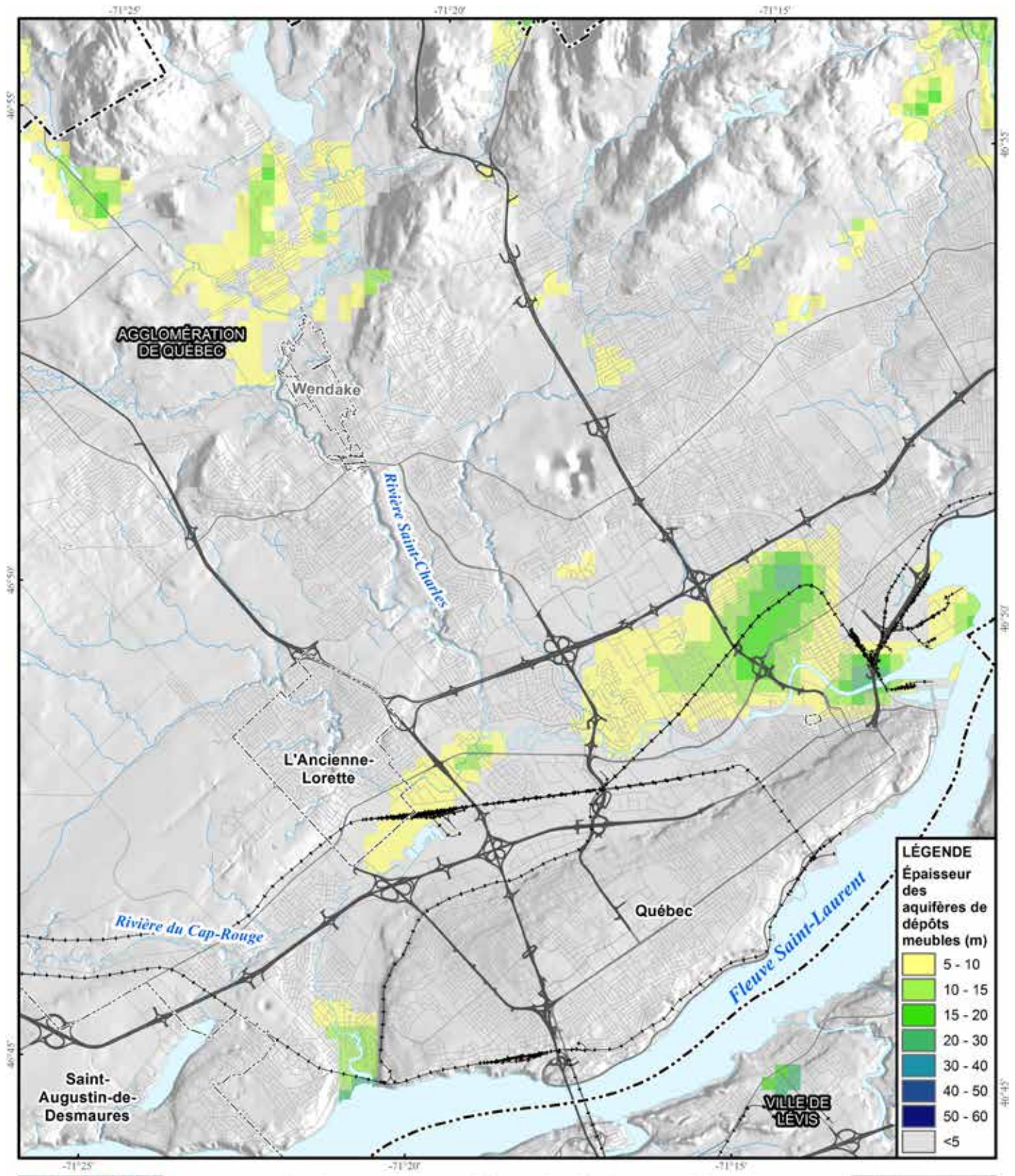
Type de matériaux	Épaisseur
Silt et argile silteuse	n/a
Silt sableux ou graveleux	n/a
Sable ou gravier silteux	n/a
Sable	5 m et plus
Sable et gravier	5 m et plus
Hétérogène	7,5 m et plus
Roc fracturé	n/a

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

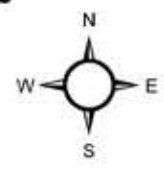
On retrouve les seuls aquifères de dépôts meubles importants des Basses-terres dans la basse ville de Québec et à l'embouchure de la rivière Cap-Rouge. Il s'agit des sédiments deltaïques du Proto-Saint-Laurent, dont l'épaisseur atteint 30 m.



- F** Les aquifères de dépôts meubles sont localisés dans des dépressions de la surface du roc.
Vrai Faux
- F** Les aquifères de dépôts meubles ne dépassent jamais 30 m d'épaisseur dans le secteur d'étude.
Vrai Faux
- F** La Couronne Nord des Basses-terres du Saint-Laurent présente plusieurs aquifères de dépôts meubles importants.
Vrai Faux
- M** Pourquoi certaines zones aux épaisseurs importantes de dépôts meubles ne présentent pas d'aquifères de dépôts meubles?
- M** Pourquoi l'aquifère important de dépôts meubles du Proto-Saint-Laurent n'est pas considéré comme un aquifère d'intérêt pour l'exploitation des eaux souterraines?



Épaisseur des aquifères de dépôts meubles
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres



Confinement

Définition

Le confinement d'un aquifère est lié à son recouvrement par une couche de matériaux peu perméables (aquitard) qui isole l'eau souterraine qu'il contient. La nature et l'épaisseur des dépôts meubles déterminent le degré de confinement des aquifères. 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.



**AQUIFÈRE CONFINÉ,
NON CONFINÉ,
SEMI-CONFINÉ ET
AU CONFINEMENT
DISCONTINU** page 13

Méthode utilisée

Le confinement des aquifères a été déterminé, sur des mailles de 250 m x 250 m, grâce à la localisation et l'épaisseur des couches de sédiments fins (silt et argiles). Ces informations proviennent d'un modèle hydrostratigraphique 3D généré à partir de la définition des hydrofaciès, des coupes hydrostratigraphiques interprétées, des données de forages, de la géologie du Quaternaire, des levés géophysiques et de la carte de l'épaisseur des dépôts meubles. Les critères d'épaisseur des matériaux suivants ont été considérés :

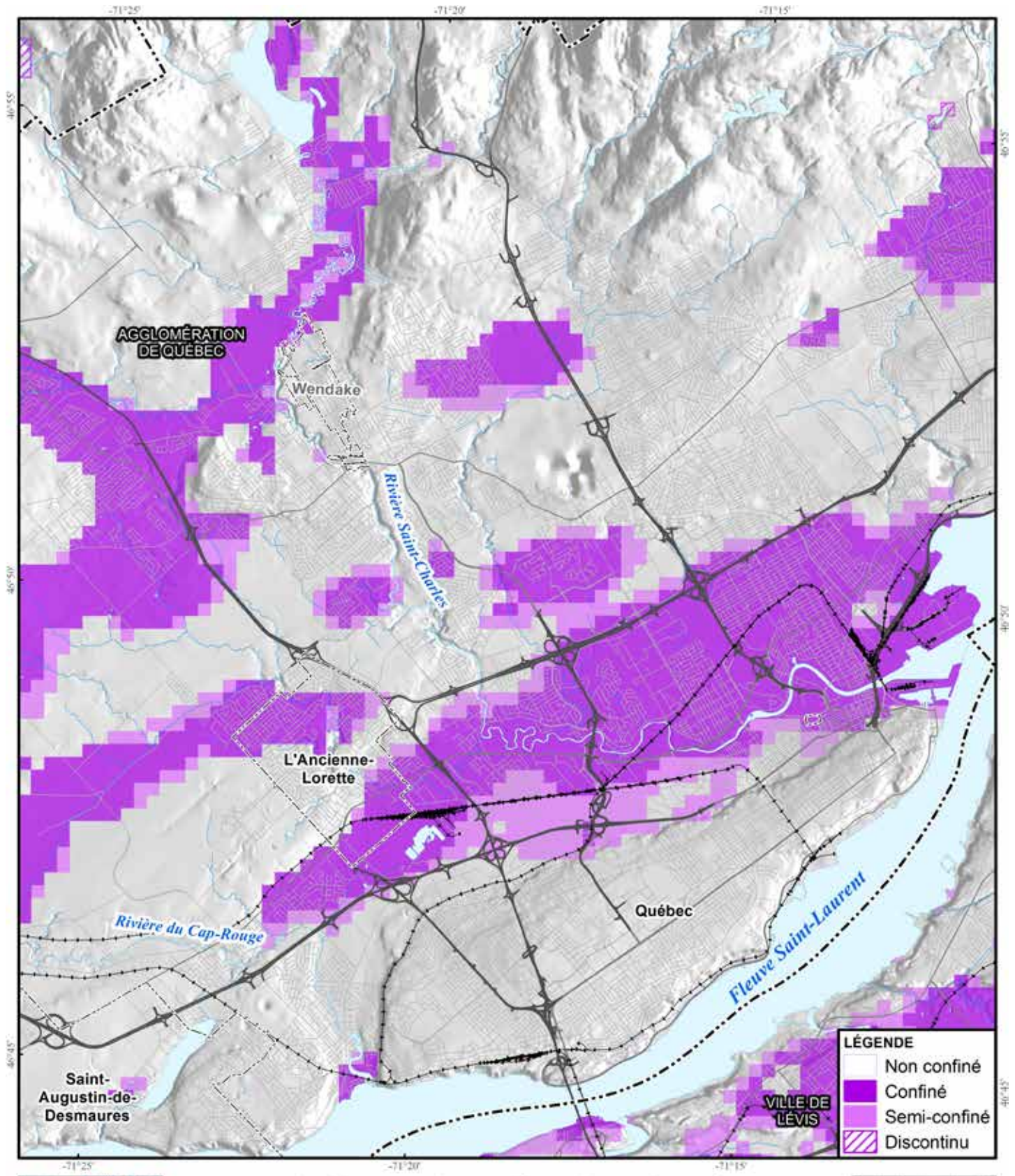
Type de matériaux	Épaisseur			
	Confiné	Semi-confiné	Non confiné	Discontinu
Silt et argile silteuse	5 m et plus	3 à 5 m	Moins de 3 m	n/a
Silt sableux ou graveleux	8 m et plus	5 à 8 m	Moins de 5 m	n/a
Sable ou gravier silteux	n/a	n/a	n/a	n/a
Sable	n/a	n/a	n/a	n/a
Sable et gravier	n/a	n/a	n/a	n/a
Hétérogène	n/a	n/a	n/a	8 m et plus
Roc fracturé	n/a	n/a	n/a	n/a

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

Les Basses-terres du Saint-Laurent se trouvent sous la limite de transgression de la Mer de Champlain ayant potentiellement laissé une couverture de sédiments fins imperméables. L'aquifère de roc fracturé est confiné ou semi-confiné par endroit, notamment en bordure du fleuve à l'est de la MRC de La Côte-de-Beaupré, à l'ouest de la rivière Montmorency, dans le delta du Proto-Saint-Laurent et dans les zones de dépôts épais de l'Agglomération de Québec. Ailleurs, l'aquifère de roc fracturé est non confiné.



- F** Les silt sableux ou graveleux sont moins confinants que les silt et argiles silteuses.
Vrai Faux
- M** Lorsque la surface du sol est à plus de 200 m d'altitude, on retrouve uniquement des aquifères non confinés.
Vrai Faux
- M** Des portions de l'aquifère de roc fracturé de L'Ancienne-Lorette sont bien protégées de la contamination provenant directement de la surface.
Vrai Faux
- D** L'aquifère de dépôts meubles du Proto-Saint-Laurent est presque partout confiné.
Vrai Faux
- F** Pourquoi certaines zones aux épaisseurs importantes de dépôts meubles ne présentent pas de conditions de confinement?
- M** Pourquoi les sédiments fins de moins de 3 m d'épaisseur ne sont-ils pas considérés dans la détermination des conditions de confinement?



Confinement des aquifères de roc fracturé
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres



Piézométrie

Définition

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Si l'aquifère est non confiné, ce niveau correspond également à l'élévation de la **NAPPE** dans l'aquifère. Si l'aquifère est confiné, 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 non confiné et la pression dans un aquifère confiné. 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.



NAPPE page 12,
PIÉZOMÉTRIE,
NIVEAU
PIÉZOMÉTRIQUE
page 16

Méthode utilisée

Pour la majeure partie du territoire de la CMQ, la piézométrie des aquifères de roc fracturé a été estimée par interpolation, sur de mailles de 250 m X 250 m, à partir des niveaux d'eau mesurés dans les puits. La qualité de l'estimation dans un secteur dépend de la densité des puits à proximité. La piézométrie des aquifères de roc fracturé de la partie nord du territoire d'étude, à défaut d'une densité suffisante de puits pour l'interpolation, a été estimée à partir de la topographie.

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

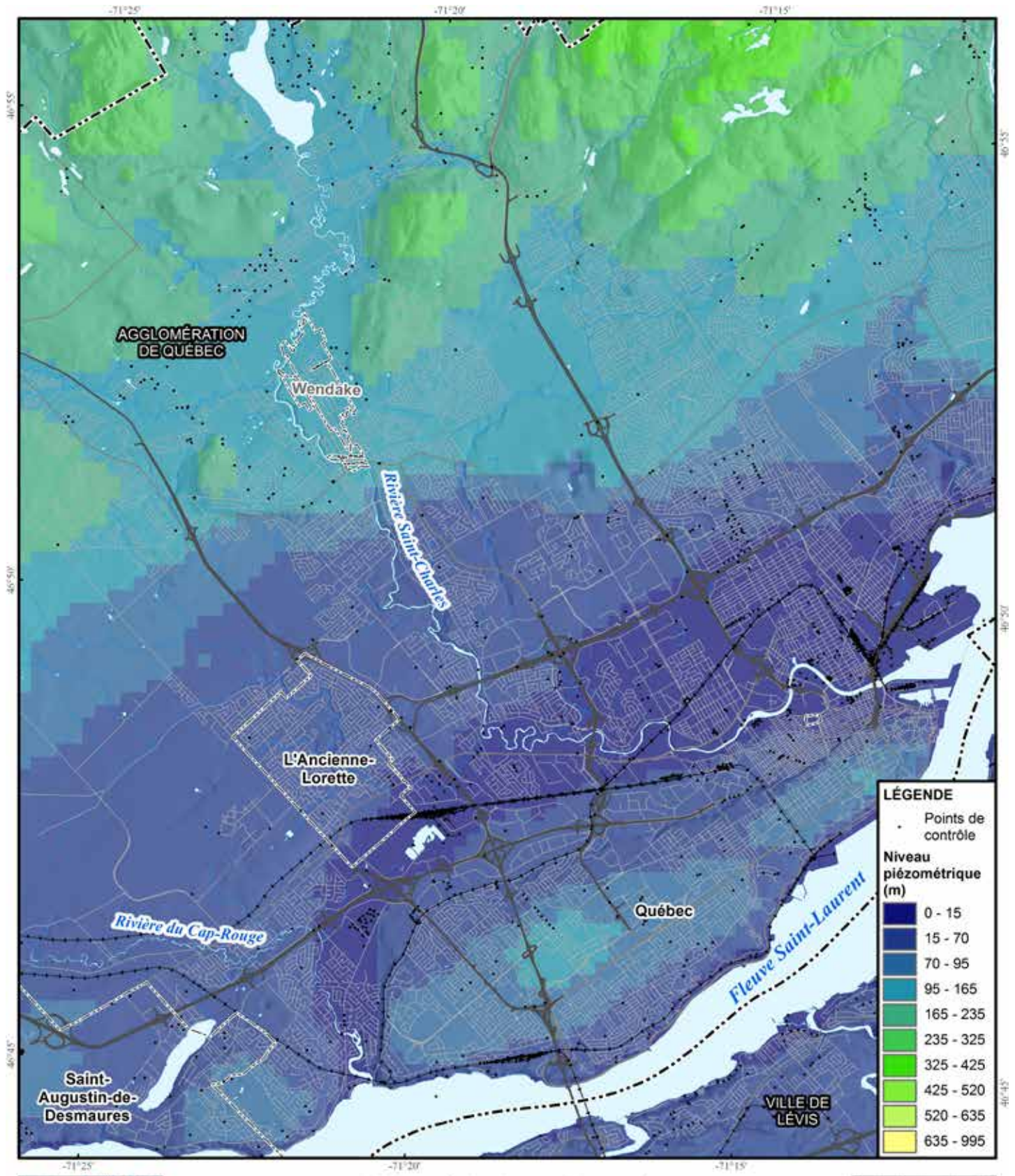
L'élévation des niveaux piézométriques diminue du nord-ouest vers le sud-est pour atteindre 0 m en bordure du fleuve Saint-Laurent. L'écoulement régional se fait donc suivant cet axe et plus localement, des hauts topographiques vers le fond des vallées. Ultimement, le fleuve Saint-Laurent constitue l'axe majeur de résurgence de l'eau souterraine.

Les aquifères de dépôts meubles du Proto Saint-Laurent sont les seuls aquifères de dépôts meubles d'intérêt régional qui ne sont pas en lien hydraulique avec l'aquifère de roc sous-jacent. Leurs niveaux piézométriques sont toutefois similaires à ceux de l'aquifère de roc fracturé sous-jacent.

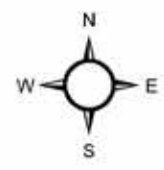
La nappe est généralement peu profonde (2 à 10 m).



- F** Sur le secteur d'étude, les niveaux piézométriques sont en général plus élevés sur le territoire de L'Ancienne-Lorette que sur celui de Saint-Augustin-de-Desmaures.
Vrai Faux
- F** Les rivières Saint-Charles, du Cap-Rouge et le fleuve Saint-Laurent constituent les exutoires de l'eau souterraine du secteur d'étude.
Vrai Faux
- M** La basse ville de Québec reçoit toute son eau souterraine depuis la Couronne Nord des Basses-terres.
Vrai Faux
- M** Comment peut-on obtenir la profondeur de la nappe depuis le niveau piézométrique?
- D** Pourquoi considère-t-on la piézométrie comme étant une réplique « adoucie » de la topographie de surface sur le territoire de la CMQ?



Piezométrie du roc fracturé
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres



Recharge

Définition

La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau qui alimente l'aquifère depuis l'infiltration de 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
page 16

Méthode utilisée

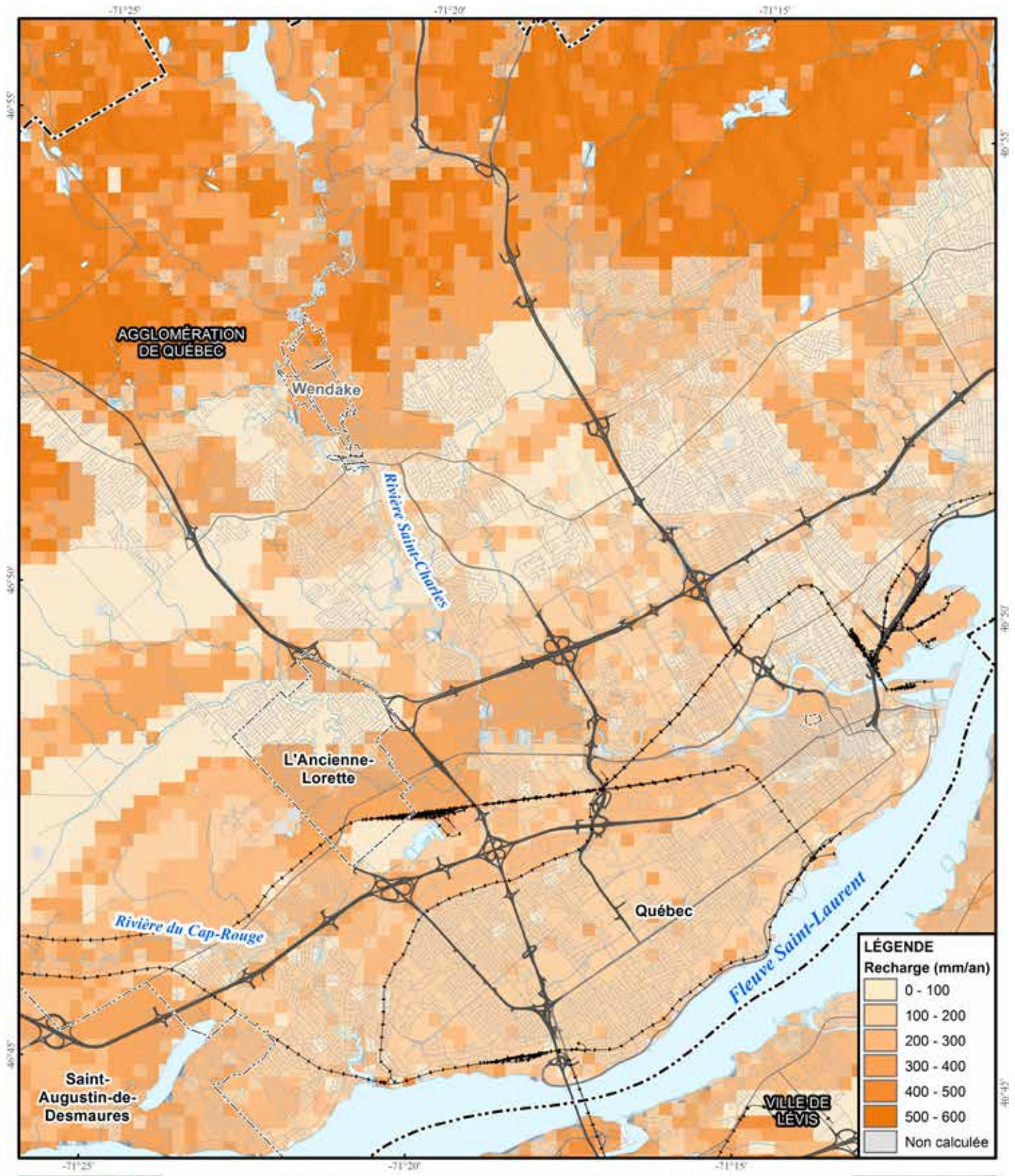
La recharge annuelle a été estimée avec le modèle HELP, sur des mailles de 250 m x 250 m, en intégrant plusieurs données sur le climat, la végétation, l'occupation du territoire et sur les propriétés des sols, des dépôts et du roc. Le modèle HELP calcule aussi les autres paramètres du bilan hydrologique, soient l'évapotranspiration le ruissellement de surface et le ruissellement hypodermique (non présentés ici). La recharge a été estimée pour les aquifères de roc fracturé, à moins qu'un aquifère de dépôts meubles d'intérêt régional ne soit présent.

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

Dans les basses terres, la recharge est limitée à des taux de 50 à 300 mm/an, en raison des précipitations qui sont moins importantes (1259 mm/an) et de l'effet combiné de l'urbanisation, qui augmente le ruissellement, et la présence de dépôts meubles de faible perméabilité qui réduit l'infiltration. La recharge la plus faible est sur la Couronne Nord des Basses-terres, avec des valeurs de l'ordre de 50 à 100 mm/an.



- F** La couverture argileuse et l'imperméabilisation du sol en milieu urbain augmentent la recharge dans les Basses-terres.
Vrai Faux
- M** La précipitation plus élevée dans les Basses-terres que dans les Laurentides est en partie responsable de la recharge plus faible des aquifères.
Vrai Faux
- M** Pourquoi la recharge dans la Couronne Nord des Basses-terres est-elle globalement plus faible que pour le Proto-Saint-Laurent?
- D** Comment les aquifères confinés sont-ils alimentés en eau souterraine?



Recharge annuelle moyenne des aquifères
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres



Vulnérabilité

Définition

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



**VULNÉRABILITÉ,
DRASTIC** page 17

Méthode utilisée

La vulnérabilité a été évaluée, sur des mailles de 250 m x 250 m, par la méthode **DRASTIC** qui permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres physiques et hydrogéologiques. L'indice DRASTIC peut varier de 23 à 226. Trois classes de 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.

Interprétation pour le secteur des Basses-terres

Dans la Couronne Nord des Basses-terres, la présence des sédiments marins d'eau profonde de très faible perméabilité diminue la vulnérabilité des aquifères à des indices faibles de 43 à 80 dans les vallées des rivières Charland, Lorette, Nelson, du Berger et Montmorency ainsi qu'au nord-ouest de L'Ancienne-Lorette et au centre de la municipalité de Saint-Augustin-de-Desmaures. La même situation est observable en bordure du fleuve, à Saint-Louis-de-Gonzague du Cap-Tourmente et à Saint-Joachim, puis à la limite de Sainte-Anne de Beaupré et de Château-Richer.

Dans la basse ville de Québec, l'aquifère de dépôts meubles est semi-confiné et présente une vulnérabilité moyenne, tout comme l'aquifère de roc fracturé du reste de la côte de Beaupré qui a un indice DRASTIC de 100 à 160.



F La Couronne Nord des Basses-terres présente une vulnérabilité souvent faible.

Vrai Faux

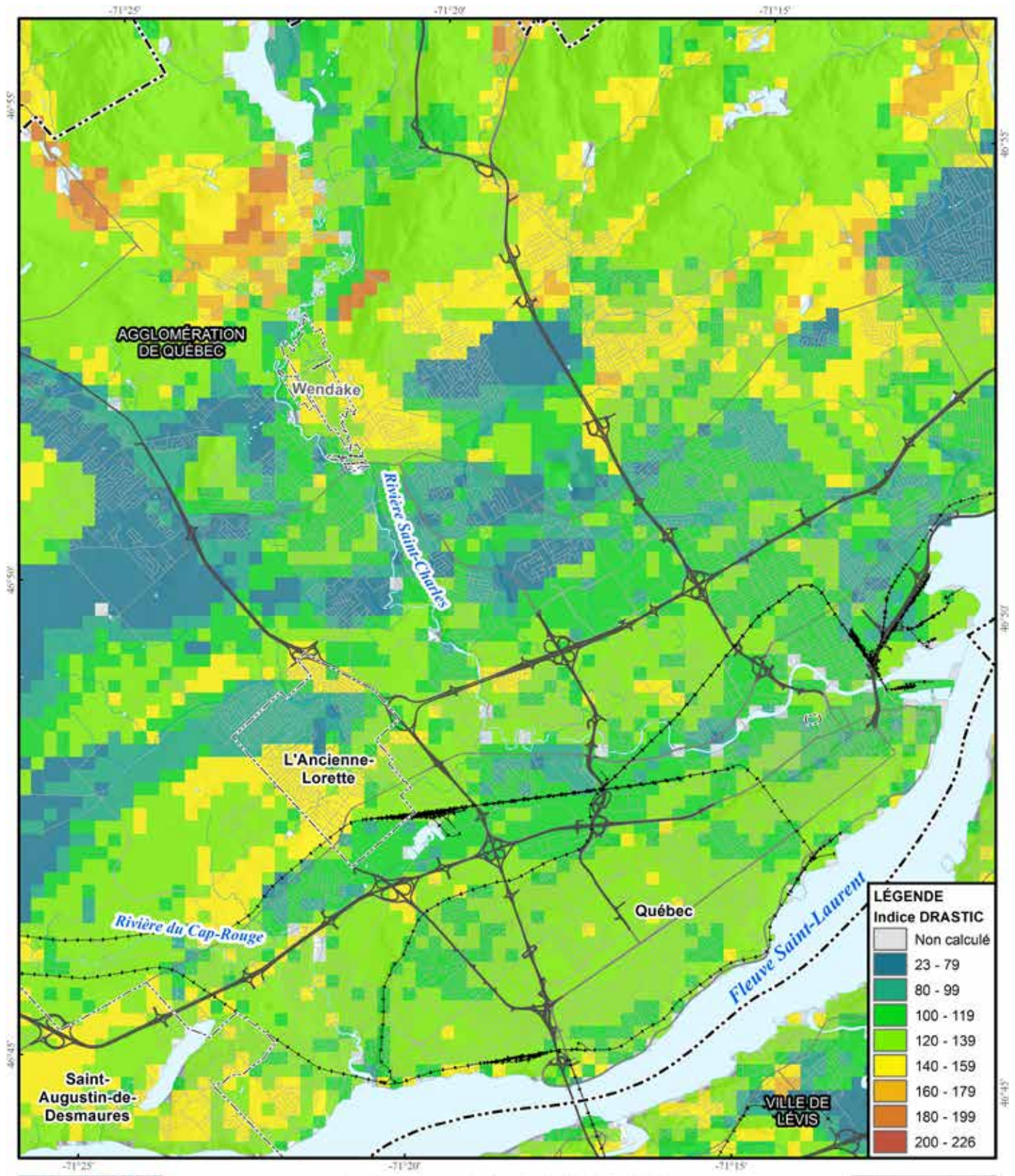
F L'aquifère de dépôts meubles du Proto-Saint-Laurent est de manière générale très sensible à la contamination qui pourrait provenir de la surface.

Vrai Faux

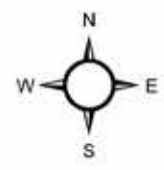
F Les milieux aquifères ayant un petit indice DRASTIC sont tout de même susceptibles de se voir affecter par une contamination.

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?



Indice de vulnérabilité DRASTIC
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres



Définition

La qualité de l'eau s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES (CMA)** sont des normes visant à éviter des risques pour la santé humaine. Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES (OE)** sont des recommandations concernant les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effets néfastes reconnus sur la santé humaine.



**CONCENTRATIONS
MAXIMALES
ACCEPTABLES,
OBJECTIFS
ESTHÉTIQUES**

page 18

Méthode utilisée et interprétation pour l'ensemble du territoire de la CMQ

Dans le cadre du PACES, 140 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, soit provenant de 109 puits au roc, 29 puits dans les dépôts meubles et 2 puits dans des aquifères indéterminés. Les dépassements de CMA et d'OE suivants ont été relevés :

Paramètre	CMA ou OE	Nb de dépassements	Proportion des échantillons	Norme ou recommandation fondée sur :
Baryum (Ba)	CMA : 1,0 mg/L	2	1,4 %	Maladies cardiovasculaires et hausse de pression artérielle
Fluorures (F)	CMA : 1,5 mg/L	18	12,9 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Aluminium (Al)	OE : ≤ 0,1 mg/L	6	4,3 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlorures (Cl)	OE : ≤ 250 mg/L	9	6,4 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté totale (CaCO ₃)	OE : ≤ 200 mg/L	5	4,6 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	OE : ≤ 0,3 mg/L	17	12,1 %	Goût et taches sur la lessive et accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	OE : ≤ 0,05 mg/L	24	17,1 %	Goût et taches sur la lessive et accessoires de plomberie
Matière dissoute totale (MDT)	OE : ≤ 500 mg/L	21	19,3 %	Goût et entartrage
Sodium (Na)	OE : ≤ 200 mg/L	13	9,3 %	Goût
pH	OE : entre 6,5 et 8,5	69	50,0 %	Influence sur l'efficacité du traitement
Sulfates (SO ₄)	OE : ≤ 500 mg/L	1	0,7 %	Goût
Sulfures (S)	OE : ≤ 0,05 mg/L	11	7,9 %	Goût et odeur

Les seuls dépassements de CMA concernent le baryum (Ba) et les fluorures (F). Ils proviennent tous d'échantillons prélevés dans des puits au roc et ne montrent pas de tendance spatiale particulière.

Les dépassements en sodium (Na) et chlorures (Cl) sont surtout dans les Appalaches et les Basses-Terres, sous la limite d'incursion marine (210 m d'élévation), et sont aussi associés aux dépassements en matière dissoute totale (MDT). La Mer de Champlain est la source la plus probable de ces concentrations élevées qui sont caractéristiques d'une évolution avancée des eaux souterraines.

Les dépassements en fer (Fe) et en manganèse (Mn) sont dispersés sur le territoire, mais tous les échantillons prélevés dans la basse ville de Québec présentent des dépassements. C'est aussi à cet endroit que sont localisés les dépassements du critère de la dureté.

Les dépassements en aluminium (Al) ne présentent pas de tendance spatiale, mais tous les dépassements se retrouvent dans le roc.

Les dépassements pour les sulfures (S) sont localisés dans la partie ouest de la CMQ, autant dans les aquifères granulaires que de roc.

En se basant sur les dépassements du critère pour le pH, il semble que les eaux souterraines des Basses-terres et des Appalaches soient plus alcalines. À l'opposé, les eaux plus acides se retrouvent presque exclusivement dans les Laurentides.

La nature de la roche et des sédiments, et l'incursion de la Mer de Champlain expliqueraient la plupart des dépassements des critères de qualité de l'eau (CMA et OE). La qualité naturelle de l'eau souterraine de la CMQ est considérée comme étant généralement bonne.

F Les problèmes liés au fer et au manganèse semblent être associés aux mêmes puits.

Vrai Faux

M La Mer de Champlain serait la source la plus probable des dépassements en sodium et en chlorures.

Vrai Faux

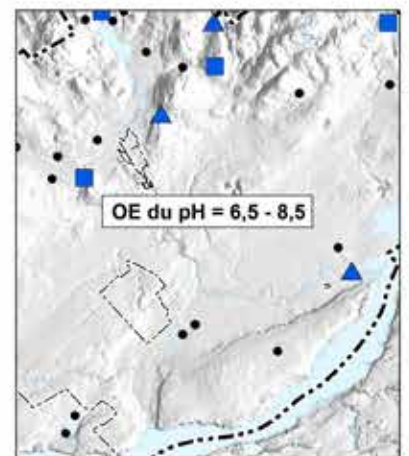
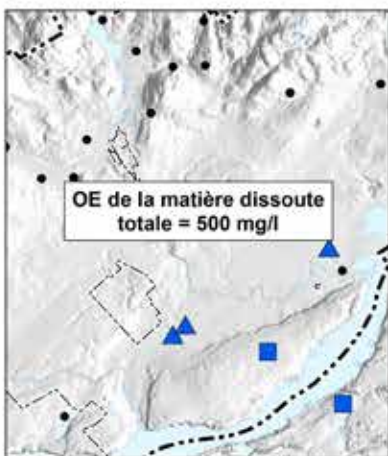
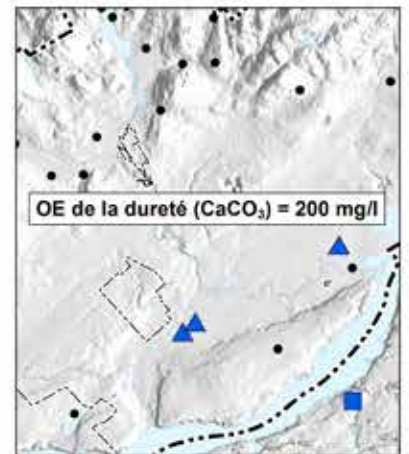
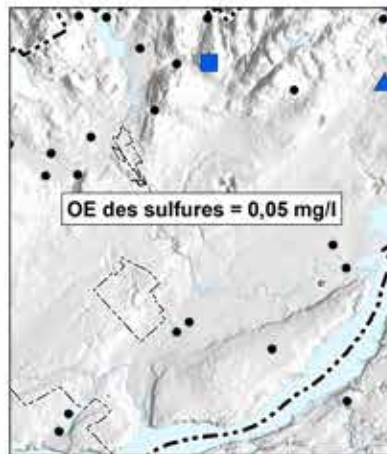
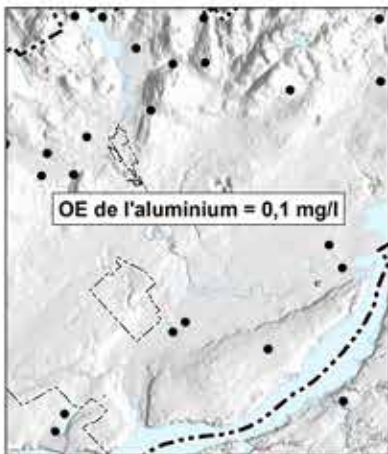
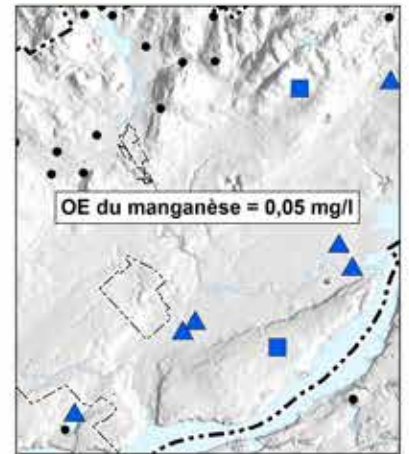
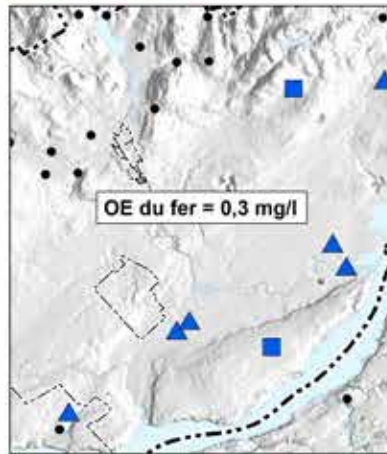
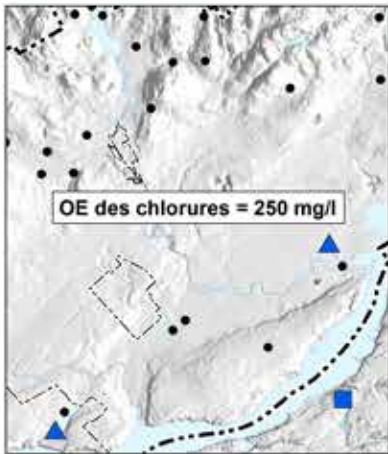
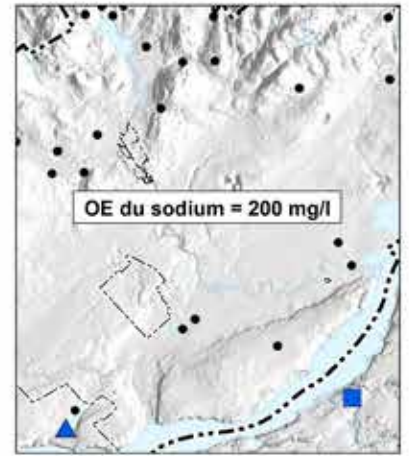
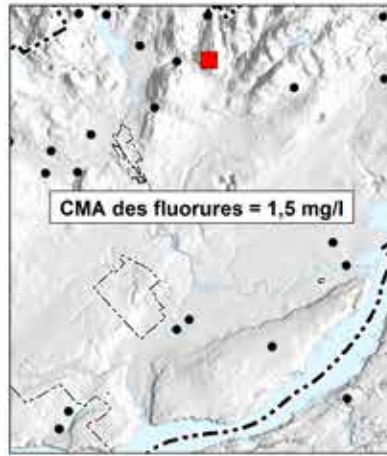
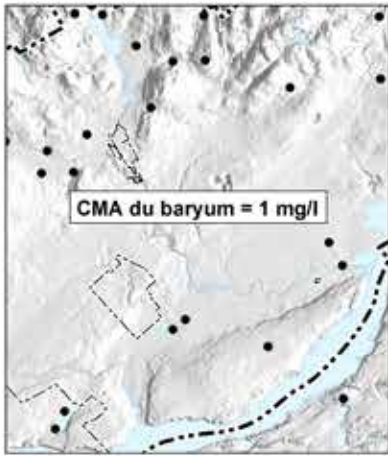
M Pourquoi les dépassements en dureté sont-ils problématiques?

M Pour les Basses-terres, les analyses de la qualité de l'eau souterraine suggèrent une eau de recharge ayant résidé peu longtemps dans les aquifères.

Vrai Faux

D Environ un puits sur six (17%) des échantillons d'eau analysés dans la CMQ présente un dépassement en manganèse. Quel(s) problème(s) cela représente-t-il pour la consommation en eau potable?

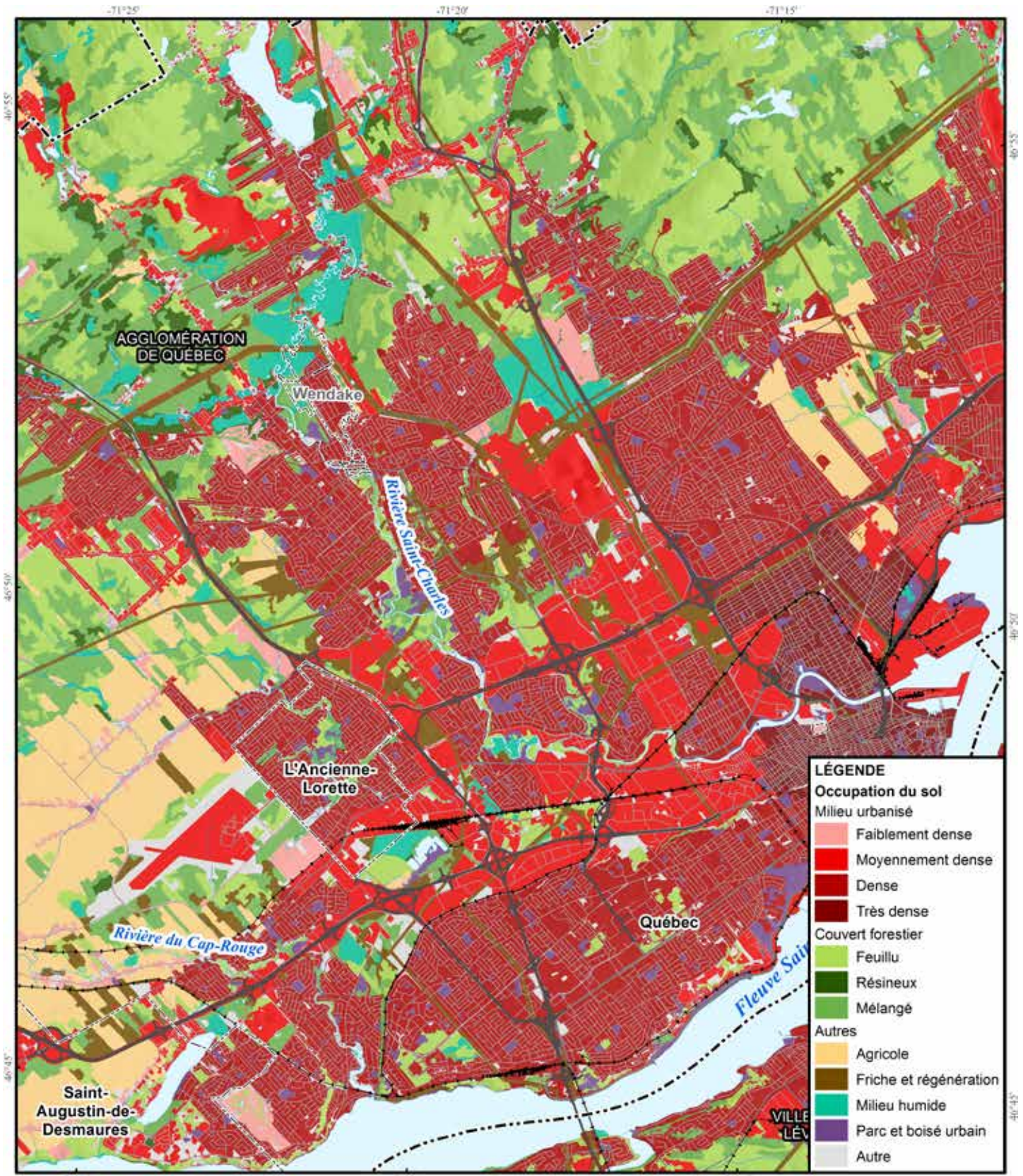




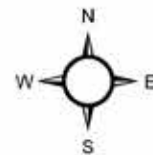
Qualité de l'eau souterraine
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres

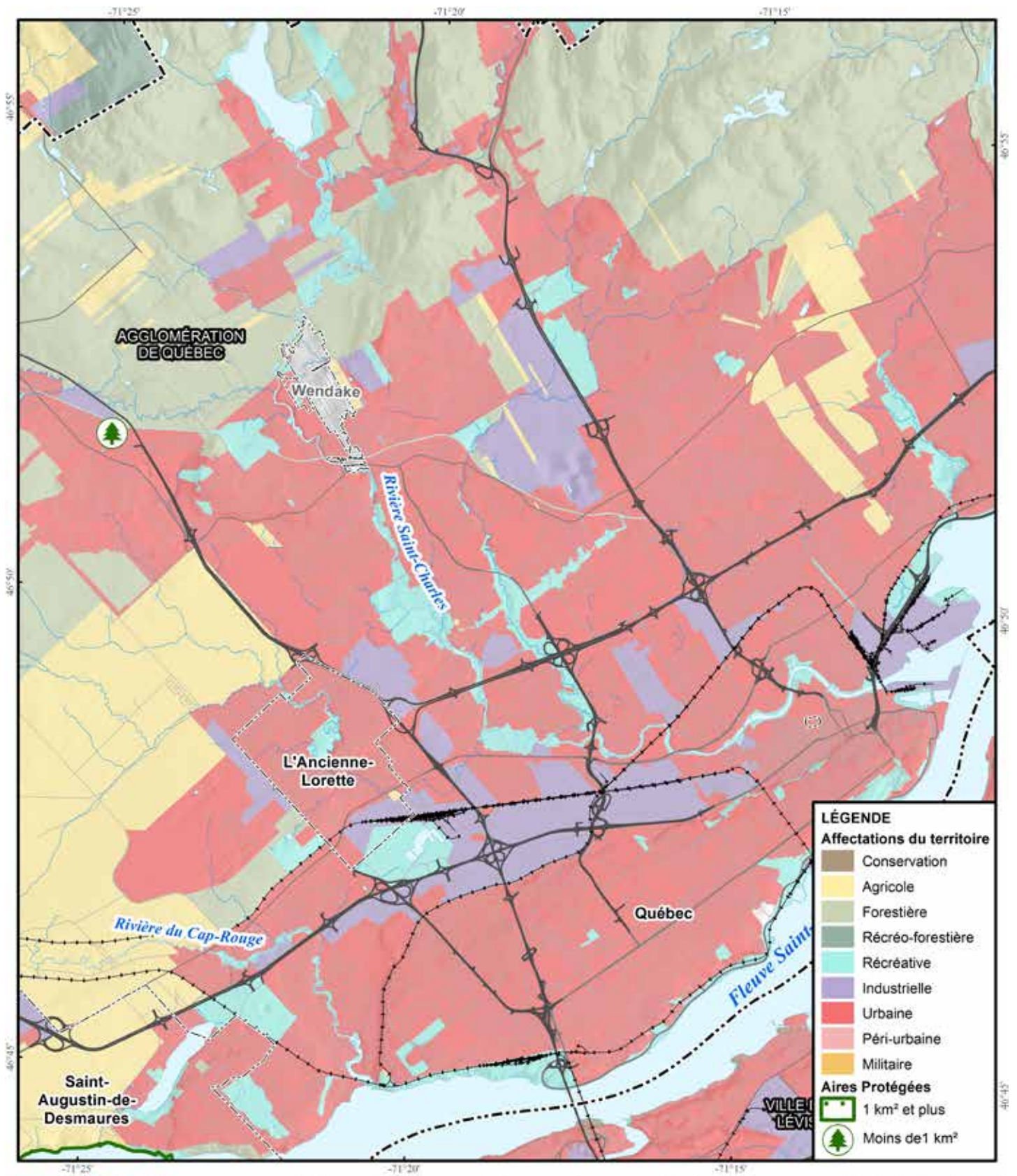


Exercice de synthèse : Dans le secteur des Basses-terres, quelles zones devraient être protégées en priorité pour la recharge?

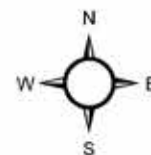


Occupation du sol
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres

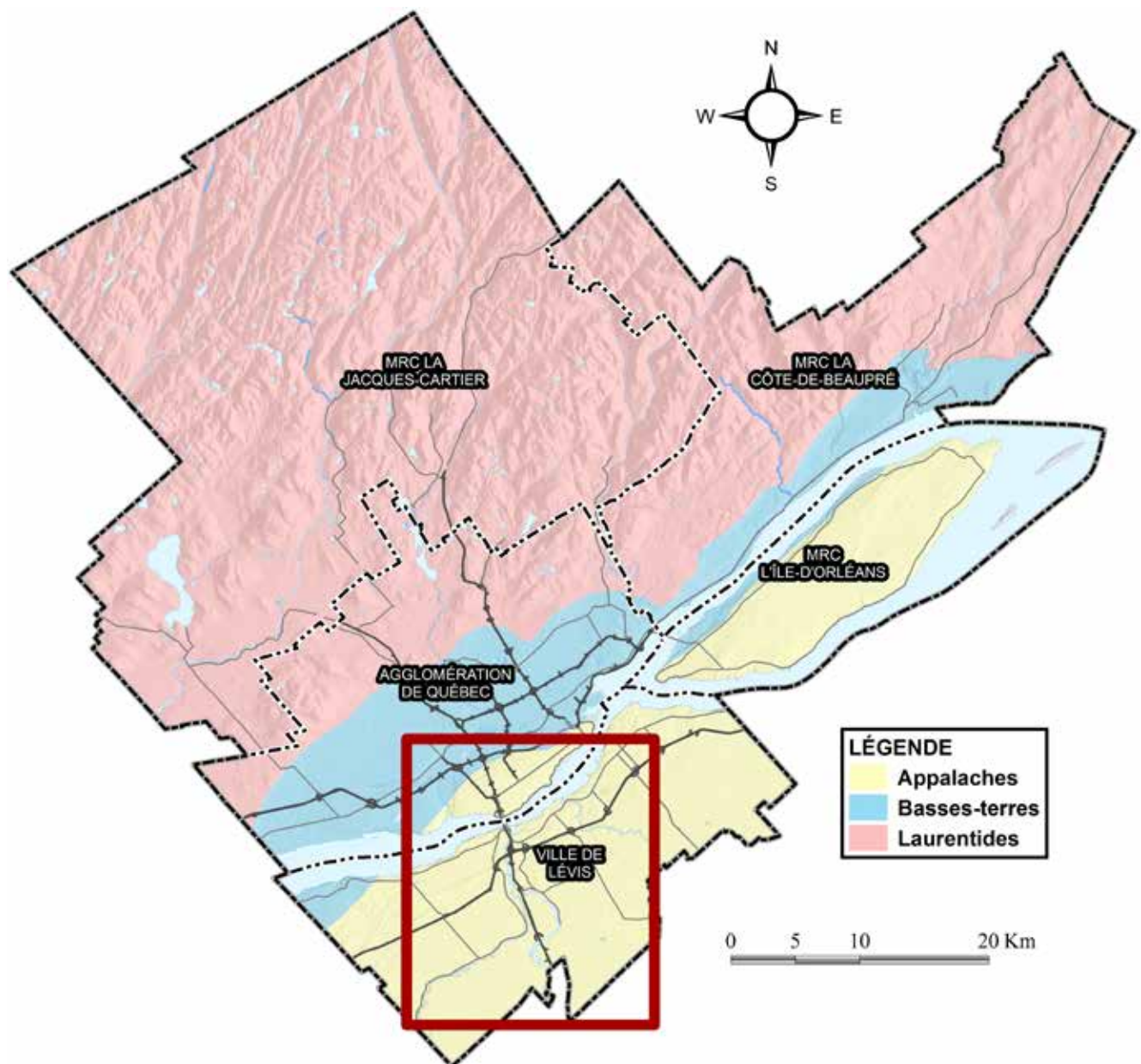




Affectation du territoire et aires protégées
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Basses-terres



5. Les contextes hydrogéologiques des Appalaches



Coupe hydrostratigraphique

Définition

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

Méthode utilisée

Les coupes sont dessinées à partir du type de dépôts meubles cartographié en surface sur la carte de la Géologie du Quaternaire (non présentée ici) et des données de forages qui donnent des informations sur les matériaux géologiques rencontrés en profondeur. Une interprétation a été faite sur les regroupements de matériaux géologiques ayant des propriétés hydrogéologiques similaires (hydrofaciès) ainsi que sur la continuité latérale des unités d'un forage à l'autre.

Description de la coupe

La coupe hydrostratigraphique E-E' de 3 km est située de part et d'autre de la rivière Chaudière. Dans ce secteur, l'ensemble des sédiments reposant sur les roches des Appalaches atteint une épaisseur maximale de 22 m.

L'écoulement de la rivière a causé l'érosion d'une partie des sédiments sous-jacents et déposé des alluvions composées de silt sableux que l'on retrouve en surface. À l'ouest de la coupe, on observe aussi en surface une couche de sédiments marins d'eau peu profonde composée de silt sableux. Sous ces sédiments, on retrouve par endroit des sédiments marins d'eau profonde, composés de silt argileux contenant parfois du gravier, formant un aquitard sur le roc. Le till recouvre aussi le roc, mais en couches très minces et discontinues. Des petits amas enfouis de sable et gravier fluvioglaciaire sont présents à l'est de la rivière.

L'eau souterraine s'écoule vers la rivière qui est en contact direct avec le roc. Cet aquifère semble confiné à l'ouest de la rivière et libre à l'est.



F La topographie de la surface et du roc est relativement plane.

Vrai Faux

F On retrouve une mince couche de till un peu partout sur le socle rocheux.

Vrai Faux

M Sur cette coupe, l'aquifère de roc fracturé présente toutes les conditions de confinement (confiné, semi-confiné et non confiné).

Vrai Faux

M Sur cette coupe, la rivière Chaudière est alimentée par la résurgence de l'eau souterraine.

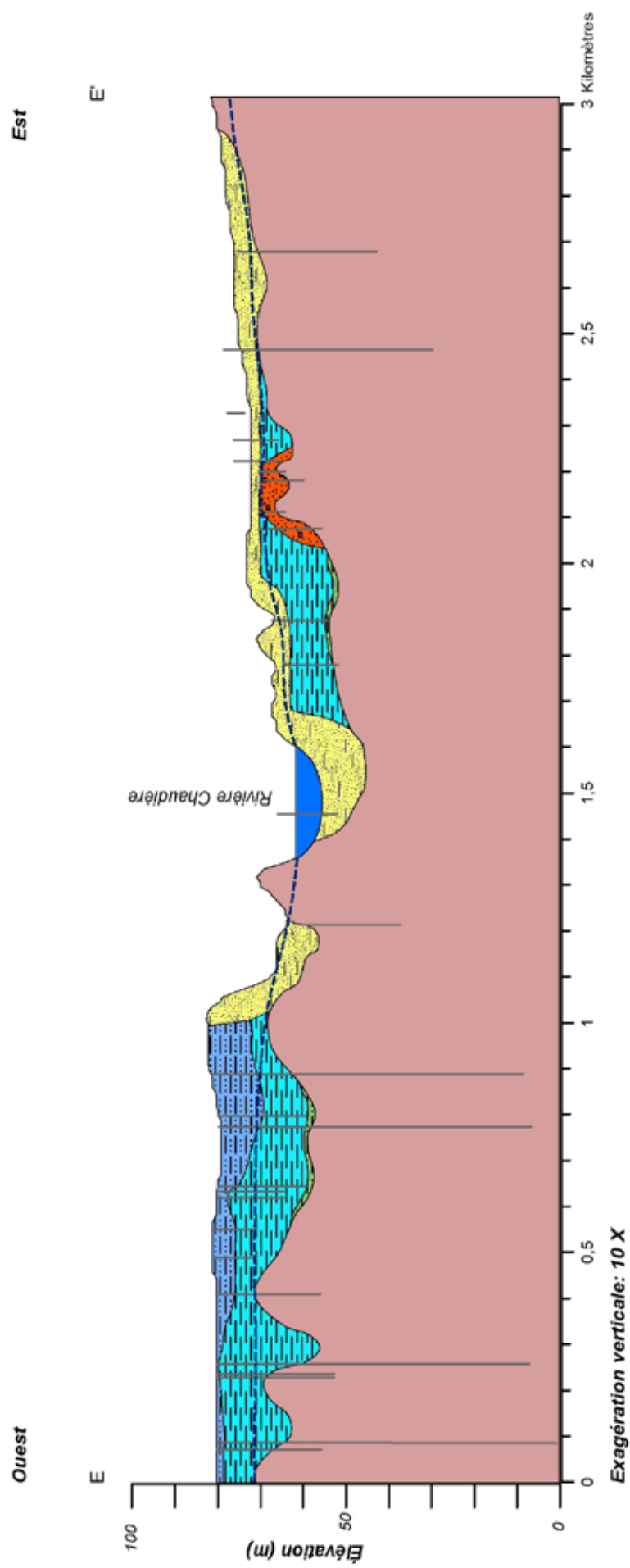
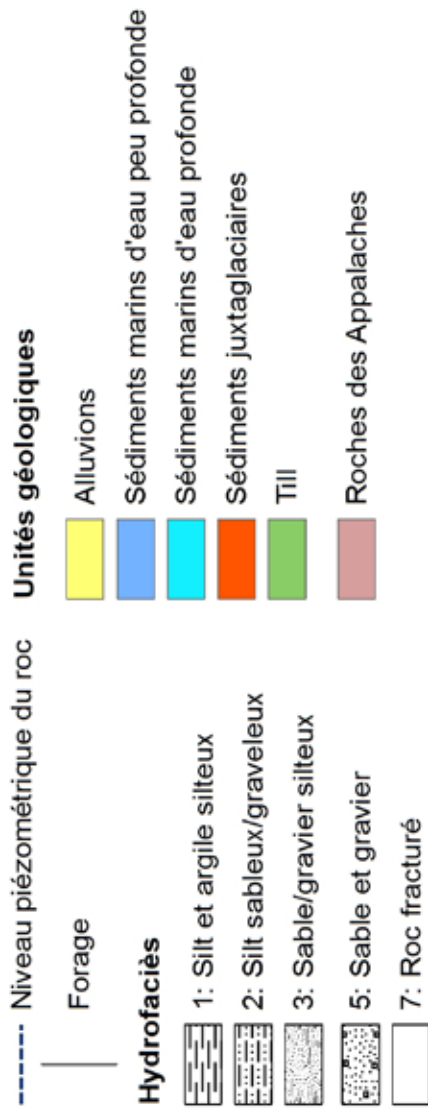
Vrai Faux

M Où se situe l'aquifère pouvant présenter le meilleur potentiel d'exploitation sur cette coupe?

D Bien que la Mer de Champlain ait envahi l'ensemble du territoire présenté sur la coupe, pourquoi ne retrouve-t-on pas des dépôts marins partout?



Coupe hydrostratigraphique E - E' Rivière Chaudière



Épaisseur des dépôts meubles

Définition

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



AQUIFÈRE,
AQUITARD page 12,
DÉPÔTS MEUBLES
page 14

Méthode utilisée

Les informations sur l'épaisseur et le type de dépôts meubles proviennent principalement des données de forage, des levés géophysiques et des affleurements rocheux. Pour la majorité du territoire de la CMQ, l'épaisseur totale des dépôts meubles a été estimée par interpolation, sur de mailles de 250 m X 250 m. La qualité de l'estimation dans un secteur dépend de la densité des données à proximité. Dans la portion nord du territoire d'étude, le nombre de forages étant trop faible pour appliquer la méthode d'interpolation, l'épaisseur des dépôts a été déterminée selon le type de dépôts meubles cartographié en surface.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Sur la rive sud, les dépôts meubles de 0 à 40 m d'épaisseur ont aplani le relief en surface en s'accumulant dans les dépressions du roc. Une zone allongée, à l'ouest de la rivière Etchemin et perpendiculaire au fleuve Saint-Laurent, présente des dépôts très épais, de près de 70 m. L'élévation de la surface du roc diminue graduellement vers le nord, passant de 100 m à la bordure sud jusqu'à 0 m près du fleuve Saint-Laurent.

Sur l'île d'Orléans, les dépôts meubles sont généralement très minces, de moins de 7 m. On observe toutefois trois zones plus profondes atteignant près de 20 m à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans, Sainte-Famille et Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans. La surface du roc forme une crête parallèle à l'axe de l'île dans sa portion nord et elle culmine à près de 150 m à l'extrémité sud-ouest.

Sur le Promontoire de Québec, les dépôts sont aussi très minces, ne dépassant pas 5 m d'épaisseur. La surface du roc, au sommet de cet îlot de roc appalachien, est relativement plane, entre 80 et 100 m d'élévation, mais elle présente, en bordure, des escarpements importants pouvant atteindre des dénivelés de près de 100 m.



F Une très mince couverture de dépôts meubles recouvre le Promontoire de Québec.

Vrai Faux

M L'estimation de l'épaisseur des dépôts meubles est moins fiable le long des routes.

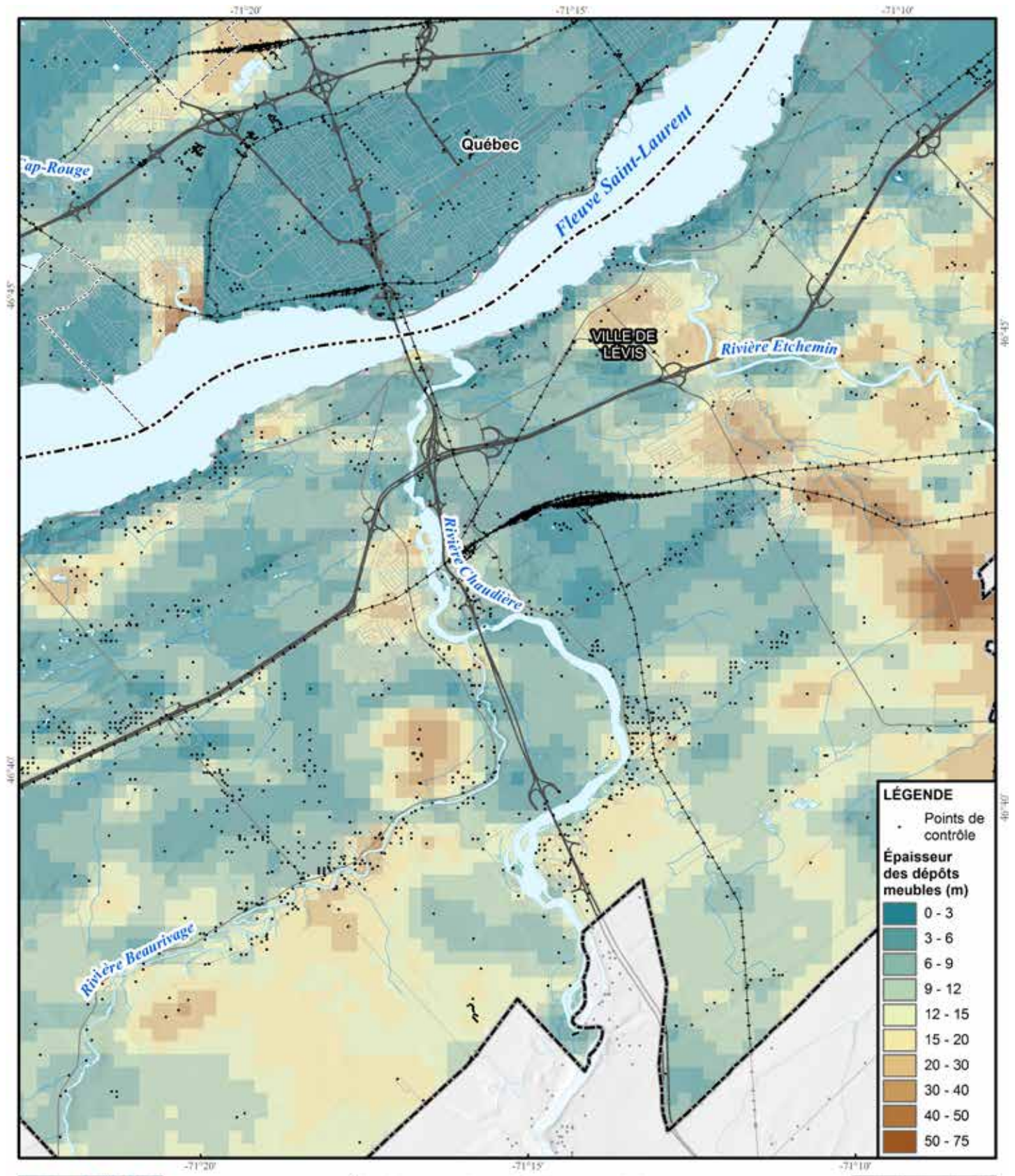
Vrai Faux

D Dans la ville de Lévis, la rivière Chaudière s'écoule directement sur le socle rocheux sur certaines de ses sections.

Vrai Faux

F Où retrouve-t-on l'épaisseur maximale de dépôts meubles dans le secteur d'étude et quelle est cette épaisseur approximative?

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



Épaisseur des dépôts meubles
 COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches



Épaisseur des aquifères de dépôts meubles

Définition

Un **AQUIFÈRE** est une formation géologique saturée en eau et suffisamment perméable pour permettre son pompage. Un **AQUIFÈRE DE DÉPÔT MEUBLE** est constitué de particules grossières (sables et graviers), car plus les pores sont gros, plus ils sont interconnectés et plus l'aquifère de dépôts meubles est perméable. Le pompage de débits importants est alors souvent possible.



AQUIFÈRE page 12,
**AQUIFÈRE DE
DÉPÔTS MEUBLES**
page 14

Méthode utilisée

La délimitation des aquifères de dépôts meubles d'intérêt régional a été déterminée, sur des mailles de 250 m x 250 m, grâce à la localisation et l'épaisseur des couches de sable ou de gravier qui sont saturés en eau, c.-à.-d. sous le niveau piézométrique. Ces informations proviennent d'un modèle hydrostratigraphique 3D généré à partir de la définition des hydrofaciès, des coupes hydrostratigraphiques interprétées, des données de forages, de la géologie du Quaternaire, des levés géophysiques et de la carte de l'épaisseur des dépôts meubles. Les critères d'épaisseur des matériaux perméables ci-contre ont été considérés :

Type de matériaux	Épaisseur
Silt et argile silteuse	n/a
Silt sableux ou graveleux	n/a
Sable ou gravier silteux	n/a
Sable	5 m et plus
Sable et gravier	5 m et plus
Hétérogène	7,5 m et plus
Roc fracturé	n/a

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Sur la rive sud, les aquifères de dépôts meubles sont rares. Toutefois, un aquifère de dépôts meubles pouvant atteindre 60 m d'épaisseur serait présent à l'ouest de la rivière Etchemin. D'autres aquifères de dépôts meubles de petite taille et dont l'épaisseur varie entre 15 et 25 m sont présents, notamment au sud de la rivière Beurivage, à l'est de la rivière Chaudière et près du fleuve entre les rivières Chaudière et Etchemin.

À l'île d'Orléans, aucun aquifère de dépôts meubles n'a été décelé avec les forages disponibles.



F Des sédiments grossiers épais sont fréquents dans le secteur d'étude.

Vrai Faux

F L'aquifère de roc fracturé constitue le seul aquifère du Promontoire de Québec.

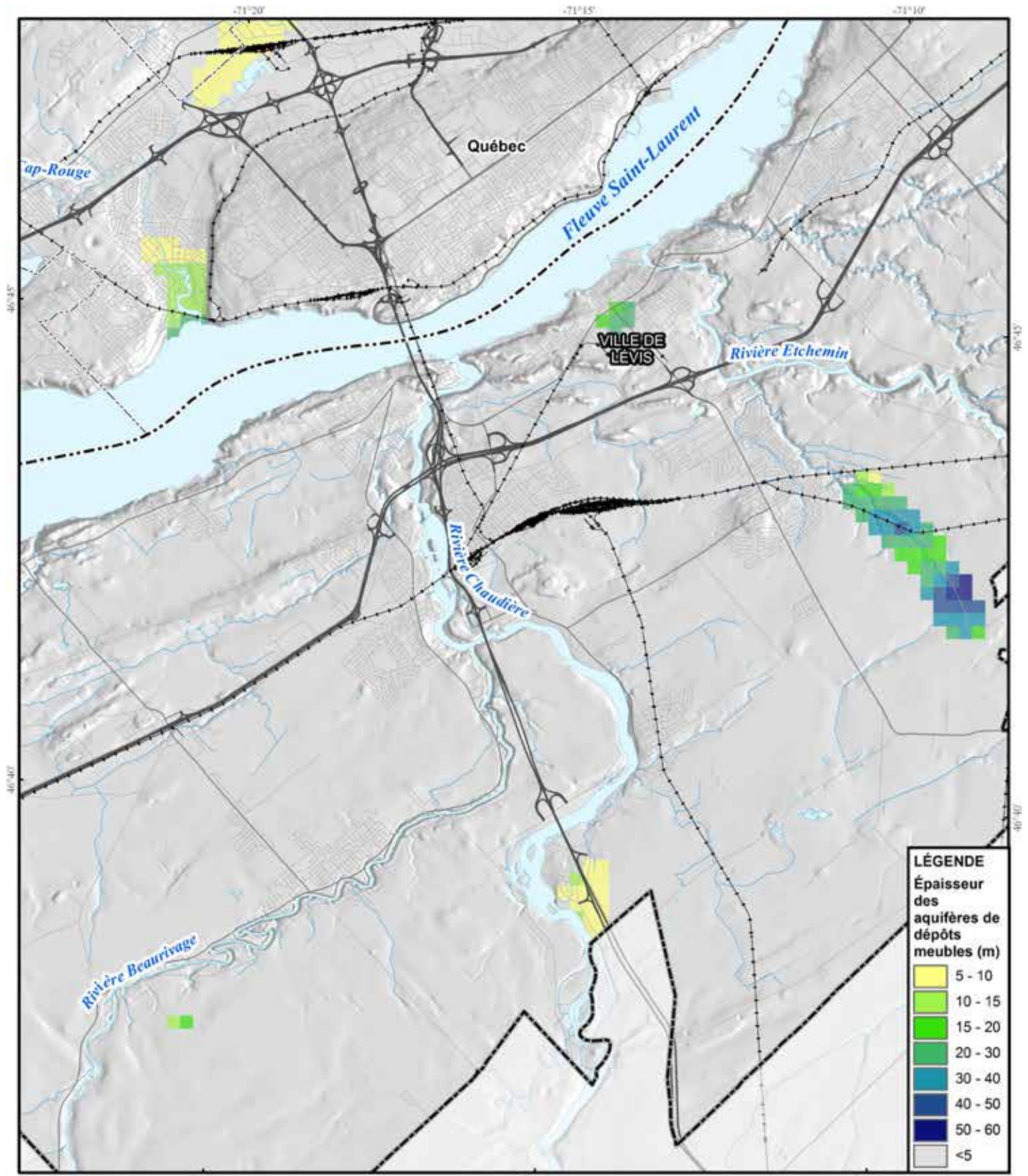
Vrai Faux

D La couverture de sédiments fins de la Mer de Champlain est responsable de la rareté des aquifères de dépôts meubles du secteur d'étude.

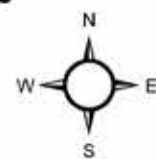
Vrai Faux

M Pourquoi est-ce que les sédiments grossiers de moins de 5 m d'épaisseur ne sont pas considérés comme étant des aquifères de dépôts meubles?

M Pourquoi les sédiments grossiers situés dans les premiers mètres directement sous la surface du sol ne sont souvent pas pris en compte dans la délimitation des aquifères de dépôts meubles?



Épaisseur des aquifères de dépôts meubles
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches



Confinement

Définition

Le confinement d'un aquifère est lié à son recouvrement par une couche de matériaux peu perméables (aquitard) qui isole l'eau souterraine qu'il contient. La nature et l'épaisseur des dépôts meubles déterminent le degré de confinement des aquifères. 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.



**AQUIFÈRE CONFINÉ,
NON CONFINÉ,
SEMI-CONFINÉ ET
AU CONFINEMENT
DISCONTINU** page 13

Méthode utilisée

Le confinement des aquifères a été déterminé, sur des mailles de 250 m x 250 m, grâce à la localisation et l'épaisseur des couches de sédiments fins (silt et argiles). Ces informations proviennent d'un modèle hydrostratigraphique 3D généré à partir de la définition des hydrofaciès, des coupes hydrostratigraphiques interprétées, des données de forages, de la géologie du Quaternaire, des levés géophysiques et de la carte de l'épaisseur des dépôts meubles. Les critères d'épaisseur des matériaux suivants ont été considérés :

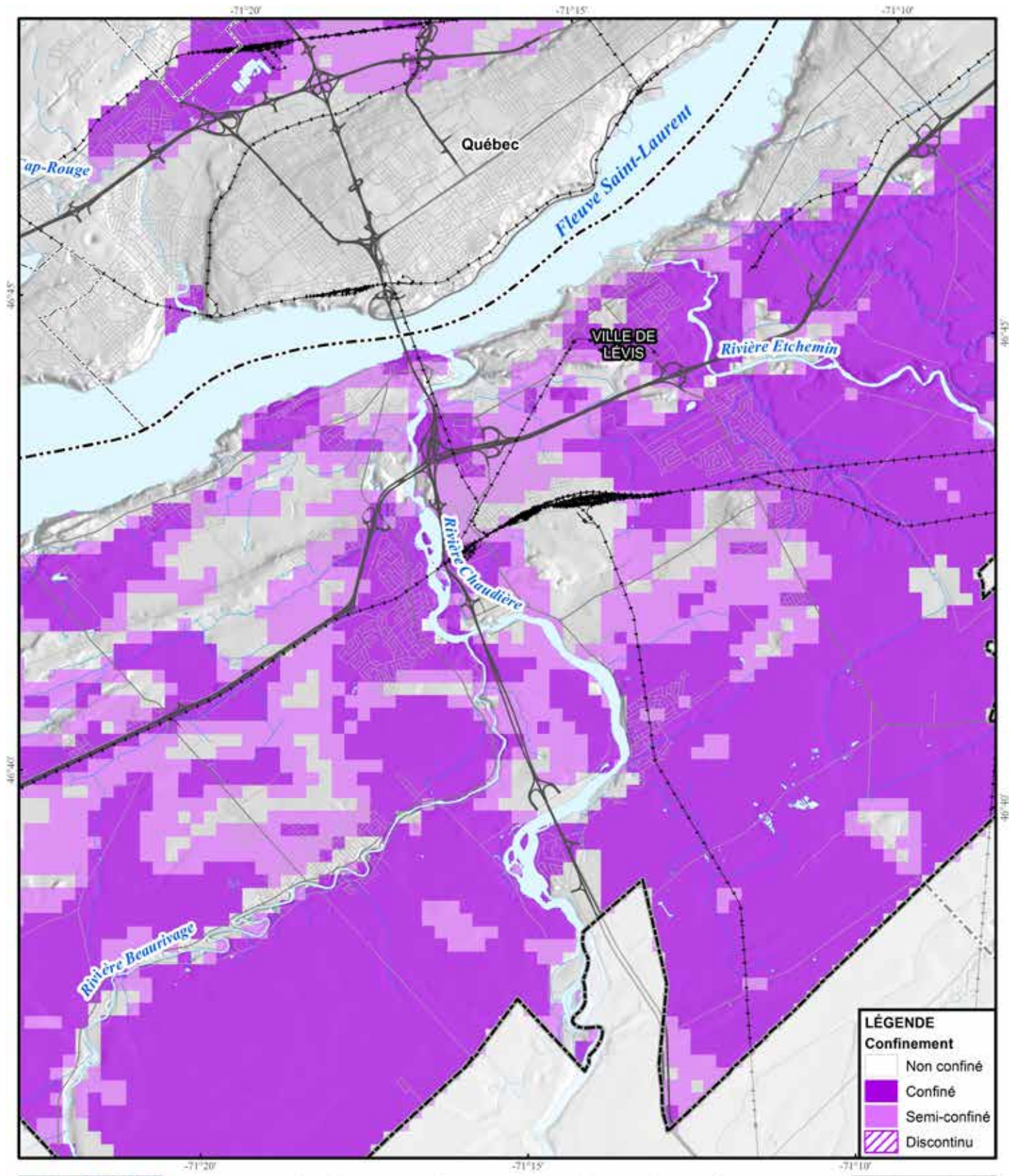
Type de matériaux	Épaisseur			
	Confiné	Semi-confiné	Non confiné	Discontinu
Silt et argile silteuse	5 m et plus	3 à 5 m	Moins de 3 m	n/a
Silt sableux ou graveleux	8 m et plus	5 à 8 m	Moins de 5 m	n/a
Sable ou gravier silteux	n/a	n/a	n/a	n/a
Sable	n/a	n/a	n/a	n/a
Sable et gravier	n/a	n/a	n/a	n/a
Hétérogène	n/a	n/a	n/a	8 m et plus
Roc fracturé	n/a	n/a	n/a	n/a

Interprétation pour le secteur des Appalaches

À Lévis, l'aquifère de roc fracturé est confiné et semi-confiné en grande partie. L'aquifère de dépôts meubles à l'ouest de la rivière Etchemin est partiellement confiné. À l'île d'Orléans, l'aquifère de roc fracturé est non confiné à l'exception de certains secteurs de plus grande épaisseur de dépôts meubles.



- F** La couverture de sédiments fins de la Mer de Champlain est responsable de la dominance des degrés confinés et semi-confinés pour l'aquifère de roc fracturé.
Vrai Faux
- F** L'aquifère de roc fracturé du Promontoire de Québec est partout non confiné.
Vrai Faux
- D** La carte de confinement des aquifères de roc fracturé permet d'affirmer que l'aquifère de dépôts meubles à l'ouest de la rivière Etchemin est complètement confiné.
Vrai Faux
- D** Dans la portion de la rivière Etchemin de la ville de Lévis, l'eau de surface n'est souvent pas en lien hydraulique avec l'aquifère de roc fracturé.
Vrai Faux
- M** Contrairement à la délimitation des aquifères de dépôts meubles, pourquoi les sédiments fins situés dans les premiers mètres directement sous la surface du sol sont toujours pris en compte dans la détermination des conditions de confinement?
- D** Est-il plus avantageux d'exploiter un aquifère confiné ou non confiné?



Confinement des aquifères de roc fracturé
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches



Piézométrie

Définition

Le **NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE** correspond à l'élévation du niveau d'eau mesuré dans un puits. Si l'aquifère est non confiné, ce niveau correspond également à l'élévation de la **NAPPE** dans l'aquifère. Si l'aquifère est confiné, 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 non confiné et la pression dans un aquifère confiné. 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.



NAPPE page 12,
PIÉZOMÉTRIE,
NIVEAU
PIÉZOMÉTRIQUE
page 16

Méthode utilisée

Pour la majeure partie du territoire de la CMQ, la piézométrie des aquifères de roc fracturé a été estimée par interpolation, sur de mailles de 250 m X 250 m, à partir des niveaux d'eau mesurés dans les puits. La qualité de l'estimation dans un secteur dépend de la densité des puits à proximité. La piézométrie des aquifères de roc fracturé de la partie nord du territoire d'étude, à défaut d'une densité suffisante de puits pour l'interpolation, a été estimée à partir de la topographie.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

Sur la rive sud, les plus hauts sommets piézométriques sont de l'ordre de 100 m d'élévation et sont situés à la frontière sud où la topographie des Appalaches commence à s'accroître. L'écoulement régional s'effectue donc globalement du sud-est vers le nord-ouest et plus localement, des hauts topographiques vers le fond des vallées. Sur l'île d'Orléans, l'écoulement est radial, soit du centre de l'île vers son contour. Ultimement, le fleuve Saint-Laurent constitue l'axe majeur de résurgence de l'eau souterraine.

La nappe est généralement peu profonde (2 à 10 m). Les plus grandes profondeurs de niveau d'eau estimées (~20 m) se retrouvent à Lévis.



F L'eau souterraine s'écoule généralement du sud vers le nord sur le secteur d'étude.

Vrai Faux

F L'estimation des niveaux piézométriques est partout très fiable.

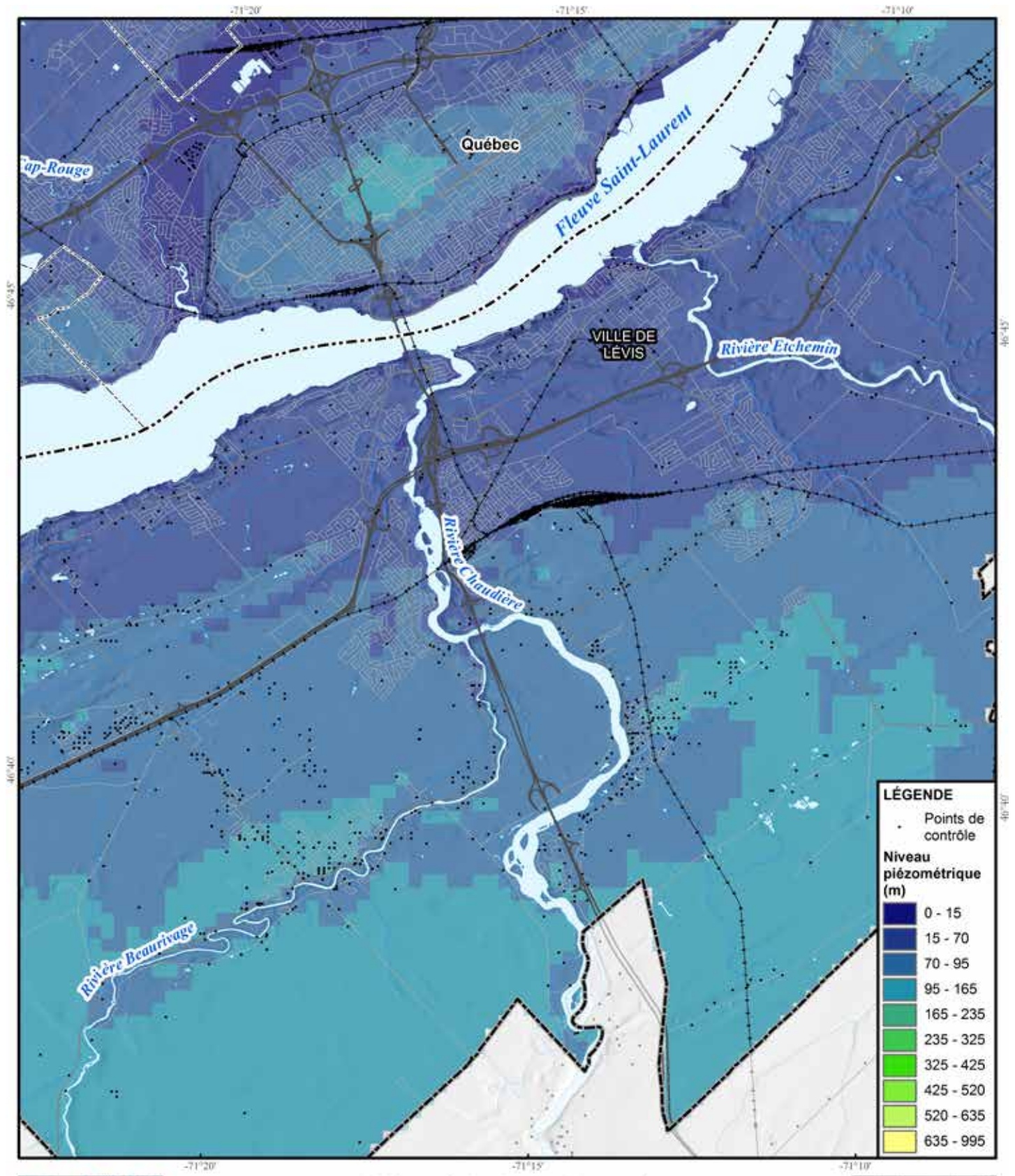
Vrai Faux

D Sur la Rive-Sud, le faible gradient hydraulique suggère un écoulement rapide de l'eau souterraine qui réside peu longtemps dans l'aquifère de roc fracturé.

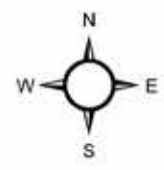
Vrai Faux

F Quelle est la variation maximale du niveau piézométrique observé sur le secteur d'étude?

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



Piezométrie du roc fracturé
COMMUNAUTE MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches



Recharge

Définition

La **RECHARGE** correspond à la quantité d'eau qui alimente l'aquifère depuis l'infiltration de 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
page 16

Méthode utilisée

La recharge annuelle a été estimée avec le modèle HELP, sur des mailles de 250 m x 250 m, en intégrant plusieurs données sur le climat, la végétation, l'occupation du territoire et sur les propriétés des sols, des dépôts et du roc. Le modèle HELP calcule aussi les autres paramètres du bilan hydrologique, soient l'évapotranspiration le ruissellement de surface et le ruissellement hypodermique (non présentés ici). La recharge a été estimée pour les aquifères de roc fracturé, à moins qu'un aquifère de dépôts meubles d'intérêt régional ne soit présent.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

La recharge la plus faible est à Lévis, avec des valeurs de l'ordre de 50 à 100 mm/an. Des recharges intermédiaires, de l'ordre de 200 mm/an, sont calculées pour l'île d'Orléans et à quelques endroits (ex. pointe nord-est de Lévis) où une faible épaisseur de dépôts recouvre l'aquifère de roc fracturé. L'effet combiné de l'urbanisation, qui augmente le ruissellement, et la présence de dépôts meubles de faible perméabilité limite l'infiltration de l'eau dans les sols et réduisent la recharge.



F La recharge de tout le territoire de la CMQ est la plus faible à Lévis.

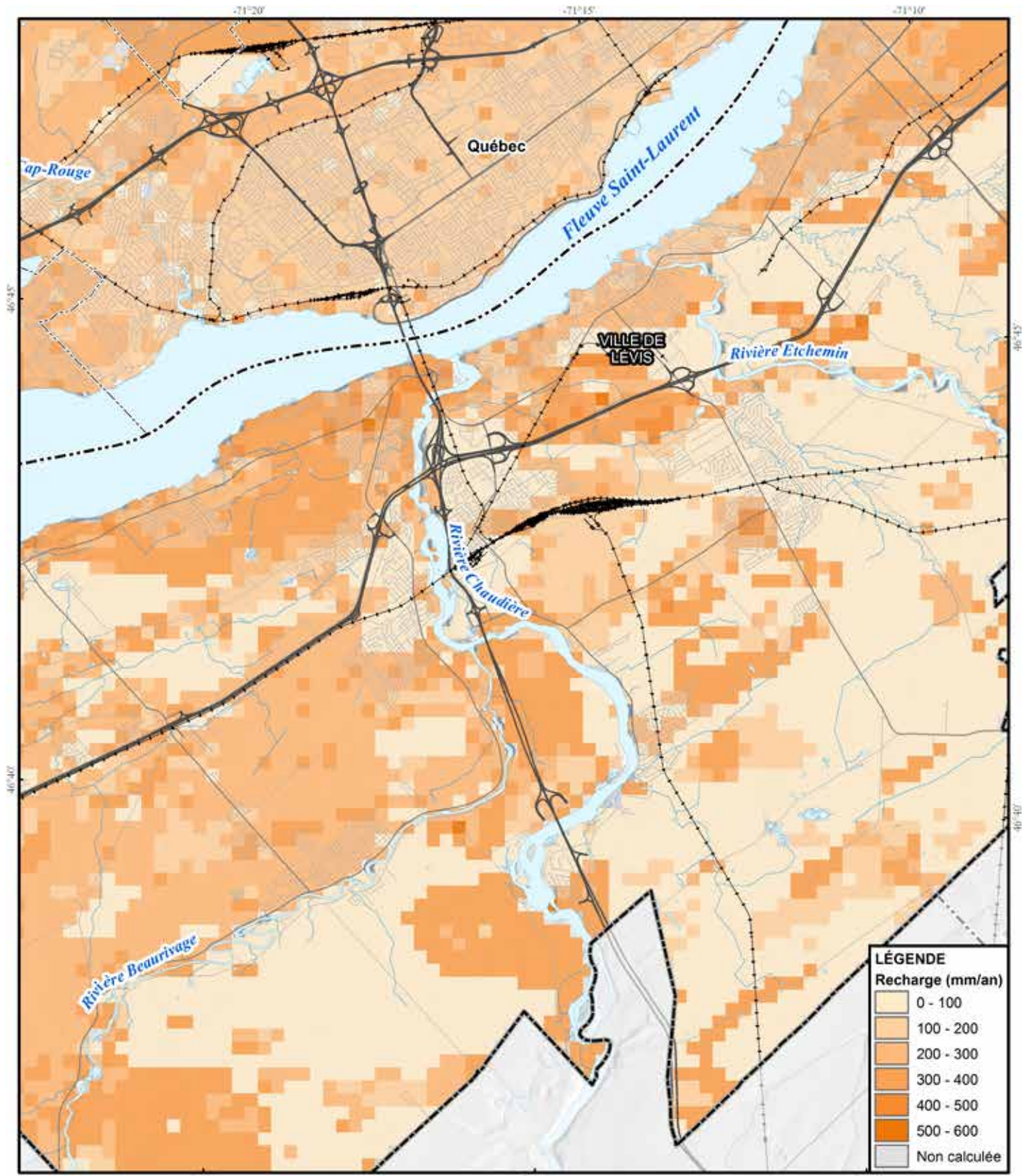
Vrai Faux

M La recharge est plus significative dans les zones où l'on retrouve une mince couverture de dépôts meubles, comme à l'ouest de la sortie des ponts.

Vrai Faux

M Pourquoi la recharge sur le Promontoire du Québec est-elle globalement plus élevée que pour la Rive-Sud?

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



Recharge annuelle moyenne des aquifères
 COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches



Vulnérabilité

Définition

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



**VULNÉRABILITÉ,
DRASTIC** page 17

Méthode utilisée

La vulnérabilité a été évaluée, sur des mailles de 250 m x 250 m, par la méthode **DRASTIC** qui permet le calcul d'un indice à partir de 7 paramètres physiques et hydrogéologiques. L'indice DRASTIC peut varier de 23 à 226. Trois classes de 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.

Interprétation pour le secteur des Appalaches

À Lévis, le centre du secteur présente de faibles indices de vulnérabilité de 47 à 100 aux endroits où une épaisse couche de sédiments fins est présente alors que le reste de la rive sud a des indices moyens de 100 à 160. Localement, l'indice de vulnérabilité peut atteindre 178, à l'endroit du dépôt fluvioglaciaire à l'ouest de la rivière Etchemin.

À l'île d'Orléans et sur le promontoire de Québec, la vulnérabilité est généralement moyenne avec des valeurs de 120 à 140. À Saint-François-de-l'île-d'Orléans, un secteur moins vulnérable (minimum de 62) est présent, car cette zone est protégée par des sédiments marins d'eau profonde. Une petite zone plus vulnérable (162) est présente au sud-ouest de Sainte-Famille.



F On retrouve les trois classes de degrés de vulnérabilité sur ce secteur d'étude, soit faible, moyen et élevé.

Vrai Faux

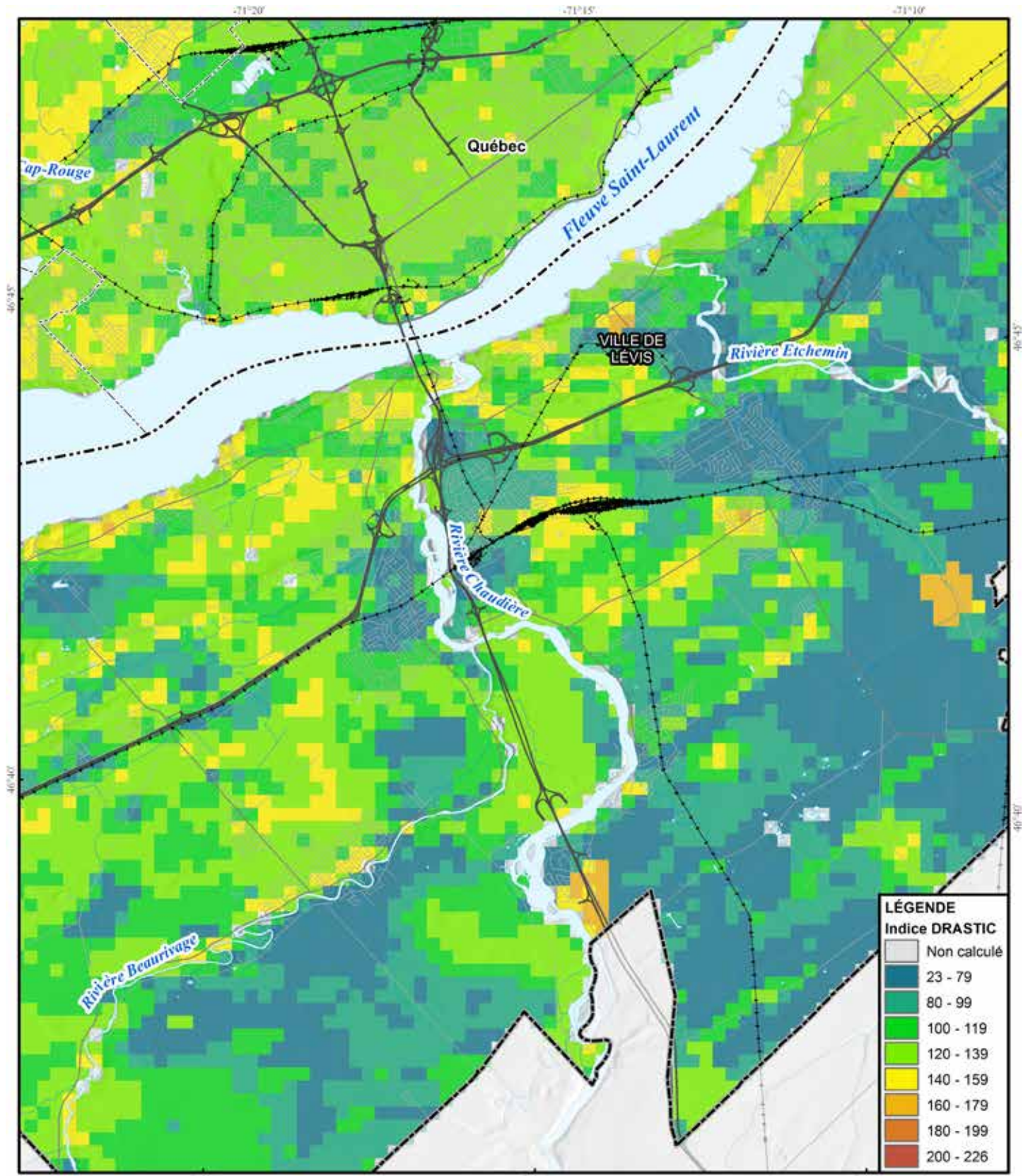
F Les zones à vulnérabilité faible coïncident avec les zones où la recharge est faible.

Vrai Faux

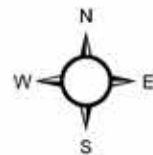
M Des sédiments grossiers d'origine fluvioglaciaire affleurants en surface sont responsables des quelques zones localisées où l'indice DRASTIC dépasse 160.

Vrai Faux

D À l'aide de cette carte, pourquoi ne peut-on pas déterminer la vulnérabilité de l'aire d'alimentation d'un puits tel qu'exigé par le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (Gouvernement du Québec, 2015b)?



Indice de vulnérabilité DRASTIC
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches



Qualité de l'eau

Définition

La qualité de l'eau s'évalue en comparant les constituants physicochimiques de l'eau aux normes et recommandations existantes. Les **CONCENTRATIONS MAXIMALES ACCEPTABLES (CMA)** sont des normes visant à éviter des risques pour la santé humaine. Les **OBJECTIFS ESTHÉTIQUES (OE)** sont des recommandations concernant les caractéristiques esthétiques de l'eau (couleur, odeur, goût), mais n'ayant pas d'effets néfastes reconnus sur la santé humaine.



**CONCENTRATIONS
MAXIMALES
ACCEPTABLES,
OBJECTIFS
ESTHÉTIQUES**

page 18

Méthode utilisée et interprétation pour l'ensemble du territoire de la CMQ

Dans le cadre du PACES, 140 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, soit provenant de 109 puits au roc, 29 puits dans les dépôts meubles et 2 puits dans des aquifères indéterminés. Les dépassements de CMA et d'OE suivants ont été relevés :

Paramètre	CMA ou OE	Nb de dépassements	Proportion des échantillons	Norme ou recommandation fondée sur :
Baryum (Ba)	CMA : 1,0 mg/L	2	1,4 %	Maladies cardiovasculaires et hausse de pression artérielle
Fluorures (F)	CMA : 1,5 mg/L	18	12,9 %	Fluorose dentaire modérée (effet cosmétique)
Aluminium (Al)	OE : ≤ 0,1 mg/L	6	4,3 %	Considérations opérationnelles du traitement de l'eau
Chlorures (Cl)	OE : ≤ 250 mg/L	9	6,4 %	Goût et possibilité de corrosion du réseau de distribution
Dureté totale (CaCO ₃)	OE : ≤ 200 mg/L	5	4,6 %	Corrosion et entartrage
Fer (Fe)	OE : ≤ 0,3 mg/L	17	12,1 %	Goût et taches sur la lessive et accessoires de plomberie
Manganèse (Mn)	OE : ≤ 0,05 mg/L	24	17,1 %	Goût et taches sur la lessive et accessoires de plomberie
Matière dissoute totale (MDT)	OE : ≤ 500 mg/L	21	19,3 %	Goût et entartrage
Sodium (Na)	OE : ≤ 200 mg/L	13	9,3 %	Goût
pH	OE : entre 6,5 et 8,5	69	50,0 %	Influence sur l'efficacité du traitement
Sulfates (SO ₄)	OE : ≤ 500 mg/L	1	0,7 %	Goût
Sulfures (S)	OE : ≤ 0,05 mg/L	11	7,9 %	Goût et odeur

Les seuls dépassements de CMA concernent le baryum (Ba) et les fluorures (F). Ils proviennent tous d'échantillons prélevés dans des puits au roc et ne montrent pas de tendance spatiale particulière.

Les dépassements en sodium (Na) et chlorures (Cl) sont surtout dans les Appalaches et les Basses-Terres, sous la limite d'incursion marine (210 m d'élévation), et sont aussi associés aux dépassements en matière dissoute totale (MDT). La Mer de Champlain est la source la plus probable de ces concentrations élevées qui sont caractéristiques d'une évolution avancée des eaux souterraines.

Les dépassements en fer (Fe) et en manganèse (Mn) sont dispersés sur le territoire, mais tous les échantillons prélevés dans la basse ville de Québec présentent des dépassements. C'est aussi à cet endroit que sont localisés les dépassements du critère de la dureté.

Les dépassements en aluminium (Al) ne présentent pas de tendance spatiale, mais tous les dépassements se retrouvent dans le roc.

Les dépassements pour les sulfures (S) sont localisés dans la partie ouest de la CMQ, autant dans les aquifères granulaires que de roc.

En se basant sur les dépassements du critère pour le pH, il semble que les eaux souterraines des Basses-terres et des Appalaches soient plus alcalines. À l'opposé, les eaux plus acides se retrouvent presque exclusivement dans les Laurentides.

La nature de la roche et des sédiments, et l'incursion de la Mer de Champlain expliqueraient la plupart des dépassements des critères de qualité de l'eau (CMA et OE). La qualité naturelle de l'eau souterraine de la CMQ est considérée comme étant généralement bonne.

F L'eau souterraine du secteur d'étude présente rarement une odeur d'œufs pourris.

Vrai Faux

F La qualité naturelle de l'eau dans les aquifères de la CMQ est considérée comme relativement mauvaise dû aux nombreux dépassements en CMA et OE.

Vrai Faux

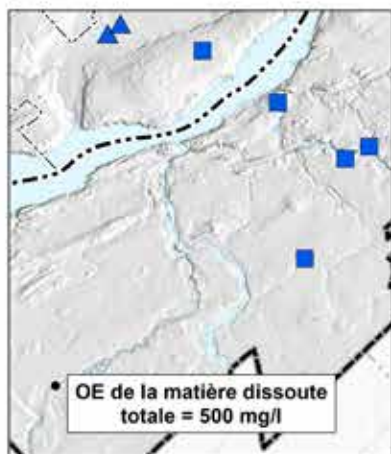
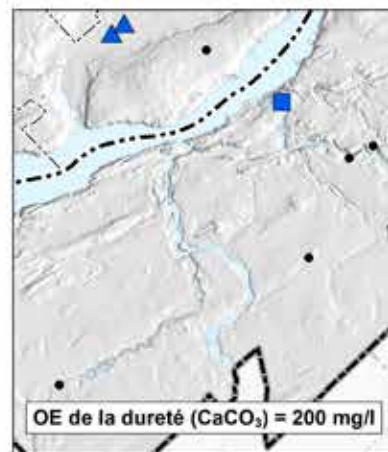
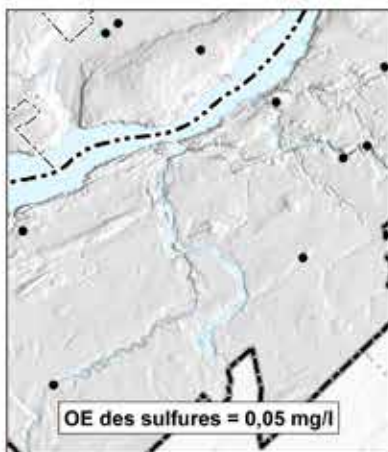
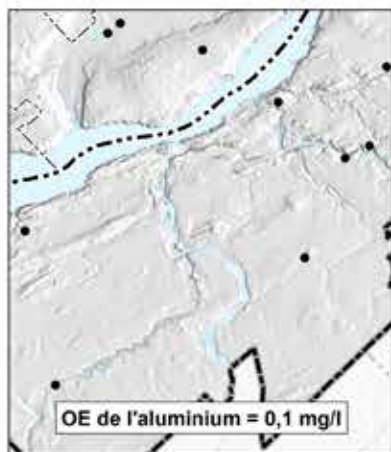
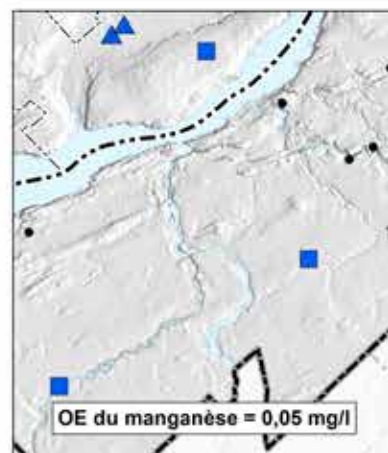
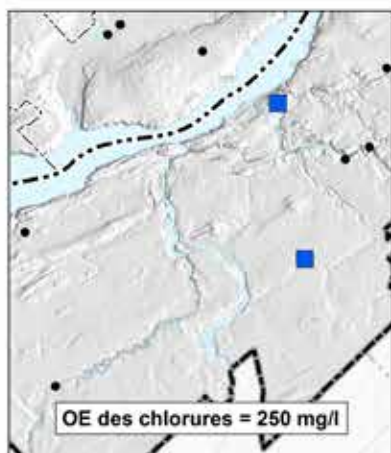
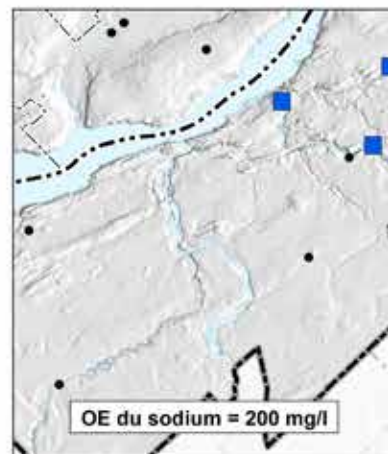
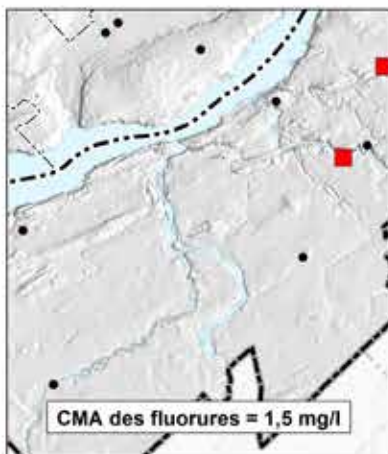
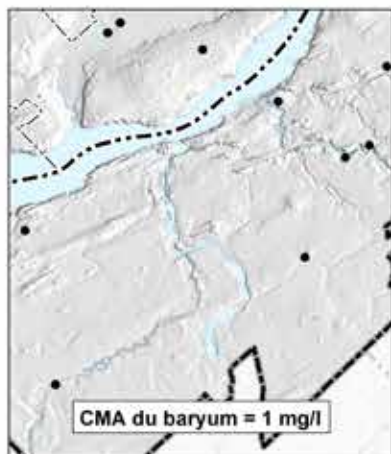
M Lorsqu'aucun dépassement de CMA n'est relevé dans un puits, l'eau peut-elle être consommée sans traitement?

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.

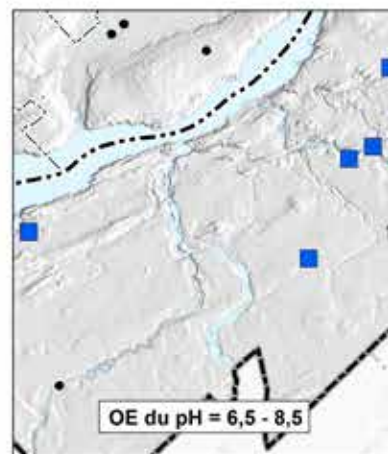
Vrai Faux

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?

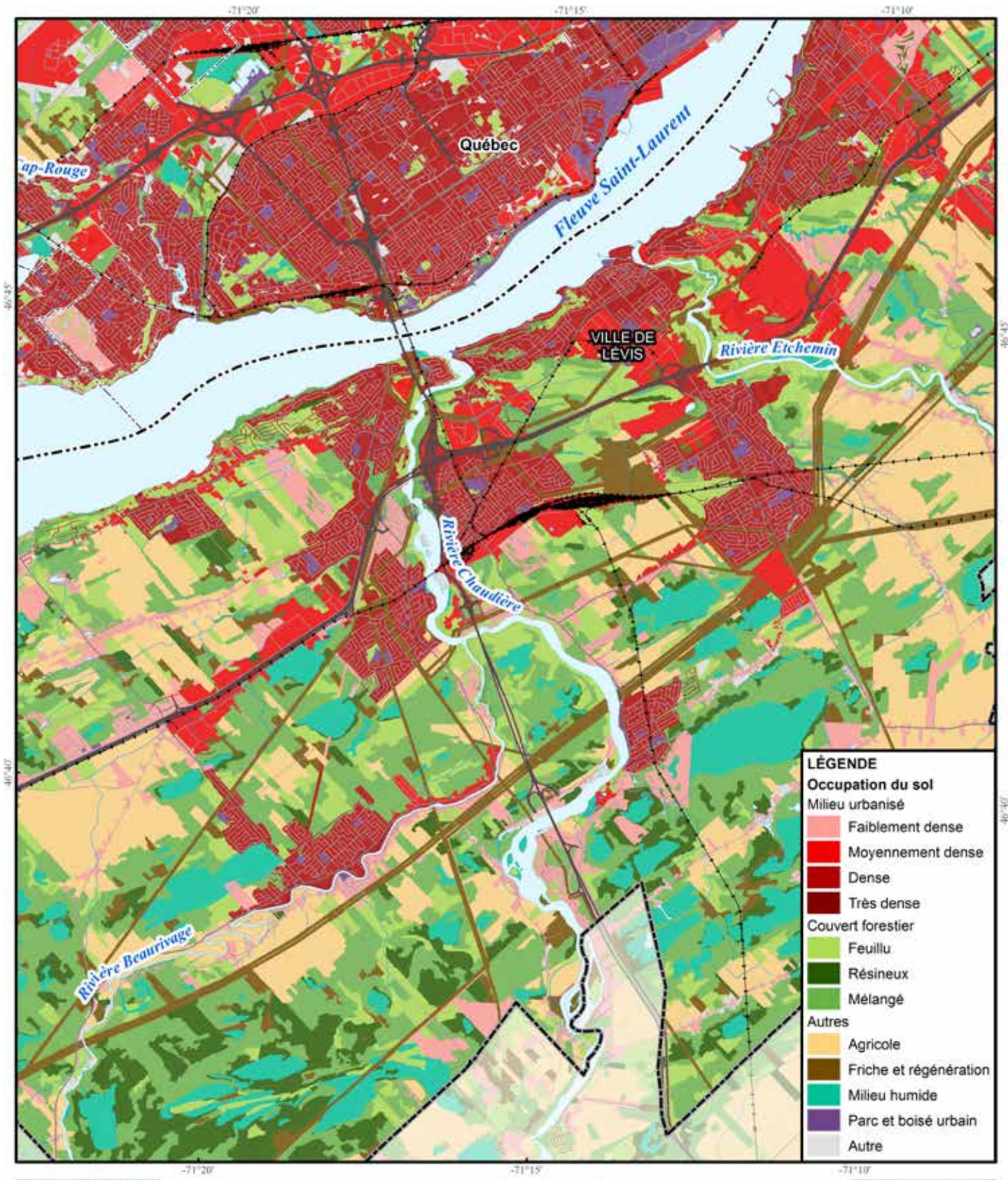




Qualité de l'eau souterraine
 COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches

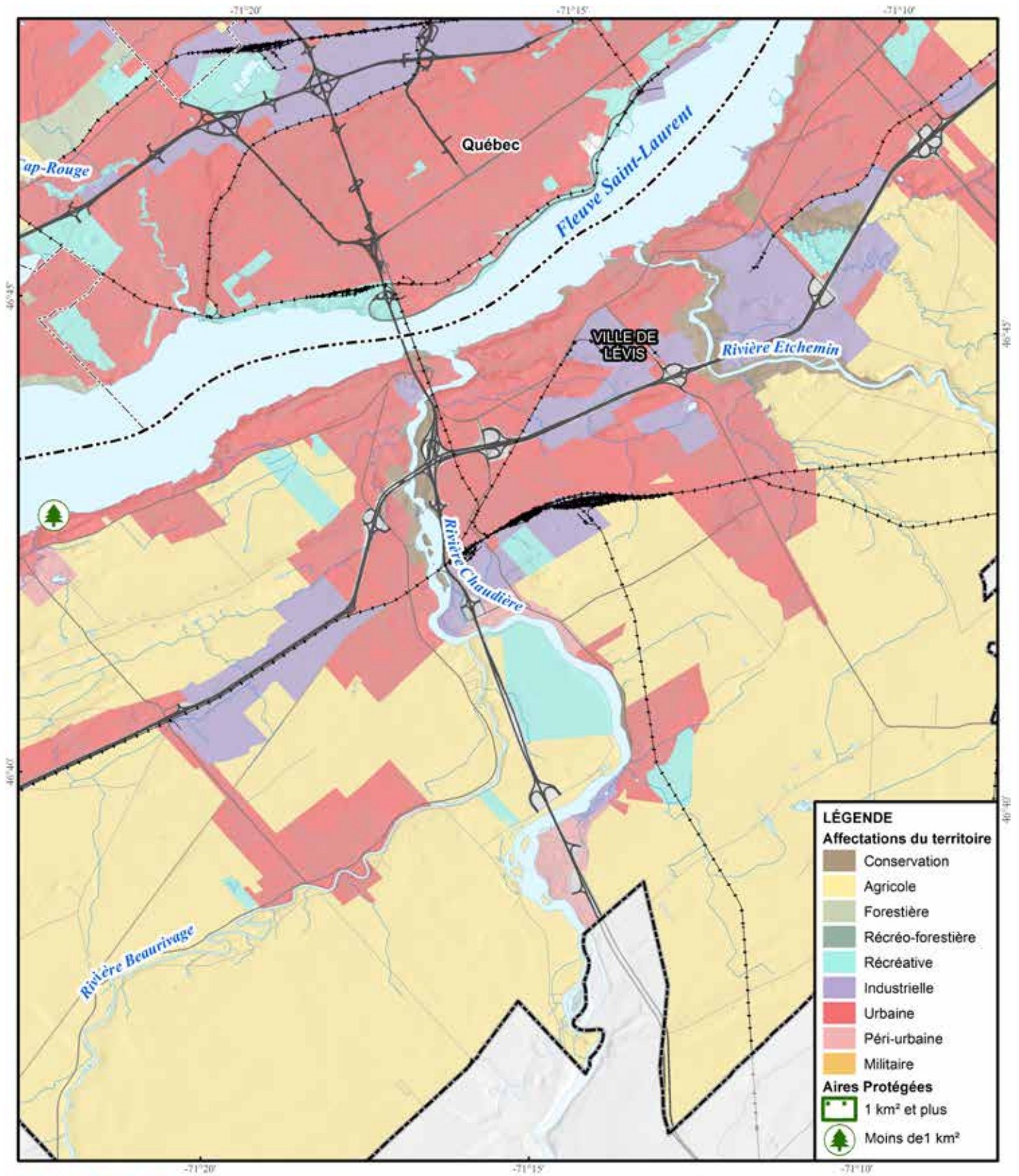


Exercice de synthèse : Dans le secteur des Appalaches, où pourrait-on implanter une nouvelle activité potentiellement polluante afin de minimiser son impact sur la qualité des eaux souterraines?

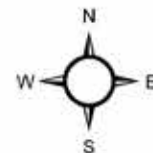


Occupation du sol
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches





Affectation du territoire et aires protégées
COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC
Les Appalaches



Bibliographie

- Bouchard M.F., Sauvé S., Barbeau B., Legrand M., Brodeur M. E., Bouffard T., Limoges E., Bellinger D. C. et Mergler D. (2011). Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 119(1):138-43.
- CERM-PACES 2013 – Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région Saguenay-Lac-Saint-Jean. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.
- Cloutier, V., Blanchette, D., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Rosa, E., et Roy, M. 2013. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de l'Abitibi-Témiscamingue (partie 1). Rapport final déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Rapport de recherche P001. Groupe de recherche sur l'eau souterraine, Institut de recherche en mines et en environnement, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 135 p., 26 annexes, 25 cartes thématiques (1:100 000).
- Ferlatte, M., Tremblay, Y., Rouleau, A. et Larouche, U. F. 2014. Notions d'hydrogéologie - Les eaux souterraines pour tous. Première Édition. Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES). 63 p. [En ligne], (http://rqes-gries.ca/upload/files/rqes/Transfert_des_connaissances/HYDROGEOLOGIE_notions_et_figures_oct2014.pdf). Page consultée le 17 mars 2015.
- Gouvernement du Québec (2015a). Règlement sur la qualité de l'eau potable. Loi sur la qualité de l'environnement. Q-2, r. 40. [En ligne], (http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/Q_2/Q2R40.htm). Page consultée le 25 mars 2015.
- Gouvernement du Québec (2015b). Règlement sur le prélèvement des sources et leur protection. Loi sur la qualité de l'environnement. Q-2, r. 35.2. [En ligne], (http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R35_2.htm). Page consultée le 25 mars 2015.
- Larocque, M., Gagné, S., Tremblay, L. et 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., Boutin, A., Martel, R., Therrien, R., Parent, M., Blais, V. Caractérisation et modélisation numérique de l'écoulement et de la migration de la contamination en TCE dans l'eau souterraine du secteur Valcartier, Québec, Canada. Rapport final corrigé de l'INRS-ETE au Ministère de la Défense nationale.
- Limper Geology Museum (2010). Local Geology – Glacial till. [En ligne], (<http://www.cas.miamioh.edu/glg/museum/students/till.html>). Page consultée le 25 mars 2015.
- Santé Canada (2014). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Tableau sommaire. Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé et l'environnement. [En ligne], (http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/index-fra.php). Page consultée le 25 mars 2015.
- Siim Sepp (2005). Wikipédia – Argile. Argilite en Estonie. [En ligne], (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Argile>). Page consultée le 25 mars 2015.
- Talbot Poulin, M.C., Comeau, G., Tremblay, Y., Therrien, R., Nadeau, M.M., Lemieux, J.M., Molson, J., Fortier, R., Therrien, P., Lamarche, L., Donati-Daoust, F., Bérubé, S. 2013. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec, Rapport final. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, mars 2013, 172 pages, 19 annexes, 28 cartes.

Mes notes personnelles

Les partenaires du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la Communauté métropolitaine de Québec :



Les partenaires du projet Protéger et gérer les eaux souterraines :

